

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA CREACION DE
UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE
ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL “**

PRESENTADO POR:

JOSÉ ROBERTO ALVARADO CERÓN

OSCAR ORLANDO JAVIER REYES

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

MSC. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA CREACION DE
UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE
ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL”**

Presentado por:

JOSÉ ROBERTO ALVARADO CERÓN

OSCAR ORLANDO JAVIER REYES

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

PHD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

ING. WILLIAM ROBERTO GUZMAN.

SAN SALVADOR, JUNIO 2017

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes asesores:

PHD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

ING. WILLIAM ROBERTO GUZMAN.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, dar gracias a Dios por haberme brindado el conocimiento y sabiduría para poder realizar este trabajo de graduación, a mis padres José Lorenzo Alvarado y María Esmeralda Cerón de Alvarado por haber sido mis pilares durante toda mi vida y me brindaron su apoyo incondicional durante todos mis años de estudio.

Mis más sinceros agradecimientos a mis dos asesores: PhD Edgar Armando Peña por habernos asesorado en este trabajo de graduación, por habernos tenido paciencia durante todo el proceso que duró la realización de este trabajo de graduación, también agradecer a Ing. William Roberto Guzmán por haber brindado su apoyo como asesor externo y habernos dado recomendaciones que fueron de gran ayuda para la elaboración de este trabajo.

Además, cabe mencionar un agradecimiento especial a Yesenia Recinos, gran compañera y amiga por haber colaborado con la elaboración de este trabajo de graduación.

Un sincero agradecimiento a mi tío Roberto Adolfo Cerón por haberme brindado su apoyo incondicional durante todo el proceso de la elaboración de este trabajo de grado.

Finalmente agradecer a todos mis familiares, amigos y compañeros de estudio por haberme brindado su amistad y apoyo durante todo el tiempo que tardó la realización de este trabajo de graduación y durante todos mis años de estudio universitario.

José Roberto Alvarado Cerón.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mi madre María Antonia Reyes, a mi padre Oscar Armando Javier y a mi hermana Amanda Elizabeth Javier por haberme apoyado todos estos años.

A toda mi familia y amigos por haber sido parte de mi vida y haber contribuido a forjar mi carácter y mis principios.

Agradezco a todos mis compañeros de la carrera de Ingeniería Civil por haberme brindado su apoyo y respeto, en especial a los compañeros Yesenia Recinos y Víctor Iriundo por su aporte en nuestro trabajo de grado.

A nuestros Asesores, PhD. Edgar Armando Peña e Ing. William Roberto Guzmán, por habernos guiado en este trabajo y brindarnos su conocimiento y paciencia.

A todo el personal de la Unidad de Estudios Socioeconómicos por el apoyo, paciencia, esfuerzo y dedicación que me han regalado y por permitir que realizara esta meta. En especial a la Lic. Yesenia Martínez de Guzmán y al Licdo. Ovidio Hidalgo, por haber comprendido mi caso y brindarme sus ánimos en todo momento.

Por último, a la Universidad de El Salvador por haberme acogido en sus brazos y darme la oportunidad de estudiar y salir adelante, por darme todo lo necesario para lograr mi carrera y regalarme educación de calidad.

“Hacia la libertad por la cultura”.

Oscar Orlando Javier Reyes.

INDICE

1	CAPITULO I: ANTEPROYECTO	14
1.1	INTRODUCCIÓN	15
1.2	ANTECEDENTES.....	16
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.4	OBJETIVOS	20
1.4.1	<i>OBJETIVO GENERAL</i>	20
1.4.2	<i>OBJETIVOS ESPECIFICOS</i>	20
1.5	ALCANCES	21
1.6	LIMITACIONES.....	22
1.7	JUSTIFICACIÓN	23
2	CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	25
2.1	INTRODUCCIÓN.	26
2.2	SISTEMAS ESTRUCTURALES	27
2.2.1	<i>TIPOLOGIA ESTRUCTURAL</i>	27
2.2.2	<i>TIPOS DE ESTRUCTURAS SEGÚN EL MATERIAL UTILIZADO</i>	28
2.2.3	<i>CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES UTILIZADOS EN EL SALVADOR SEGÚN LA NORMA TÉCNICA PARA DISEÑO POR SISMO (NTDS)</i>	29
2.2.3.1	SISTEMAS ESTRUCTURALES BÁSICOS.....	31
2.2.4	<i>SISTEMAS ESTRUCTURALES MAS UTILIZADOS EN EL SALVADOR</i>	33
2.2.4.1	ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO	34
2.2.4.2	ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.....	37
2.2.4.3	ESTRUCTURAS DE ACERO.....	40
2.2.4.4	ESTRUCTURAS MIXTAS O COMBINADAS.....	43
2.2.5	<i>SISTEMAS DE ENTREPISO MÁS UTILIZADOS EN EL SALVADOR</i>	44

2.2.5.1	SISTEMAS DE ENTREPISO A BASE DE CONCRETO REFORZADO	45
2.2.5.2	SISTEMAS DE ENTREPISO A BASE DE ACERO.....	47
2.2.6	<i>SISTEMAS DE TECHOS MÁS UTILIZADOS EN EL SALVADOR</i>	49
2.3	POSIBLES CAUSAS DE DAÑO EN LA ESTRUCTURA.....	52
2.3.1	<i>ERRORES EN EL DISEÑO DE LA EDIFICACIÓN</i>	53
2.3.1.1	CARACTERISTICAS DEL SISTEMA RESISTENTE A UTILIZAR.....	54
2.3.1.2	FLEXIBILIDAD DE DIAFRAGMAS EN LA ESTRUCTURA.....	55
2.3.1.3	CONEXIONES ENTRE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA.....	56
2.3.1.4	PRESENCIA DE ELEMENTOS CON BAJA DUCTILIDAD.....	60
2.3.1.5	CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA.....	62
	IRREGULARIDADES EN PLANTA	62
	FALTA DE SIMETRÍA ESTRUCTURAL.....	63
	PLANTAS COMPLEJAS.....	65
	DISCONTINUIDADES EN DIAFRAGMAS	65
	SISTEMAS NO PARALELOS	66
	LONGITUD	67
	IRREGULARIDADES EN ALTURA	68
	PISO DEBIL O FLEXIBLE.....	68
	IRREGULARIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN DE LAS MASAS	70
	DISCONTINUIDAD EN ELEVACIÓN	71
	DESPLAZAMIENTOS DEL PLANO DE ACCIÓN DE ELEMENTOS VERTICALES.....	71
2.3.2	<i>ERRORES CONSTRUCTIVOS</i>	73
2.3.2.1	ERRORES COMETIDOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	73
2.3.2.2	ERRORES EN LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.....	77
2.3.3	<i>UBICACIÓN DEL EDIFICIO</i>	77
2.3.3.1	DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EDIFICIOS COLINDANTES	78
	EFECTO DE GOLPETEO ENTRE EDIFICACIONES	78

EFFECTO DE CONFINAMIENTO DE LA PARTE BAJA DE UNA EDIFICACION A CAUSA DE LOS EDIFICIOS	
COLINDANTES.....	79
2.3.3.2 LA POSICIÓN DEL EDIFICIO EN LA MANZANA.....	80
2.3.3.3 INFLUENCIA DEL TERRENO.....	82
2.4 INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES.....	84
2.4.1 GENERALIDADES.....	84
2.4.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA INSPECCIÓN.....	84
2.4.3 TIPOS DE INSPECCIONES SEGÚN EL NIVEL DE PROFUNDIDAD DE LA EVALUACIÓN.....	86
2.4.4 RECURSOS NECESARIOS PARA LA INSPECCIÓN PRELIMINAR.....	88
2.4.5 FASES DE UNA INSPECCIÓN.....	90
2.4.5.1 ESTABLECIMIENTO DEL ACUERDO.....	92
2.4.5.2 TRABAJOS INICIALES Y ACOPIO DE INFORMACIÓN.....	93
2.4.5.3 PLANTEAMIENTO DE LAS LINEAS DE TRABAJO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS A INSPECCIONAR.....	95
2.4.5.4 INSPECCIÓN DE ELEMENTOS Y DIAGNOSTICO DE POSIBLES PATOLOGIAS.....	98
2.4.5.5 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE DETERIOROS.....	100
2.4.5.6 ESTUDIO DE CAUSAS PROBABLES.....	101
2.4.5.7 DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE LA ESTRUCTURA Y ESTABLECIMIENTO DE POSIBLES CONSECUENCIAS.....	102
2.4.6 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN.....	103
2.5 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL, NO ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL.....	104
2.5.1 DEFINICIONES.....	105
2.5.2 ALTERNATIVAS PARA REDUCIR EL RIESGO ANTE SISMOS.....	106
2.5.3 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL.....	108
2.5.4 VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL.....	111
2.5.5 VULNERABILIDAD FUNCIONAL.....	112

2.5.6	<i>VULNERABILIDAD ANTE SISMOS DE EDIFICACIONES DEL TIPO A (ESCENCIALES)</i>	114
2.5.6.1	NECESIDAD DE EVALUACIÓN	114
2.5.7	<i>CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES A EVALUAR EN LOS ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD.</i>	116
2.5.7.1	CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES.....	116
2.5.7.2	CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES NO-ESTRUCTURALES	117
2.5.7.3	CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES FUNCIONALES	119
2.6	MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD EN EDIFICACIONES.....	119
2.6.1	<i>MÉTODOS NUMERICOS CUALITATIVOS</i>	120
2.6.1.1	MÉTODO DEL FACTOR DE DECISIÓN.....	120
2.6.1.2	MÉTODO EMPÍRICO.....	121
2.6.1.3	MÉTODO ARGENTINO.....	122
2.6.1.4	MÉTODO DE LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA.....	124
2.6.1.5	MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE BENEDETTI Y PETRINI.....	137
	CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	139
2.6.1.6	MÉTODO DE VELASCO Y TASSIOS.....	141
2.6.2	<i>MÉTODOS NUMERÍCOS ANALÍTICOS</i>	145
2.6.2.1	ANÁLISIS DETERMINISTICO.....	146
	METODO DEL MANUAL DE DISEÑO SISMICO PARA EL MEJORAMIENTO DE EDIFICACIONES EXISTENTES.....	147
	METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES.....	150
	ANÁLISIS PUSHOVER.....	158
2.6.2.2	ANÁLISIS PROBABILÍSTICO.....	159
	CURVAS DE FRAGILIDAD.....	161
3	CAPITULO III: PARAMETROS PARA LA EVALUACIÓN	163
3.1	INTRODUCCIÓN.....	164

3.2	ASPECTOS GENERALES A CONSIDERAR DURANTE LA INSPECCIÓN	166
3.3	COMPONENTES.	167
3.3.1	ENTORNO.	167
3.3.1.1	Aspectos de colindancia.....	167
3.3.1.2	Factores relacionados a la topografía del terreno sobre el cual está emplazada la edificación.	170
3.3.1.3	Presencia de alguna amenaza externa.....	171
3.3.2	ESTRUCTURAL.....	172
3.3.2.1	Tipo de sistema resistente.	172
3.3.2.2	Sistema de entrepiso.	173
3.3.2.3	Sistema de techo.	174
3.3.2.4	Configuración geométrica.....	174
3.3.2.5	Estado de conservación de los elementos estructurales	179
3.3.3	NO ESTRUCTURAL.....	180
3.3.3.1	Elementos que puedan caer de la losa superior.	181
3.3.3.2	Elementos divisorios que puedan desmoronarse, caer o volcar sobre personas u obstaculizar la libre circulación de las mismas.	182
3.3.3.3	Equipos, MOBILIARIOS y masas de agua.....	183
3.3.3.4	Elementos sobre el techo.	184
3.3.3.5	Ventanería.	185
3.3.4	FUNCIONAL.....	186
3.3.4.1	Accesos.	186
3.3.4.2	Vías de circulación.	187
3.3.4.3	Señalizaciones.....	188
3.3.4.4	Zonas seguras	188
3.3.4.5	Distribución de las áreas internas.	189
3.4	ESPECÍFICOS ESTRUCTURALES.	190

3.4.1	<i>ESTRUCTURAS DE ACERO</i>	190
3.4.1.1	Corrosión en los elementos estructurales.	190
3.4.1.2	Evaluación de los elementos que componen los marcos de la estructura.	191
3.4.2	<i>ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO</i>	192
3.4.2.1	Presencia de elementos con baja ductilidad.....	192
3.4.2.2	Orientación de la inercia de los elementos verticales.	193
3.4.2.3	GRIETAS EN ELEMENTOS	194
3.4.3	<i>ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA</i>	195
3.4.3.1	Humedad en paredes.....	195
3.4.3.2	Grietas en paredes.....	195
3.4.4	<i>ESTRUCTURAS DE CONCRETO O DE MAMPOSTERIA</i>	196
3.4.4.1	Sistemas no paralelos.	196
4	CAPITULO IV: PROPUESTA METODOLÓGICA	198
4.1	INTRODUCCIÓN.	199
4.2	RECURSOS NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN.....	200
4.2.1	<i>RECURSOS HUMANOS</i>	200
4.2.2	<i>RECURSOS MATERIALES</i>	201
4.3	CAPACITACIÓN DEL PERSONAL PARA LAS INSPECCIONES.....	203
4.4	SEGURIDAD PARA EL PERSONAL DE CAMPO	204
4.5	DISTRIBUCIÓN DEL PERSONAL DE INSPECCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LAS VISITAS DE CAMPO....	
	205
4.6	REALIZACIÓN DE LA INSPECCIÓN Y USO DEL FORMULARIO	208
4.6.1	<i>PREPARATIVOS</i>	208
4.6.2	<i>METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN</i>	209
4.6.2.1	CONSENTIMIENTO DEL ENCARGADO U OCUPANTE	210

4.6.2.2	TIPOS DE INSPECCIÓN.....	210
	Inspección Interna.....	210
	Inspección Externa.....	211
4.6.2.3	SECUENCIA DE EVALUACIÓN.....	211
4.6.2.4	USO DEL FORMULARIO DE EVALUACIÓN.....	214
	Niveles de seguridad para la evaluación.....	215
4.6.2.5	INDICE DE VULNERABILIDAD.....	218
4.6.3	<i>JUICIO ACERCA DEL ESTADO DE SEGURIDAD DE LA EDIFICACIÓN.....</i>	<i>220</i>
5	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	225
5.1	INTRODUCCIÓN.....	226
5.2	CONCLUSIONES.....	227
5.3	RECOMENDACIONES.....	228
6	BIBLIOGRAFIA.....	229
7	ANEXOS.....	234
7.1	FORMULARIO PARA LA INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES.....	235

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Marcos de concreto estructurales.	35
Figura 2:	Muros estructurales de concreto.	36
Figura 3:	Sistema dual.	36
Figura 4:	Sistemas prefabricados de concreto.	37
Figura 5:	Mampostería Confinada.	38
Figura 6:	Mampostería con refuerzo integral.	39
Figura 7:	Mampostería de bahareque.	40

Figura 8: Edificio a base de marcos de acero arriostrados concéntricamente (Edificio de la Corte Suprema de Justicia).	41
Figura 9: Edificio a base de marcos de acero con arriostramiento excéntrico (Edificio Roma, Zona Financiera).	41
Figura 10: Edificio a base de marcos de acero con arriostramiento concéntrico y excéntrico (Edificio parqueo de Walmart Escalón)	42
Figura 11: Edificio a base de marcos de acero no arriostrados (Edificio del colegio Rey de Gloria del Tabernáculo Bíblico Bautista).	42
Figura 12: Edificio a base de marcos de concreto reforzado combinados con paredes de mampostería de bloque de concreto.	43
Figura 13: Colado de una losa densa.	45
Figura 14: Losa nervada en una dirección.	46
Figura 15: Entrepiso de losas nervada en dos direcciones (Estacionamiento Morazán).	47
Figura 16: Armado de una losa de Metal Deck.	48
Figura 17: Entrepiso de losas de concreto reforzado coladas sobre tableros de acero (Estacionamiento del colegio Rey de Gloria del Tabernáculo Bíblico Bautista).	48
Figura 18: Sistema de techo de lámina Zinc-Alum.	50
Figura 19: Sistema de techo de teja.	50
Figura 20: Sistema de techo de losa.	51
Figura 21: Sistema de techo especial (estructura de techo de almacén Walmart Constitución).	52
Figura 22: Comportamiento rígido y flexible del diafragma.	55
Figura 23: Relación ancho columna (bc) y ancho viga (bv).	56
Figura 24: Excentricidad eje columna viga.	57
Figura 25: Excentricidad ejes adyacentes a la columna.	58
Figura 26: Relación entre el ancho de la columna (ac) y la altura de la viga (hv).	59

Figura 27: Localización de columnas cortas en las edificaciones.	61
Figura 28: Daño en columnas cortas en un sismo.	61
Figura 29: Torsión.	63
Figura 30: Elementos rígidos colocados de forma asimétrica con respecto al centro geométrico del piso: a) núcleos de ascensores b) muros estructurales	64
Figura 31: Plantas complejas.	65
Figura 32: Discontinuidad en el diafragma.	66
Figura 33: Sistemas no paralelos.	66
Figura 34: Relación entre largo y ancho de una vivienda de un solo piso.	67
Figura 35: Piso débil por diferencia de altura en la estructura.	69
Figura 36: Piso débil por cambio de rigidez en la estructura.	69
Figura 37: Irregularidad en la distribución de las masas.	70
Figura 38: Discontinuidad de los elementos resistentes en elevación.	71
Figura 39: Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales en una casa.	72
Figura 40: Desplazamiento dentro del plano de acción en un edificio.	72
Figura 41: a) Diferencia de altura entre las losas de dos edificaciones contiguas. b) Edificios muy cercanos entre sí.	79
Figura 42: Efecto de confinamiento de la parte baja en las edificaciones.	80
Figura 43: Posición del edificio en la manzana.	81
Figura 44: Distribución asimétrica de la rigidez perimetral.	82
Figura 45: Factores relacionados a la topografía del terreno.	83
Figura 46: Tipos de componentes no estructurales de una edificación esencial.	111
Figura 47: Esquema metodológico evaluación de vulnerabilidad preliminar.	151
Figura 48: Esquema metodológico vulnerabilidad detallada.	154
Figura 49: Curva de capacidad utilizando carga uniforme.	159

Figura 50: Curvas de fragilidad para un colegio típico peruano.	162
Figura 51: Personal que conformará las brigadas de inspección.	200
Figura 52: Zonificación del área a inspeccionar.	205
Figura 53: Proceso a seguir para la distribución de las brigadas en el campo de inspección.	206
Figura 54: Flujograma para la realización de la inspección de campo.	209
Figura 55: Flujograma para la obtención del juicio de la seguridad de las inspecciones.	222

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sistemas estructurales	30
Tabla 2: Sistemas estructurales más utilizados en El Salvador.	33
Tabla 3: Sistemas de entrepiso utilizados en El Salvador.	44
Tabla 4: Sistemas de cubierta utilizados en El Salvador.	49
Tabla 5: Grado de seguridad de las conexiones viga-columna sin excentricidad.	57
Tabla 6: Grado de seguridad de las conexiones viga-columna excéntrica.	58
Tabla 7: Grado de seguridad de las conexiones viga-columna doblemente excéntricas.	58
Tabla 8: Grado de seguridad de las conexiones viga-columna.	59
Tabla 9: Errores comunes durante la construcción de estructuras.	74
Tabla 10: Errores comunes durante la construcción de estructuras.	74
Tabla 11: Errores comunes durante la construcción de estructuras.	76
Tabla 12: Errores comunes durante la construcción de elementos no estructurales.	77
Tabla 13: Lista de comprobación para la información previa disponible.	94
Tabla 14: Posibles elementos de un edificio, según su función.	96
Tabla 15: Requisitos Visión 2000 en cuanto al diseño de estructuras.	109
Tabla 16: Matriz de calificación de la vulnerabilidad método de Cardona.	121

Tabla 17: Calificación de la vulnerabilidad del método argentino.	123
Tabla 18: Coeficiente M_0 para muros de mampostería según la amenaza sísmica de la región (método AIS).	126
Tabla 19: Matriz de calificación de la vulnerabilidad para viviendas de mampostería (método AIS).	136
Tabla 20: Escala numérica del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini 1984 para edificios de mampostería no reforzada	140
Tabla 21: Escala numérica del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini 1984 para edificios de concreto reforzado.	140
Tabla 22: Matriz de calificación de índices de vulnerabilidad método de Velasco y Tassios.	143
Tabla 23: Factor de importancia de las edificaciones.	144
Tabla 24: Parámetros a evaluar según el tipo de inspección.	212
Tabla 25: Ponderaciones para cada nivel de seguridad.	215
Tabla 26: Parámetros para evaluar la seguridad de las edificaciones y sus ponderaciones.	215
Tabla 27: Vulnerabilidad a nivel de componentes para inspección interna.	219
Tabla 28: Vulnerabilidad global de la edificación para inspecciones externas.	219
Tabla 29: Vulnerabilidad de la edificación para inspecciones externas	220

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Aspectos que contribuyen al daño en las edificaciones.	. 53
--	-------------

CAPITULO I:

ANTEPROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se detallan los objetivos, alcances, limitaciones, planteamiento del problema y la justificación del trabajo de graduación, el cual lleva por nombre: “PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES”.

En El Salvador se han realizado estudios de vulnerabilidad estructural, enfocado la mayoría de ellos a edificaciones esenciales como hospitales o centros escolares; no obstante, muy pocos de éstos se han realizado para estructuras en general localizadas en ambientes urbanos.

Para el desarrollo de este trabajo de graduación se hará énfasis en la necesidad de poseer un sistema de gestión de información, que brinde un estimado del nivel de vulnerabilidad de las edificaciones, con el cual se puedan desarrollar mapas de vulnerabilidad y gestión de riesgos, contribuyendo a la mejora del nivel de respuesta en caso de la ocurrencia de un sismo. Se describen en este capítulo los alcances del trabajo de graduación y sus limitaciones.

1.2 ANTECEDENTES

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, la activación de fallas geológicas (tanto locales como de los países vecinos Guatemala y Honduras) y la actividad de la cadena volcánica. Se tiene registro histórico de varios fenómenos sísmicos que han dejado como saldo una gran cantidad de pérdidas humanas y económicas, siendo un ejemplo de esto el terremoto ocurrido en 1965 con magnitud de 6.5 grados en la escala de Richter que dañó principalmente el área urbana de San Salvador dejando a su paso 110 muertos, 400 heridos y 30 mil personas sin hogar.¹

Aunque no puede predecirse la ocurrencia de los terremotos, es posible minimizar los efectos que éstos generan sobre la población e infraestructura mediante el mejoramiento de la respuesta de parte de las autoridades y la población, la cual debe estar orientada hacia la preservación de vidas humanas.

En el caso de la infraestructura, para la realización de un estudio de riesgo ante la ocurrencia de sismo en zonas urbanas, es necesario contar con un inventario que contenga información que pueda ser utilizada desde el punto de vista estructural y funcional de la misma, de tal forma que pueda generarse información sobre el nivel de vulnerabilidad que esta posee ante acciones sísmicas

Se han creado diferentes metodologías para estructuras especiales como escuelas y hospitales, las cuales brindan índices de vulnerabilidad que aportan una idea del nivel de seguridad que poseen las estructuras ante eventos sísmicos.

En otros países, se han implementado en los últimos años metodologías para estimar el nivel de vulnerabilidad estructural en las zonas que presentan un mayor riesgo ante sismos.

En Costa Rica, con un proyecto financiado por la UNESCO, se elaboró la “Guía para la Elaboración de Inventarios de Elementos en Riesgo en Áreas Vulnerables a Inundaciones y Sismos en Costa Rica”. Dicha investigación puso énfasis en la inclusión de los aspectos físicos, estructurales y socioeconómicos más relevantes, definiendo grados de daño en las edificaciones de acuerdo a las características particulares de la estructura, tales como: la edad, el estado físico, el material de construcción utilizado, entre otras.²

En un estudio realizado en Colombia por la Universidad Industrial de Santander en el municipio de Bucaramanga, se implementó una metodología desarrollada en Italia³, la cual fue adaptada a las condiciones de la región mediante el soporte de la opinión de expertos nacionales e internacionales⁴.

Las investigaciones realizadas en Costa Rica y Colombia proyectaron los resultados obtenidos en un Sistema de Información Geográfico, con el fin de apoyar la gestión del riesgo, y permitiendo crear planes de ordenamiento o de evacuación en caso de alguna amenaza natural.

En El Salvador, la Escuela de Ingeniería Civil y la Escuela de Posgrados a través de la Maestría en Ingeniería Estructural, realizaron en 2013 un levantamiento de información de infraestructura en el municipio de Santa Tecla.

² Instituto Internacional de Ciencias de la Geoinformación y Observación de la Tierra (ITC). Holanda.- Guía para la Elaboración de inventarios de Elementos en Riesgo en Áreas Vulnerables a Inundaciones y Sismos en Costa Rica, 2003

³ Método del índice de vulnerabilidad (Petrini & Benedetti, 1984).-

⁴ Universidad de Bogotá, Colombia.-Índice de Vulnerabilidad Sísmica en Edificaciones de Mampostería Basado en la Opinión de Expertos, 2007.

En el 2014, la Escuela de Ingeniería Civil participó en un proyecto piloto de UNESCO (SAFE SCHOOL) en el cual se realizó un levantamiento de 100 centros escolares, indicando las debilidades estructurales, no estructurales y funcionales de los mismos. Dicho estudio se realizó utilizando un software (VISUS) para adquisición de la información. Años atrás, la Escuela de Ingeniería Civil participó junto a la OMS en un estudio de recolección de información estructural, no estructural y funcional de Centros Hospitalarios, obteniendo un índice de vulnerabilidad hospitalaria.

Tanto las experiencias internacionales como las locales servirán como insumos para el desarrollo de este Trabajo de Graduación, buscando el desarrollo de una propuesta sistematizada para la gestión de vulnerabilidad en zonas urbanas.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las regiones urbanas con gran actividad económica es necesario conocer las edificaciones que pueden ser susceptibles al colapso o pueden presentar fallas de funcionalidad antes de que ocurra algún sismo. Para ello es necesario realizar un inventario de las edificaciones expuestas, detallando el estado de las mismas e identificando las características que permitan detectar si estas representan una amenaza para sus usuarios. Para conocer la vulnerabilidad de una edificación es necesario coleccionar cierta información, clasificarla, ponderarla e interpretarla. Los criterios utilizados en las inspecciones quedan a juicio del experto que las realiza y por tanto varían de un profesional a otro, aun cuando se utiliza una metodología común. Los juicios acerca del estado de las edificaciones varían de acuerdo a la experiencia de las personas que realicen el levantamiento de la información y pueden obtenerse clasificaciones distintas para edificaciones que se encuentren bajo condiciones similares. La falta de un análisis cualitativo que permita establecer un índice de vulnerabilidad, abre la posibilidad para que las conclusiones de un estudio carezcan de objetividad.

El proceso para establecer una cuantificación de la vulnerabilidad requiere la generación de insumos técnicos que sirvan de guía para el proceso de recolección y procesamiento de la información.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer una metodología para la gestión de información de estudios de vulnerabilidad estructural en edificaciones en áreas urbanas, adaptándola al entorno y necesidades del país.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar, evaluar y calificar; cada uno de los factores que deben de considerarse en el levantamiento de información para un estudio de vulnerabilidad estructural.
- Estudiar diferentes metodologías que permitan definir un índice de vulnerabilidad para las condiciones estructurales locales.
- Consultar con expertos en el área estructural para poder asignar una calificación a la información recolectada.
- Proponer un proceso de sistematización de la recolección y procesamiento de la información que se colecte en un estudio de vulnerabilidad.
- Evaluar estructuralmente las edificaciones, basándose en parámetros tales como: material de construcción, configuración en planta, configuración en elevación, entorno, estado de conservación y otros parámetros esenciales que definan el estado de vulnerabilidad en el que se encuentra la estructura.

1.5 ALCANCES

- En este trabajo de investigación se propondrá una metodología para la gestión de información de estudios de vulnerabilidad estructural en zonas urbanas.
- Con esta metodología se pretende proporcionar un índice numérico de vulnerabilidad estructural que pueda definir las deficiencias estructurales, no estructurales y funcionales de las edificaciones, las cuales influyan en el grado de daño que estas pueden sufrir ante la solicitud de un sismo.
- Se pretenden formular los lineamientos para cada parte del proceso de obtención del nivel de vulnerabilidad en las estructuras, a fin de proporcionar una guía que uniformice los procesos.
- Se diseñará un formulario para recolectar, uniformizar y procesar la información.

1.6 LIMITACIONES

- La propuesta sólo considerará la información que pueda ser colectada mediante inspecciones visuales en las construcciones.
- En el trabajo de graduación no se pretenden desarrollar las herramientas para sistematizar la toma y el procesamiento de la información, sino establecer diagramas, formularios, ponderaciones, etc., que permitan desarrollar un sistema informático para evaluación de la vulnerabilidad.
- La disponibilidad de registros históricos de daños a edificaciones por sismos en zonas urbanas de El Salvador.
- El tiempo de los expertos para proporcionar opinión sobre los procedimientos que se realizan.

1.7 JUSTIFICACIÓN

En el Salvador la mayoría de guías de evaluación estructural están diseñadas para ser utilizadas después de la ocurrencia de un sismo. Aunque se cuenten con algunas metodologías para poder evaluar el nivel de vulnerabilidad que tienen las edificaciones ante un sismo, estas evalúan únicamente edificaciones especiales como centros escolares y hospitales, razón por la cual es necesario contar con una metodología que además de evaluar este tipo de construcciones, tome en cuenta también edificaciones particulares (las cuales representan la mayor porción de edificaciones existentes en áreas urbanas). En este trabajo de graduación se pretenden desarrollar los criterios para generar un sistema de gestión de información, que facilite la realización de estudios de vulnerabilidad estructural y permita identificar la distribución de la misma en áreas urbanas.

Para medir el nivel de vulnerabilidad de cada una de las edificaciones que conforman una región se requieren instrumentos previamente codificados que puedan servir de apoyo para la recolección y procesamiento de la información, además de que las evaluaciones deben realizarse de la forma más objetiva posible, evitando que predomine el juicio de un solo evaluador o experto. El proceso de evaluación debe de estandarizarse y adaptarse a las condiciones locales mediante la selección de una serie de parámetros a evaluar en las edificaciones en base a criterios empleados en otras metodologías, opiniones de expertos nacionales y los registros históricos de daños a edificaciones en el país. Los criterios serán condensados en un formulario para la recolección de datos en las inspecciones, que servirá de herramienta para la sistematización y procesamiento de la toma de datos.

Para definir el nivel de vulnerabilidad de las edificaciones, se deberá definir un rango numérico que permita establecer el nivel de seguridad que la edificación posee en aspectos estructurales, no estructurales y funcionales. El trabajo de graduación será una guía para la realización de este tipo de estudios, que facilitará la recolección y procesamiento de la información y brindará lineamientos que deben seguirse para establecer índices de vulnerabilidad de edificaciones.

CAPITULO II:

MARCO

TEORICO

2.1 INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se hace una revisión de la teoría necesaria que servirá de base para generar la propuesta metodológica para la gestión de estudios de vulnerabilidad, el establecimiento del índice de vulnerabilidad y los consecuentes procedimientos para obtenerlo. Inicialmente, se estudian los sistemas constructivos más utilizados en El Salvador, sus características y los materiales utilizados en cada uno de ellos. Además, se presentan los diferentes mecanismos de falla que se pueden presentar en una estructura y que afectan su comportamiento ante sismos, los cuales aparecen mayoritariamente como resultado de errores conceptuales en el diseño y la construcción, así como aspectos del emplazamiento de la estructura que no se tomaron en cuenta al momento de construirla.

Una vez descritas las diferentes causas que pueden originar daños en las estructuras se establecen los lineamientos básicos para realizar inspecciones en campo, se describen los diferentes tipos de inspección existentes, formas de recolección de información, los recursos necesarios, etapas y procedimientos para el establecimiento del juicio formal del estado de la estructura, conceptos que sentarán las bases para la creación de la metodología para evaluar el estado de una estructura.

El estado de la edificación, su posible comportamiento ante sismos, así como también los posibles daños de elementos no estructurales, vías de acceso y rutas de evacuación, son aspectos claves en la elaboración de planes de mitigación de riesgos, razón por la cual se definirán los conceptos de vulnerabilidad estructural, no estructural y funcional.

Se finaliza con una revisión general de los métodos utilizados para evaluar la vulnerabilidad estructural de edificaciones en varios países, sus lineamientos, procesos, sistemas de calificación y algoritmos de cálculo para la obtención de la vulnerabilidad en las edificaciones.

2.2 SISTEMAS ESTRUCTURALES

La estructura de un edificio es el esqueleto que soporta todas las cargas que le son impuestas al mismo. Las cargas a su vez son el producto de todos aquellos factores que inciden sobre el edificio ya sean internos o externos, y se caracterizan por producir deformaciones en la estructura. La estructura de un edificio no solo debe soportar su peso propio sino también otras cargas y situaciones a las que se verá sometido durante su vida útil, por tanto, deberá soportar modificaciones en la distribución de cargas debido a las variaciones de masa causadas por modificaciones en el uso o actividad del edificio (uso y distribución interna de espacios), o modificaciones en la estructura propia (reparaciones, reforzamientos, ampliaciones, entre otros). También actúan sobre la estructura aquellos fenómenos naturales como el viento, la lluvia o los movimientos sísmicos (muy habituales en nuestro país).

2.2.1 TIPOLOGIA ESTRUCTURAL

Un sistema estructural es un modelo físico que representa una disposición determinada de los elementos del sistema resistente en una edificación. Cada modelo o sistema

estructural evidencia un modo de trabajo, además refleja la forma en que la estructura podrá soportar las cargas que le serán impuestas durante toda su vida útil. El estudio y caracterización de las tipologías estructurales brinda la posibilidad de aportar información relativa a la organización del sistema resistente, materiales utilizados, tipos de conexiones, pertinencia del sistema estructural y de cada uno de los elementos que lo conforman, procesos constructivos utilizados y posibles falencias.

Como se mencionó anteriormente una tipología es un arreglo específico de los elementos que conforman una estructura, en el cual se destaca la utilización de una determinada combinación de materiales.

Conforme entran a El Salvador nuevas tendencias en cuanto a procesos constructivos y concepciones arquitectónicas, las tipologías utilizadas han ido cambiando. La experiencia con tipologías que han mantenido algunas de sus características esenciales (disposición de elementos, conexiones, distribución de espacios, entre otras) permite identificar escenarios predispuestos a sufrir daños y estimar los daños posibles ante la activación de efectos críticos en las estructuras.

2.2.2 TIPOS DE ESTRUCTURAS SEGÚN EL MATERIAL UTILIZADO

En el campo de la construcción existen una gran variedad de estructuras de diversos materiales, las más comunes en El Salvador son:

- Estructuras de concreto reforzado.
- Estructuras de acero.
- Estructuras de mampostería.

- Estructuras de madera.
- Estructuras combinadas.

2.2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES UTILIZADOS EN EL SALVADOR SEGÚN LA NORMA TÉCNICA PARA DISEÑO POR SISMO (NTDS)

La Norma Técnica Salvadoreña para Diseño por Sismo (NTDS) clasifica los sistemas estructurales en cinco categorías o sistemas estructurales básicos (A, B, C, D y E, Tabla 1) según la forma o modalidad en que estos soportan las cargas laterales y disipan la energía de un sismo. Para la categoría “A” los sistemas se listan de acuerdo a su capacidad relativa para resistir fuerzas sísmicas y disipar la energía de un sismo en el rango inelástico. De esta forma, el primer sistema nombrado dentro de la categoría “A” (marcos de acero o concreto con detallado especial) será el más eficiente en su categoría para resistir las fuerzas laterales y disipar la energía provenientes de un sismo.

Tabla 1 Sistemas estructurales.

Sistema estructural básico	Sistema resistente a fuerzas laterales	
SISTEMA A	1	Marcos de acero o concreto con detallado especial
	2	Marcos de concreto con detallado intermedio
	3	Marcos de acero con detallado ordinario
SISTEMA B	1	Paredes de:
		a. Concreto reforzado
		b. Mampostería
	2	Marcos de acero arriostrados:
		a. Excéntricamente
	b. Concéntricamente	
SISTEMA C	1	Paredes de concreto combinadas con:
		a. Marcos de concreto o acero con detallado especial
		b. Marcos de concreto con detallado intermedio o de acero con detallado ordinario
	2	Paredes de mampostería combinadas con:
		a. Marcos de concreto o acero con detallado especial
		b. Marcos de concreto con detallado intermedio o de acero con detallado ordinario
	3	Marcos de acero arriostrados combinados con marcos de concreto o acero con detallado especial:
		a. Arriostramiento excéntrico
	b. Arriostramiento concéntrico	
SISTEMA D	1	Paredes de:
		a. Concreto reforzado
		b. Mampostería
	2	Marcos de acero arriostrados
SISTEMA E	1	Sistemas con masa esencialmente concentrada en el extremo superior (Péndulo Invertido)
	2	Sistemas con masa esencialmente distribuida en su altura

Fuente: ASIA y MOP, 1997.

2.2.3.1 SISTEMAS ESTRUCTURALES BÁSICOS.

Los sistemas estructurales más utilizados para la absorción de fuerzas laterales producidas por los sismos en El Salvador son los sistemas a base de paredes, sistemas de marcos y sistemas duales o combinados. Los **sistemas a base de paredes** son comúnmente utilizados para la construcción de viviendas de uno o dos pisos, y la disposición de sus elementos se realiza en forma de cajón, con las paredes colocadas en direcciones ortogonales y conectadas entre sí por elementos de unión o elementos rigidizantes que pueden ser nervios y soleras, y diafragmas de piso o de techo. Los **sistemas de marcos** consisten en la composición de retículas de vigas y columnas, cuyos elementos pueden ser elaborados de concreto reforzado o acero estructural. Las paredes en este caso juegan un papel meramente estético y de relleno. Los **sistemas duales o combinados** son sistemas de marcos en los cuales se añaden paredes de concreto reforzado o mampostería en una dirección para aumentar la rigidez de la estructura en dicha dirección y proporcionar así una mayor resistencia ante sismos. La NTDS define los sistemas estructurales básicos de la siguiente manera:

- **Sistema A.** Son las estructuras formadas por marcos no arriostrados, los cuales resisten por la acción propia de sus miembros, la totalidad de las cargas gravitacionales y laterales a las que se ve sometida la edificación. Comúnmente denominados marcos dúctiles a los cuales se les considera una determinada capacidad de absorción de energía dependiendo del tipo de refuerzo que estos poseen y si éste cumple con los requisitos de detallado establecidos en la Norma Técnica de Diseño y Construcción de Estructuras de Acero y Concreto.

- **Sistema B.** Comprende las estructuras de paredes enmarcadas (construidas de concreto reforzado o mampostería) o marcos de acero con arriostramiento. En el primer tipo, los marcos no arriostrados proporcionan la resistencia ante las cargas gravitacionales a la edificación, mientras que las paredes enmarcadas se encargan de resistir las cargas laterales que podrían afectar a la misma. En el segundo tipo, los marcos son diseñados con elementos arriostrantes, los cuales proporcionan capacidad requerida de resistencia ante las cargas laterales y absorción de energía al sistema de marcos.

- **Sistema C.** En esta categoría se consideran las estructuras conformadas por la combinación de marcos no arriostrados con paredes y aquellas conformadas por la combinación de marcos con y sin arriostramiento. La característica principal de este tipo de sistemas es que en ellos todos los componentes de la estructura resisten la totalidad de las cargas verticales y horizontales. En los sistemas de paredes enmarcadas o marcos arriostrados la resistencia a la fuerza lateral total la proporcionarán sus rigideces relativas. En cuanto a los marcos no arriostrados, estos deberán ser diseñados para resistir al menos el 25% de la fuerza lateral total requerida.

- **Sistema D.** Son las estructuras conformadas por paredes o por marcos arriostrados, los cuales resisten la totalidad de las cargas gravitacionales y laterales, razón por la cual se dice que estos sistemas poseen poca redundancia ante la totalidad de las cargas tanto verticales como laterales. Si llegase a ocurrir una falla en las paredes o marcos arriostrados, la capacidad de soporte vertical

de la estructura se vería significativamente reducida, efecto que puede provocar inestabilidad en el sistema.

- **Sistema E.** Dentro de esta categoría se consideran las estructuras cuyos elementos resistentes a cargas laterales en la dirección de análisis sean aislados o deban considerarse como tal (Norma Técnica para Diseño por Sismo, 1994). Por ejemplo las estructuras tipo péndulo invertido.

2.2.4 SISTEMAS ESTRUCTURALES MAS UTILIZADOS EN EL SALVADOR

Los tipos de estructuras más comunes en El Salvador se muestran en la Tabla 2, en la cual los sistemas estructurales se clasifican según el material utilizado para su construcción. La tabla ha sido elaborada en base a la clasificación hecha en el Manual de Evaluación Post-Sísmica de la Comisión Evaluadora de Riesgos (Dirección General de Protección Civil-VMVDU-OPAMSS-CASALCO, 2008).

Tabla 2 Sistemas estructurales más utilizados en El Salvador.

Material	Sistema estructural
Concreto	Marcos
	Muros estructurales
	Sistema dual
	Prefabricado
Mampostería	Confinada
	Con refuerzo interior
	No reforzada (Adobe o Bahareque)

Acero	Marcos arriostrados
	Marcos no arriostrados
Mixtos o combinados	Marcos de concreto combinados con paredes de mampostería
	Marcos de concreto combinados con arriostamiento de acero
	Otros

Fuente: Dirección General de Protección Civil-VMVDU-OPAMSS-CASALCO, 2008.

2.2.4.1 ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

Las estructuras de concreto reforzado constituyen una tipología de mayor uso en edificios. El tipo estructural más difundido es la retícula de vigas y columnas con nudos rígidos colados “in situ”, para garantizar la continuidad en sus elementos. Se definen a continuación los sistemas estructurales en los que comúnmente se utiliza el concreto reforzado en el país:

Marcos de concreto reforzado.

Los sistemas de marcos de concreto reforzado son estructuras conformadas por la combinación de vigas y columnas a base del mismo material y coladas in-situ (Figura 1). Que pueden ser diseñados según la Norma Técnica para Diseño por Sismo (ASIA y MOP, 1994) con detallado especial u ordinario para dar soporte a las fuerzas generadas por un sismo.



Figura 1: Marcos de concreto estructurales (Yesenia Recinos).

Muros estructurales de concreto reforzado.

Los sistemas de muros estructurales aportan mayor rigidez a la estructura que los sistemas de marcos, en consecuencia las estructuras diseñadas a partir de este sistema sufren menores desplazamientos y son susceptibles a absorber mayores niveles de carga que el sistema de marcos. Los muros de concreto que encierran las escaleras y los núcleos de ascensor funcionan en ocasiones como muros de cortante (Figura 2).



Figura 2: Muros estructurales de concreto (Yesenia Recinos).

Sistema dual.

Son los sistemas formados por la combinación de marcos de concreto reforzado y muros estructurales (Figura 3). Estos sistemas pueden diseñarse en base a las especificaciones de la Norma Técnica de Diseño por Sismo mencionados en el apartado anterior.



Figura 3: Sistema dual (Yesenia Recinos).

Sistemas prefabricados de concreto.

Los sistemas de concreto prefabricado son estructuras que consisten de elementos de concreto, presforzado o no, que son colados en un lugar distinto al de su ubicación final, para luego ser transportados a la obra donde serán montados e instalados de forma permanente (Figura 4). Este tipo de sistemas es poco utilizado en el país, ocasionalmente para la construcción de viviendas.



Figura 4: Sistemas prefabricados de concreto (Pascal dominicana S.A).

2.2.4.2 ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA

La mampostería es un sistema constructivo tradicional que consiste en la unión de piezas naturales (mampostería de piedra) o artificiales (fabricadas por el hombre como los bloques de concreto y los ladrillos de barro), las cuales pueden ser solidas o huecas, y se unen con ayuda de materiales cementantes o las fuerzas de fricción desarrolladas entre las piezas a causa del peso y disposición de las mismas.

Se definen a continuación los sistemas estructurales construidos a base de mampostería más comunes en El Salvador:

Mampostería confinada.

Los sistemas de mampostería confinada consisten de muros rodeados perimetralmente por elementos de concreto reforzado de secciones transversales pequeñas (conocidos en nuestro medio como nervios y soleras) (Figura 5). Las unidades de mampostería utilizadas en la construcción de estos muros son comúnmente ladrillos de barro sólidos.



Figura 5: Mampostería Confinada.

Mampostería reforzada.

Los sistemas de mampostería reforzada consisten de muros en cuyo interior se distribuye refuerzo horizontal y vertical, razón por la cual se utilizan piezas de mampostería hueca (Figura 6). El refuerzo está conformado por varillas de acero, horizontales y verticales colocadas en los huecos de las unidades, en soleras de bloque o en las sisas. El acero de refuerzo se combina con la mampostería para dar mayor capacidad de soporte al sistema ante las cargas gravitacionales y las cargas laterales. Los huecos de las unidades con refuerzo en su interior se rellenan con mortero o lechada

de elevada fluidez. El refuerzo ayuda al muro a soportar los esfuerzos de tensión, compresión o cortante que ocasionalmente pueda sufrir la mampostería. En ocasiones se utilizan elementos verticales de concreto en los extremos de las paredes, generando una condición de confinamiento en las mismas similar a la del sistema anterior.



Figura 6: Mampostería con refuerzo integral.

Mampostería no reforzada.

Los sistemas de mampostería no reforzada consisten de sistemas de muros que no reúnan las características de refuerzo mencionadas en los numerales anteriores, comúnmente utilizados en los sistemas tradicionales antiguos, como los elaborados a base de adobe de barro o mampostería de piedra (Figura 7).



Figura 7: Mampostería de bahareque.

2.2.4.3 ESTRUCTURAS DE ACERO

Las estructuras de acero constituyen un sistema constructivo muy difundido en varios países, cuyo empleo suele crecer en función de la industrialización alcanzada en la región o país donde se utiliza. Las estructuras metálicas brindan la posibilidad de construir grandes claros con secciones menores a diferencia de las estructuras de concreto, para las cuales un claro grande requeriría un dimensionamiento mayor de los elementos. Se definen a continuación los sistemas estructurales construidos a base de elementos de acero más comunes en El Salvador:

Marcos arriostrados.

Los sistemas de marcos de acero arriostrados consisten en pórticos formados por la unión de vigas y columnas de acero estructural, a los cuales se les adhieren elementos arriostrantes para reducir la flexibilidad de los mismos, aumentar su capacidad de soporte ante cargas laterales y de disipación de energía. Los elementos utilizados para

rigidizar la estructura pueden ser de dos tipos: arriostramiento concéntrico (Figura 8), arriostramiento excéntrico (Figura 9) o una combinación de ambos (Figura 10).



Figura 8: Edificio a base de marcos de acero arriostrados concéntricamente (Edificio de la Corte Suprema de Justicia).



Figura 9: Edificio a base de marcos de acero con arriostramiento excéntrico (Edificio Roma, Zona Financiera).



Figura 10: Edificio a base de marcos de acero con arriostramiento concéntrico y excéntrico (Edificio Parqueo de Walmart Escalón).

Marcos no arriostrados.

Los sistemas de marcos de acero no arriostrados consisten en pórticos formados por la unión de vigas y columnas, a los cuales no se les añade ningún elemento adicional para brindar más rigidez a la estructura (Figura 11). Estos sistemas, en comparación con los sistemas de marcos arriostrados, se diseñan con mayores espesores y secciones para poder soportar las cargas laterales.



Figura 11: Edificio a base de marcos de acero no arriostrados (Edificio del colegio Rey de Gloria del Tabernáculo Bíblico Bautista).

2.2.4.4 ESTRUCTURAS MIXTAS O COMBINADAS

Se incluyen dentro de esta categoría a las estructuras elaboradas a base de la combinación de elementos de distinto material constructivo, tales como elementos de concreto reforzado, acero estructural y de mampostería. Usualmente se elaboran marcos de acero o concreto para soportar las cargas gravitacionales y se combinan con paredes de mampostería, las cuales dan el soporte lateral necesario a la edificación, aunque también pueden elaborarse sistemas de marcos de concreto reforzado a los cuales se les añaden muros estructurales del mismo material para rigidizar la estructura en una dirección. La mayoría de estos casos se presentan en edificaciones con sistemas de marcos que son reforzados luego de haber sufrido daños moderados después de un sismo.

Se mencionan a continuación los sistemas estructurales a base de la combinación de dos materiales constructivos más utilizados en El Salvador:

- Marcos de concreto reforzado combinados con paredes de mampostería (Figura 12).
- Marcos de concreto reforzado combinados con arriostramiento de acero.



Figura 12: Edificio a base de marcos de concreto reforzado combinados con paredes de mampostería de bloque de concreto.

2.2.5 SISTEMAS DE ENTREPISO MÁS UTILIZADOS EN EL SALVADOR.

Normalmente, los sistemas de entrepiso utilizados en El Salvador son construidos a base de concreto reforzado u acero, según se muestran en la Tabla 3. La clasificación fue propuesta en el Manual de Evaluación Post-Sísmica de la Comisión Evaluadora de Riesgos (Dirección General de Protección Civil-VMVDU-OPAMSS-CASALCO, 2008). La categorización de los sistemas al igual que en el apartado anterior se realizó según el material utilizado para la construcción de los sistemas de entrepiso. Dentro de la clasificación de la Tabla 3, la categoría de otros se establece para incluir los sistemas de entrepiso a base otros tipos de materiales, los cuales no son muy comunes en el país, tales como pisos de madera, fibro-cemento, entre otros.

Tabla 3 Sistemas de entrepiso utilizados en El Salvador.

Material	Sistema de entrepiso
Concreto	Losa densa
	Losa nervada en una dirección
	Losa nervada en dos direcciones
Acero	losas de concreto reforzado coladas sobre tableros de acero
	Otros

Fuente: Dirección General de Protección Civil-VMVDU-OPAMSS-CASALCO, 2008.

2.2.5.1 SISTEMAS DE ENTREPISO A BASE DE CONCRETO REFORZADO

Son aquellos sistemas de losas que se construyen a base de concreto y se refuerzan con varillas de acero. El refuerzo le permite al concreto soportar los esfuerzos de tensión generados por las sobrecargas de entrepiso. La dirección del refuerzo define la forma en que la losa transmite las cargas que recibe del entrepiso al sistema de marcos y paredes.

Se definen a continuación los sistemas de losas construidos a base de concreto reforzado más utilizados en El Salvador:

Losa densa o maciza.

Son sistemas de losas en las cuales el refuerzo principal se extiende en direcciones perpendiculares, por lo que la transmisión de las cargas hacía los elementos del marco se hace en dos sentidos (Figura 13). Estas losas se apoyan por lo general en sus cuatro extremos sobre vigas perimetrales de concreto reforzadas.



Figura 13: Colado de una losa densa (Yesenia Recinos).

Losa nervada en una dirección.

Los sistemas de entrepiso de losa nervada en una dirección constan de una combinación de elementos portantes y elementos de relleno (viguetas y bovedillas); comúnmente se utilizan viguetas pretensadas como elementos portantes, mientras que las bovedillas actúan como elementos de relleno, los cuales transmiten sus cargas hacia las viguetas. Las bovedillas son construidas con huecos en su interior para aligerar el peso de las mismas (Figura 14).

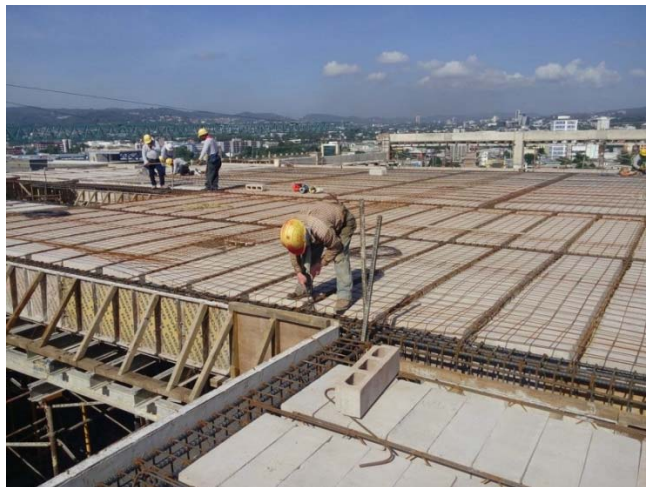


Figura 14: Losa nervada en una dirección (Yesenia Recinos).

Losa nervada en dos direcciones.

Los sistemas de losas nervadas en dos direcciones no se utilizan más en El Salvador. Sin embargo, aún es posible encontrarse con algunos edificios que posean dicho sistema, tal es el caso del Estacionamiento Morazán ubicado en el centro de San Salvador (Figura 15). En la construcción de estos sistemas, se crean vacíos dentro de las losas utilizando formaletas en forma de domos, sobre las cuales se coloca el refuerzo y se cuela la losa; los espacios vacíos toman el lugar donde usualmente se encontraría

el concreto a tensión, razón por la cual no aportaría la resistencia necesaria en dicha zona. El objetivo de este tipo de sistemas es reducir el peso muerto de la losa y optimizar el uso del concreto. Estos sistemas eran conocidos comúnmente como sistemas de losa reticular celular.



Figura 15: Entrepiso de losas nervada en dos direcciones (Estacionamiento Morazán).

2.2.5.2 SISTEMAS DE ENTREPISO A BASE DE ACERO

Dentro de esta categoría se encuentra un único tipo de sistema constructivo, conformado a partir de la combinación de elementos de acero y concreto reforzado.

Entrepiso de losas de concreto reforzado colados sobre tableros de acero.

Estos sistemas de entrepiso se conforman al colar un espesor determinado de concreto reforzado, sobre una lámina acanalada de acero, comúnmente conocida como Metal Deck, que desempeña las funciones de molde y plataforma de trabajo (Figura 16). La

lámina no se retira luego del fraguado de la losa y aporta un espesor de acero para soportar esfuerzos de tensión por flexión (Figura 17).



Figura 16: Armado de una losa de Metal Deck.



Figura 17: Entrepiso de losas de concreto reforzado coladas sobre tableros de acero (Estacionamiento del colegio Rey de Gloria del Tabernáculo Bíblico Bautista).

2.2.6 SISTEMAS DE TECHOS MÁS UTILIZADOS EN EL SALVADOR

Los sistemas de techo más utilizados en El Salvador varían según el tipo de material utilizado en la construcción de los mismos. La tabla 4 muestra la clasificación propuesta en el Manual de Evaluación Post-sísmica de la Comisión Evaluadora de Riesgos (Dirección General de Protección Civil-VMVDU-OPAMSS-CASALCO, 2008).

Tabla 4 Sistemas de techo utilizados en El Salvador.

Sistemas de techo
Lámina
Teja
Losa
Estructura especial
Otros

Fuente: Dirección General de Protección Civil-VMVDU-OPAMSS-CASALCO, 2008.

Sistemas de techo de lámina.

Estos sistemas constan de láminas apoyadas y ancladas tradicionalmente sobre polines metálicos (polín C o polín espacial) (Figura 18). Dentro de esta categoría los autores del manual incluyeron todos los diferentes tipos de cubiertas ligeras, tales como láminas de: zinc-alum, asbesto-cemento, fibro-cemento, lamina insulada, entre otros.



Figura 18: Sistema de techo de lámina Zinc-Alum.

Sistemas de techo de Teja.

Constan de un conjunto de piezas acanaladas, generalmente de barro cocido, dispuestas de tal forma que se obtengan una serie de canales a lo largo del techo. Las tejas comúnmente se apoyan sobre una superficie plana de cualquier material (tradicionalmente costaneras de madera), la cual a su vez esta soportada por el sistema de vigas, o pueden ir apoyadas directamente sobre una retícula de barras que puede estar elaborada de elementos de acero, madera o cualquier otro tipo de material (Figura 19).



Figura 19: Sistema de techo de teja.

Sistemas de techo de Losa.

En estos sistemas se utilizan losas de concreto macizas como estructura de techo. Normalmente se observan en viviendas de un piso cuando el propietario planea construir a futuro un segundo nivel, y en edificios para colocar aires acondicionados. Las diferencias en cuanto a losas de piso y losas de techo se basan en la resistencia y el aislamiento necesarios para cada caso (Figura 20).



Figura 20: Sistema de techo de losa.

Sistema de estructura de techo especial.

En cuanto a las estructuras techos especiales los autores de la clasificación se refieren a las estructuras metálicas utilizadas para cubrir grandes claros (Dirección General de Protección Civil-VMVDU-OPAMSS-CASALCO, 2008), como los edificios de: Galerias, PriceMart, Hipermall Las Cascadas, Plaza Merliot, Plaza Mundo, entre otros. Que por lo general son techos con formas geométricas diferentes a las tradicionalmente utilizadas en edificaciones comunes o construidas con materiales distintos a los utilizados en los otros sistemas de techo mencionados anteriormente (Figura 21).



Figura 21: Sistema de techo especial (estructura de techo del Estadio Universitario de la Universidad de El Salvador).

2.3 POSIBLES CAUSAS DE DAÑO EN LA ESTRUCTURA

La concepción y definición de la estructura que establece el ingeniero durante la fase de proyecto constituye el marco que condiciona el adecuado comportamiento de la edificación. La resistencia y durabilidad de la estructura dependerán también del mantenimiento e inspección que se le dé a la edificación. Según Astorga y Rivero (Astorga y Rivero, 2009) diversos estudios de patologías en edificaciones sugieren que los principales aspectos que contribuyen a la generación de daños en las mismas son: defectos en la fase de proyecto, defectos en la ejecución de la obra, el mal uso de las instalaciones y la mala calidad de los materiales empleados. En el Grafico 1 se muestran estadísticamente los resultados dichos estudios.

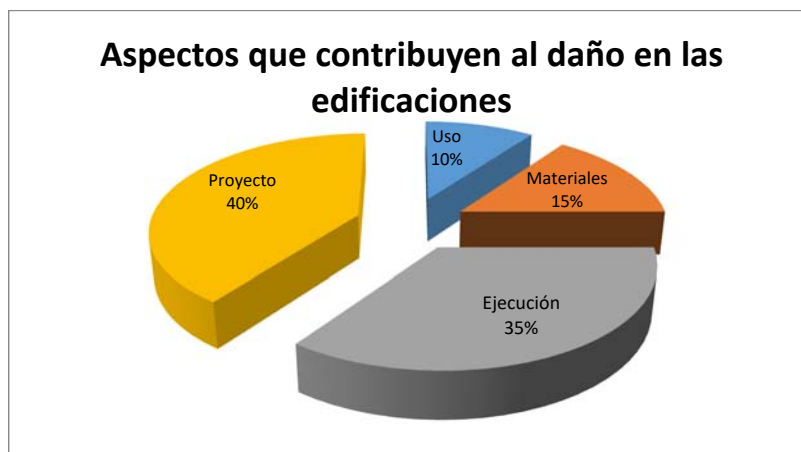


Gráfico 1: Aspectos que contribuyen al daño en las edificaciones (Astorga y Rivero, 2009).

El gráfico 1 sugiere que la mayor parte de los daños en edificaciones se deben a los defectos generados por errores cometidos durante las fases de diseño y construcción de la obra. Los defectos que tienen su origen en la fase de proyecto surgen a consecuencia de errores cometidos en la concepción del diseño. Por otra parte, los defectos atribuidos a la fase de ejecución tienen su origen en errores cometidos al momento de construir la obra (errores constructivos). Adicionalmente, existen ciertos aspectos relacionados a la ubicación de la edificación que pueden afectar su desempeño ante sismos. Tales aspectos tienen que ver con el terreno sobre el cual está cimentada la edificación y la existencia de construcciones adyacentes a la misma.

2.3.1 ERRORES EN EL DISEÑO DE LA EDIFICACIÓN

Para que una edificación tenga un mejor desempeño ante las demandas a las que se verá sometida si ocurre algún sismo, las cualidades que deben revisarse con mayor

detenimiento y cuidado al momento de su concepción para lograr un buen diseño sismorresistente son:

- **Las características del sistema resistente a utilizar en la estructura**, tomando en cuenta el uso que se le dará a la edificación y el comportamiento de edificaciones similares en sismos pasados.
- **Flexibilidad de diafragmas en la estructura**, debido a que éstos son los que brindan estabilidad a la estructura vertical y hacen que trabaje como una unidad.
- **Las conexiones entre los elementos de la estructura**, tales como las uniones entre vigas y columnas.
- **El detallado estructural de los elementos del sistema resistente**, deben indicarse con claridad en los planos las separaciones entre los elementos estructurales y no estructurales, evitando que se golpeen o restrinjan entre si y se generen elementos con baja ductilidad en zonas donde dicha situación no había sido prevista según el diseño original.
- **La configuración geométrica de la estructura**, que contempla tanto irregularidades en planta como en elevación, las cuales son críticas al ocurrir un sismo debido a que producen efectos torsionales destructivos.

2.3.1.1 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA RESISTENTE A UTILIZAR.

El tipo de sistema resistente a utilizar en una edificación deberá ser el más adecuado para soportar las cargas de servicio que le serán impuestas producto del uso de la misma. Además, tendrá que adaptarse a las concepciones arquitectónicas necesarias u obligatorias para que el edificio desempeñe las funciones con las que fue concebido.

2.3.1.2 FLEXIBILIDAD DE DIAFRAGMAS EN LA ESTRUCTURA

Un comportamiento excesivamente flexible en el diafragma de piso implica deformaciones laterales no uniformes (Figura 22), los cuales son perjudiciales para los elementos no estructurales adosados al diafragma; además, la distribución de fuerzas laterales no se hará de acuerdo a la rigidez de los elementos verticales (OPS, 2000).

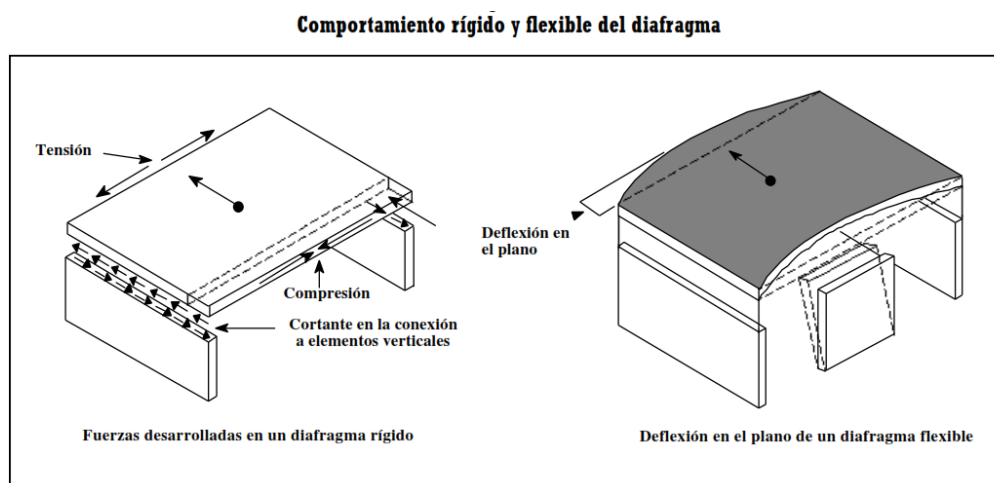


Figura 22: Comportamiento rígido y flexible del diafragma (Organización Panamericana de la Salud, 2000).

Algunas de las razones por las cuales puede darse este comportamiento flexible son:

- Flexibilidad del material del diafragma.
- Relación de aspecto (largo/ancho) del diafragma; se considera que los diafragmas que poseen una relación de aspecto mayor que cinco son flexibles (OPS, 2000).
- Rigidez de la estructura vertical, asociada a la distribución en planta de los elementos verticales.

- Aberturas en el diafragma de gran tamaño y de cualquier tipo, ya sean hechas para iluminación, ventilación o aspectos visuales.

2.3.1.3 CONEXIONES ENTRE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA

Las uniones o conexiones son sitios clave en las estructuras debido a que son zonas en las cuales se concentran grandes cantidades de esfuerzos. Las conexiones fallan principalmente por un diseño inadecuado de las mismas, por ejemplo en concreto reforzado, el anclaje inadecuado entre vigas y columnas.

A continuación se presentan algunos de los aspectos geométricos o de pre-dimensionamiento que deben considerarse al momento de evaluar la seguridad de las conexiones entre elementos estructurales (A. Medina, 2013):

- ✓ Dimensiones de las conexiones viga columna (Figura 23).

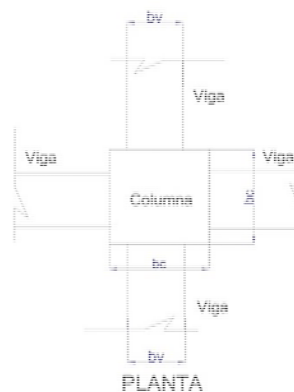


Figura 23: Relación ancho columna (bc) y ancho viga (bv) (A. Medina, 2013).

Tabla 5 Grado de seguridad de las conexiones viga-columna sin excentricidad.

Grado de seguridad de la conexión	Relación entre b_v y b_c
Segura	$b_v \leq 0,75b_c$
Seguridad moderada	$0,75b_c < b_v < b_c$
Vulnerable	$b_v \geq b_c$

Fuente: A. Medina, 2013.

- ✓ Excentricidad entre ejes de vigas y columnas (Figura 24).

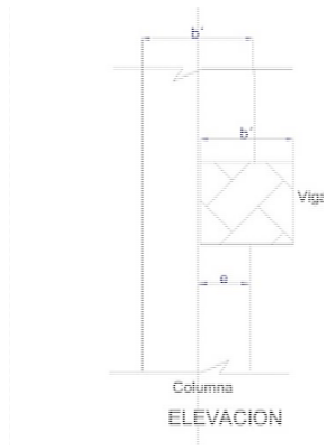


Figura 24: Excentricidad eje columna viga (A. Medina, 2013).

$$\lambda_2 = \frac{e}{b'} \quad \text{Ecuación 26.}$$

Dónde:

λ_2 : Relación entre excentricidad de viga y columna con el ancho de las mismas

b' : Ancho de viga.

E : Excentricidad entre el eje de la viga y el eje de la columna.

Tabla 6 Grado de seguridad de las conexiones viga-columna excéntrica.

Grado de seguridad de la conexión	Relación λ_2
Segura	$\lambda_2 < 0,2$
Seguridad moderada	$0,2 \leq \lambda_2 \leq 0,3$
Vulnerable	$\lambda_2 > 0,3$

Fuente: A. Medina, 2013.

- ✓ Excentricidad entre ejes adyacentes a la columna y ancho de viga en planta (Figura 25).

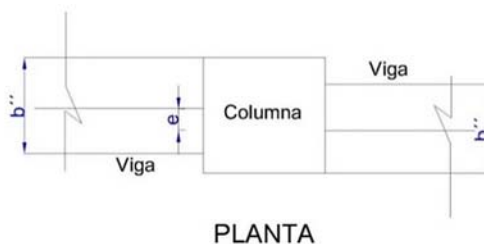


Figura 25: Excentricidad ejes adyacentes a la columna (A. Medina, 2013).

$$\lambda_3 = \frac{e}{b''} \quad \text{Ecuación 27.}$$

Dónde:

λ_3 : relación entre la excentricidad de los ejes adyacentes a la columna.

b'' : ancho de la viga en planta

e : excentricidad entre el eje de la viga y el eje de la columna.

Tabla 7 Grado de seguridad de las conexiones viga-columna doblemente excéntricas.

Grado de seguridad de la conexión	Relación λ_3
Segura	$\lambda_3 < 0,3$
Seguridad moderada	$0,3 \leq \lambda_3 \leq 0,4$
Vulnerable	$\lambda_3 > 0,4$

Fuente: A. Medina, 2013.

- ✓ Altura de la viga con relación al ancho de la columna (Figura 26).

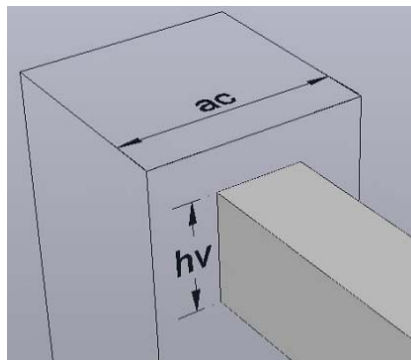


Figura 26: Relación entre el ancho de la columna (a_c) y la altura de la viga (h_v).

$$\lambda_4 = \frac{h_v}{a_c} \quad \text{Ecuación 28.}$$

Dónde:

λ_4 : relación entre el la altura de la viga y el ancho de la columna.

H_v : altura de la viga.

A_c : ancho de la columna.

Tabla 8 Grado de seguridad de las conexiones viga-columna.

Grado de seguridad de la conexión	Relación λ_4
Segura	$\lambda_4 < 1,0$
Seguridad moderada	$1,0 \leq \lambda_4 \leq 1,2$
Vulnerable	$\lambda_4 > 1,2$

Fuente: A. Medina, 2013.

2.3.1.4 PRESENCIA DE ELEMENTOS CON BAJA DUCTILIDAD

Al momento de diseñar edificaciones debe reducirse al máximo la utilización de elementos con baja ductilidad debido a que estos son los primeros en colapsar cuando las edificaciones son sometidas a sismos severos. El colapso de éstos podría generar concentraciones de esfuerzos en zonas de la estructura que no fueron diseñadas para soportar tales demandas, situación que podría llevar a un colapso parcial o total de la estructura. El caso más común del desarrollo de elementos con baja ductilidad es el efecto de columna corta, el cual se explica a continuación.

Efecto de columna corta.

Este efecto está relacionado con la variación en la configuración de las columnas de un edificio. El efecto de columna corta se produce debido a una modificación accidental en la configuración estructural original de las columnas de un marco, cuando una columna diseñada y analizada originalmente para moverse y deformarse independientemente en toda su altura, queda inmovilizada de manera total o parcial, de modo que se modifica su comportamiento sismorresistente. Dicha inmovilización puede ser causada por restricciones geométricas o por restricciones con los elementos no estructurales del lugar donde está emplazada la columna. Las columnas cortas generadas a consecuencia de restricciones geométricas son frecuentemente localizadas en edificios con terrenos inclinados, edificios con desnivel y edificios con la altura de columnas de un mismo piso más corta que las del resto de los demás pisos, por ejemplo, pisos sanitarios (Figura. 27). Por otra parte, las columnas cortas generadas a consecuencia de restricciones con elementos no estructurales, se producen cuando una columna queda inmovilizada por

cierto tipo de componentes constructivos rígidos, tales como paredes interiores, paredes de fachada, muros de contención, descansos de escaleras, rampas y otros. Cuando a una estructura de marcos se le adosan paredes no estructurales en una dirección dejando un hueco libre para la ventilación, de columna a columna; se está modificando con estas paredes el comportamiento sismorresistente de las columnas, lo cual puede generar efectos no esperados, por ejemplo: un fallo en la pequeña sección de la columna por fuerzas cortantes (Cuevas, 2014), tal como se muestra en la Figura 28.

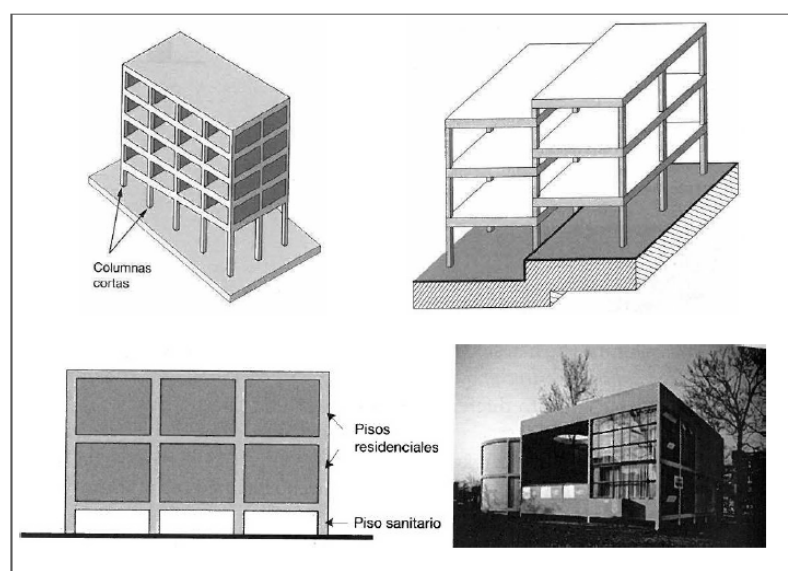


Figura 27: Localización de columnas cortas en las edificaciones (Guevara Pérez 2012).

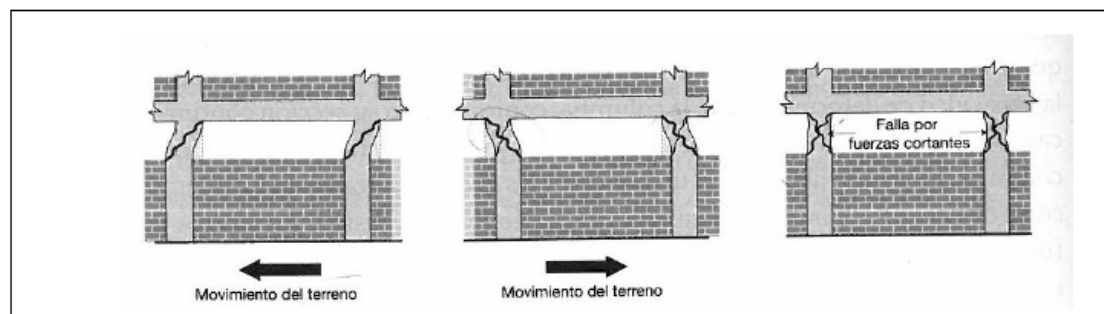


Figura 28: Daño en columnas cortas en un sismo (Guevara Pérez, 2012).

2.3.1.5 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA

Las estructuras con esquemas arquitectónicos-estructurales complejos suelen presentar un comportamiento inadecuado ante la ocurrencia de sismos. Un esquema arquitectónico-estructural complejo es el producto de la distribución irregular de los elementos de la estructura. Para que una estructura funcione adecuadamente deberá poseer tanto sencillez geométrica como estructural

La estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en las trayectorias de las fuerzas inducidas por los efectos sísmicos. Las irregularidades geométricas de la estructura pueden ser de dos tipos:

- **Irregularidades en planta.**
- **Irregularidades en altura.**

IRREGULARIDADES EN PLANTA

Se denominan irregularidades en planta a aquellas relacionadas con la disposición de los elementos de la estructura en el plano horizontal, en relación con la forma y distribución del espacio arquitectónico. En ocasiones las irregularidades en planta pueden ocasionar una incorrecta distribución de cargas entre los elementos verticales del sistema resistente, llegando a provocar concentraciones de esfuerzo que no se previeron en el diseño de la estructura.

Entre las principales irregularidades en planta están:

- Falta de simetría estructural.
- Plantas complejas.
- Retrocesos excesivos en las esquinas del edificio.

- Discontinuidades en diafragmas.
- Sistemas no paralelos.
- Longitud de la edificación.

FALTA DE SIMETRÍA ESTRUCTURAL.

La asimetría estructural se produce cuando el centro de masa y el centro de rigidez de la estructura no coinciden, dando lugar a efectos de torsión en las plantas de nivel (Figura 29). Algunas de las situaciones que pueden llevar a la generación de efectos de torsión en una planta son:

- El posicionamiento de elementos rígidos de forma asimétrica con respecto al centro de gravedad del piso. Por ejemplo, los casos donde existen núcleos de ascensores (Figura 30.a) o muros estructurales (Figura 30.b) ubicados hacia un lado del centro geométrico de la planta.
- La colocación de grandes masas de forma asimétrica con respecto al centro de rigidez de la estructura de piso. Por ejemplo, los edificios con piscinas o tanques de agua en su interior, ubicados hacia un lado del centro geométrico de la planta.
- Combinación de las dos situaciones anteriores.

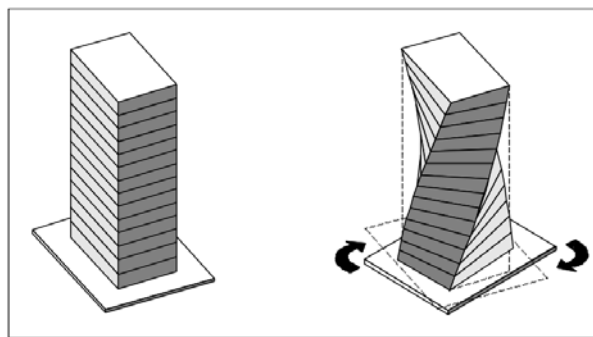


Figura 29: Torsión (Organización Panamericana de la Salud, 2000).

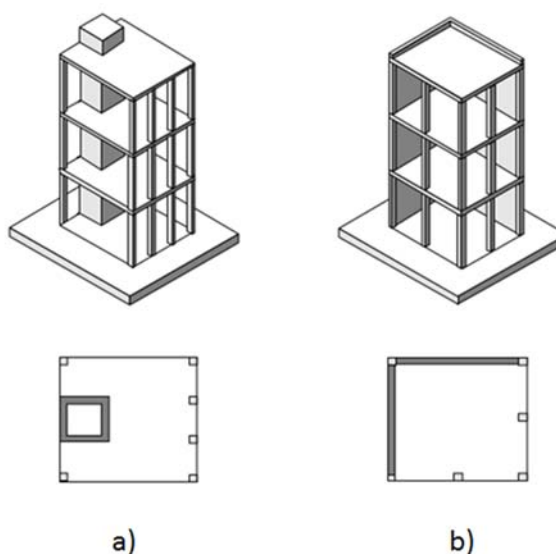


Figura 30: Elementos rígidos colocados de forma asimétrica con respecto al centro geométrico del piso: a) núcleos de ascensores b) muros estructurales (Organización Panamericana de la Salud, 2000).

Los autores del documento *“Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud”* (OPS, 2000), establecen que: de forma general, una excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez es grande cuando ésta supera el 10% de la dimensión en planta bajo análisis.

Los mismos autores comentan que: *“los efectos de torsión en un edificio se complican cuando hay irregularidades verticales como escalonamientos, en estos casos la parte superior del edificio transmite a la parte inferior un cortante excéntrico que provoca torsión desde nivel de transición hacia abajo, independientemente de la simetría o asimetría estructural de los pisos superiores o inferiores.”*

PLANTAS COMPLEJAS.

Se consideran como plantas complejas o irregulares aquellas con forma de cruz, de U, S, L, entre otras (Figura 31). En las plantas irregulares, la parte de las alas que este más alejada de la conexión con el resto de la estructura sufrirá mayores deformaciones que esta y se producirán concentraciones de esfuerzo cerca de la zona de transición provocando daños en el diafragma, la estructura vertical y por último en los elementos no estructurales.

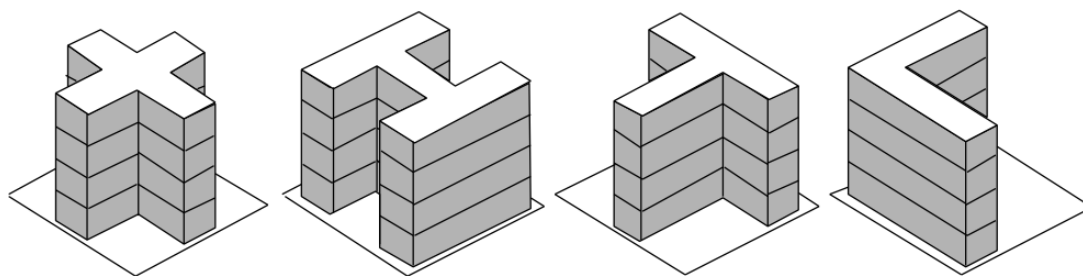


Figura 31: Plantas complejas (Organización Panamericana de la Salud, 2000).

DISCONTINUIDADES EN DIAFRAGMAS

Cuando el diafragma tiene discontinuidades apreciables o variaciones en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entradas, retrocesos o huecos con áreas mayores al 50 por ciento del área bruta del diafragma o existen cambios en la rigidez efectiva del diafragma de más del 50 por ciento, entre niveles consecutivos, la estructura se considera irregular (A. Medina, 2013). La abertura debilita seriamente la capacidad de carga del diafragma, además genera concentraciones de esfuerzo en las zonas cercanas al cambio de sección transversal del diafragma, se interrumpe el flujo de

fuerzas a través del mismo y se ocasionan efectos de torsión por la diferente ubicación del centro de masa y de rigidez en el diafragma (Figura 32).

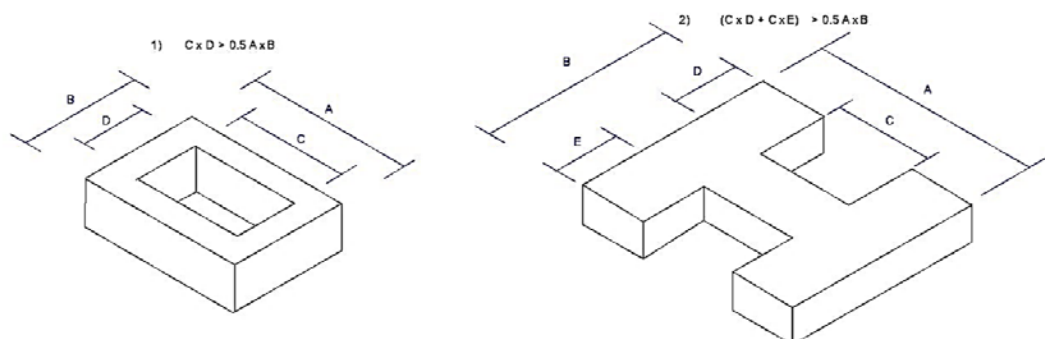


Figura 32: Discontinuidad en el diafragma (A. Medina, 2013).

SISTEMAS NO PARALELOS

Cuando las direcciones de acción horizontal de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica no son paralelas o simétricas con respecto a los ejes ortogonales horizontales principales del sistema resistente (Figura 33), la estructura se considera irregular (A. Medina, 2013). El problema de los sistemas con este tipo de configuraciones se debe a que al momento de generarse un sismo, en el caso de paredes, al no ser éstas perpendiculares entre sí, no podrán generar un adecuado soporte mutuo y esto hará que sean susceptibles a desplomarse.

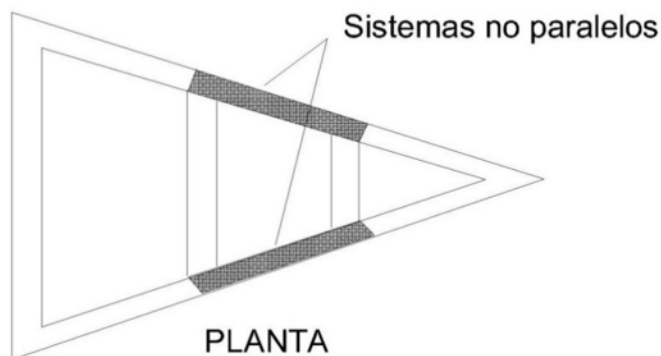


Figura 33: Sistemas no paralelos (A. Medina).

LONGITUD

Durante un sismo, la velocidad de la onda depende de las características de masa y rigidez del suelo de soporte; en consecuencia la excitación que sufren los puntos de apoyo del edificio difiere de un punto a otro. La diferencia será mayor a medida que mayor sea la longitud del edificio en la dirección de las ondas, por tanto los edificios cortos se acomodan más fácilmente a las ondas que los edificios largos (OPS, 2000). Para contrarrestar estos efectos se utilizan juntas de construcción que segmenten las edificaciones. Dichas juntas deben estar diseñadas para evitar el golpeteo o choque entre los edificios, cuerpos o bloques que componen la edificación.

Otro aspecto importante a considerar de los edificios largos es que estos también son más sensibles a las componentes torsionales del movimiento del terreno.

En el caso de viviendas de un solo piso, se recomienda que el largo de la vivienda no sea mayor a tres veces su ancho (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2001) (Figura 34). En el caso de edificios, se recomienda que el largo de la edificación no sea mayor a cuatro veces su ancho (O. Cruz, 2011).



Figura 34: Relación entre largo y ancho de una vivienda de un solo piso (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2000).

IRREGULARIDADES EN ALTURA

Se denominan irregularidades en altura a aquellas relacionadas con la distribución de los elementos verticales y que afecten la transmisión de cargas entre los mismos. Este fenómeno se da cuando la estructura no cuenta con la sencillez y simetría tanto geométrica como estructural.

La sencillez geométrica se da cuando la estructura es continua en toda su elevación y la sencillez estructural se da cuando los elementos verticales sismorresistentes son continuos a lo alto de toda la edificación.

La simetría geométrica en elevación se refiere a que en todos los niveles de la edificación el centro de masa se encuentra localizado en el mismo punto.

Con respecto a la simetría estructural se refiere a que el centro de masa y el centro de rigidez coincidan a lo alto de toda la estructura, con lo cual se reducen los efectos torsionales.

Con respecto a los criterios anteriores se pueden presentar los casos siguientes de irregularidades:

PISO DEBIL O FLEXIBLE.

Cuando un piso de la edificación posee menor rigidez que los pisos adyacentes, se producirán mayores desplazamientos en ese nivel y sus columnas se verán más afectadas que las de los entrepisos adyacentes. Se dice que existe un piso flexible cuando hay una gran discontinuidad en la rigidez y la resistencia en los elementos verticales de la estructura en un nivel con respecto al de los otros pisos. En la mayoría de los casos esta discontinuidad se produce debido a que un piso, generalmente la

planta baja, es más alto que el resto de los pisos (Figura 35). Las variaciones de rigidez también pueden producirse debido a un cambio del material utilizado en el sistema resistente (Figura 36).

Algunos autores consideran la existencia de pisos débiles cuando la rigidez del piso es menor del 70 por ciento de la rigidez del piso inmediatamente superior o menor del 80 por ciento del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, entendiendo la rigidez del piso como la suma de las rigideces de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada (A. Medina, 2013).

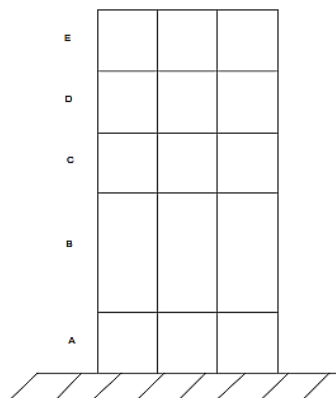


Figura 35: Piso débil por diferencia de altura en la estructura (A. Medina, 2013).

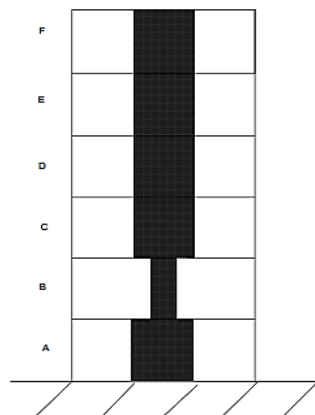


Figura 36: Piso débil por cambio de rigidez en la estructura (A. Medina, 2013).

IRREGULARIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN DE LAS MASAS

El comportamiento de una estructura ante sismos dependerá en gran medida del peso de la misma. Se considera que las estructuras con menor peso desarrollaran un comportamiento más adecuado frente a las solicitaciones de los sismos. Una forma de aligerar el peso de la estructura es disminuyendo los elementos no estructurales de la edificación, dicho de otra forma sus elementos arquitectónicos; de no poder conseguir que la edificación tenga poco peso se debe de buscar que el peso en toda la estructura quede distribuido uniformemente. Las altas concentraciones de masa en algún nivel determinado de la edificación podrían originar una mayor fuerza sísmica de respuesta en dicho nivel (Figura 37). Si la causa de dicha concentración de masa es la presencia de equipo pesado, podría inclusive aumentar sus posibilidades de volcamiento. Las concentraciones de masa pueden deberse a la disposición de elementos pesados, tales como: equipos, bodegas, tanques de agua, archivos, entre otros.

Se considera que existe irregularidad en la distribución de masas de un edificio, cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de cualquiera de sus pisos adyacentes, a excepción de las cubiertas que generalmente son más livianas que su piso inferior (A. Medina, 2013).

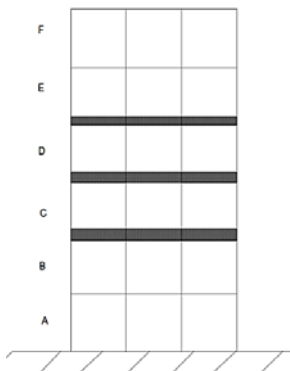


Figura 37: Irregularidad en la distribución de masas (A. Medina, 2013).

DISCONTINUIDAD EN ELEVACIÓN

Se produce cuando se presenta la interrupción de los elementos verticales en algún piso de la edificación, muros estructurales o columnas, y sus efectos son peores cuando dicha interrupción se da en los pisos inferiores (Figura 38). El piso en el cual se interrumpen los elementos verticales poseerá menor rigidez que los demás, por lo cual será un piso débil teniendo un comportamiento más flexible y sufriendo problemas de estabilidad, los cuales podrían incluso generar el deslizamiento o rotación de toda la estructura superior apoyada sobre él, dando como resultado el colapso total del piso.

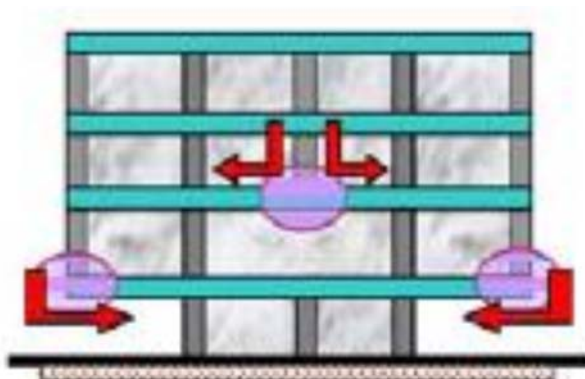


Figura 38: Discontinuidad de los elementos resistentes en elevación (Astorga y Rivero, 2009).

DESPLAZAMIENTOS DEL PLANO DE ACCIÓN DE ELEMENTOS VERTICALES

Se presenta cuando existen desplazamientos en el alineamiento de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica dentro del mismo plano que los contiene (Figuras 39 y 40). Cuando, estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento (como el caso de columnas), se interrumpe el flujo de cargas dentro de la estructura, disminuyendo la eficiencia con la cual la estructura transmite las cargas hacia la cimentación y se generan concentraciones de esfuerzos en las zonas donde se produjo el cambio de plano.

Cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos, éstos quedan fuera de esta consideración de irregularidad.

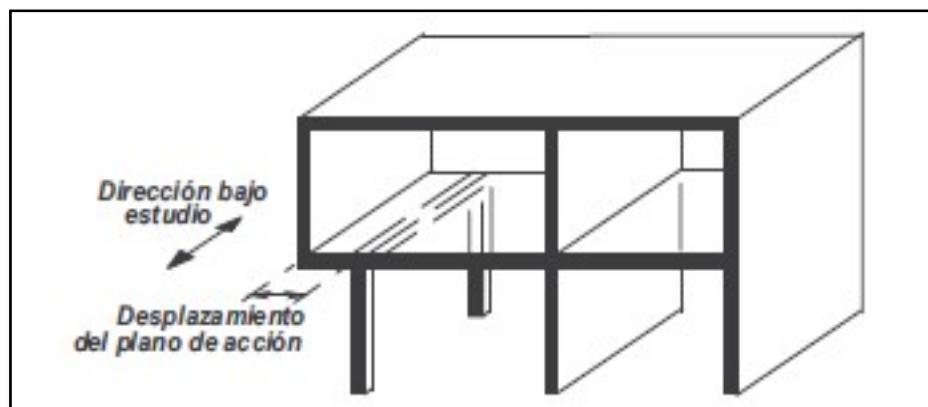


Figura 39: Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales en una casa de dos plantas (NSR, 2010).

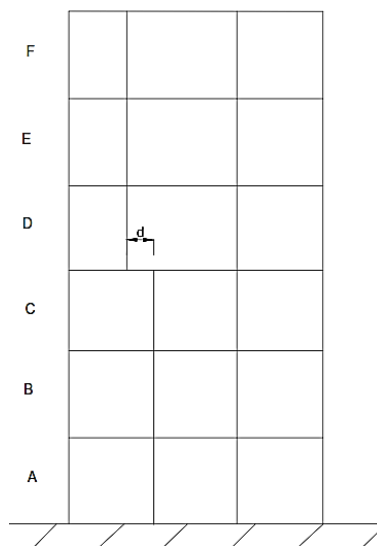


Figura 40: Desplazamiento dentro del plano de acción de los elementos verticales en un edificio.

2.3.2 ERRORES CONSTRUCTIVOS

En la fase de construcción de una edificación sin importar lo compleja o fácil que sea su ejecución, usualmente se cometen ciertos errores que pueden llegar a afectar la integridad de la estructura a corto o a largo plazo, los cuales son evidenciados al momento que se genera un sismo.

A continuación, se presentan algunos errores que se pueden cometer en la fase de construcción de las edificaciones los cuales afectarían a la estructura propia o a los elementos no estructurales.

2.3.2.1 ERRORES COMETIDOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

Una buena parte de los defectos identificados en los elementos estructurales se deben a ciertos errores cometidos durante su construcción. Los errores más comunes suelen cometerse en tres etapas distintas del su proceso de construcción, dichas etapas son:

- **Replanteo de la obra:** es la etapa en la cual se traslada lo plasmado en planos a la realidad física. Los errores comúnmente cometidos durante esta etapa se relacionan con la mala colocación de los elementos estructurales, cuando se les proporciona un alineamiento distinto al pactado en planos. Algunos defectos ocasionados por este tipo de errores se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9 Errores comunes durante la construcción de estructuras.

Errores en la fase de replanteo de la obra	
Defecto	Daño
Colocación de columnas en la posición incorrecta: - Cuando se coloca el acero de la columna en la cara opuesta a la estimada en el proyecto. - Cuando las columnas se colocan giradas	- Las columnas tendrán resistencias inferiores a la prevista - Conlleva a modificaciones de las inercias.
Falta de alineación vertical: - Cuando el centro de una columna queda desviado con respecto al centro de su columna superior.	- Ocasiona discontinuidad de los elementos verticales y la posible inestabilidad del sistema ante la posible generación de efectos P-delta.

Fuente: Astorga y Rivero, 2009.

- **Colocación del encofrado y las armaduras:** es la etapa de colocación de los moldes y las armaduras, en las que se verterá el concreto que conformará los elementos estructurales. Los errores más cometidos durante esta etapa se producen por la mala colocación del refuerzo, separación inadecuada del acero tanto longitudinal como transversal, un recubrimiento excesivo o insuficiente del acero de refuerzo, insuficiente longitud de anclaje de las varillas de acero, falta de ganchos que generen la conexión adecuada entre los elementos (vigas, columnas y losas) y la no colocación o falta de acero por temperatura (Tabla 10).

Tabla 10 Errores comunes durante la construcción de estructuras.

Errores en la fase de encofrado y colocación de armaduras	
Defecto	Daño
Recubrimiento excesivo o insuficiente: - Exceso de recubrimiento en vigas o columnas. - Recubrimiento insuficiente.	- Conlleva al aumento del peso propio del elemento y el consecuente aumento de cargas que no fue previsto en el diseño.

	- Cuando el concreto sufra retracciones podría llegar a romperse dejando el acero expuesto ante las acciones agresivas del medio ambiente causando la corrosión del acero.
Insuficiente longitud de anclaje o falta de ganchos en vigas de extremos: - La barra de acero se desliza en el concreto.	- Pueden aparecer pequeñas fisuras verticales en la parte superior de la viga, cerca del encuentro con la columna, existe el riesgo de inestabilidad al no existir la suficiente adherencia entre el acero y el concreto.
Separación inadecuada del acero transversal: - Cuando no se respeta la separación indicada en planos.	- Puede originarse el pandeo del acero longitudinal. - Se disminuye la resistencia a las fuerzas cortantes y de torsión. - El concreto sufre mayores deformaciones y aparecen fisuras verticales en el centro de las caras.
Separación inadecuada del acero longitudinal: - Cuando las barras de acero no están suficientemente separadas entre sí (según lo indicado en planos).	- No podrá verterse adecuadamente el concreto dentro del encofrado y se generaran "colmenas" o huecos dentro del elemento que afectaran su resistencia al no poseer la sección necesaria para resistir los esfuerzos que le serán impuestos.
Falta de acero de retracción: - Cuando no se colocan mallas de acero en losas.	- Se producen grietas producto de cambios de temperatura y retracción del concreto.

Fuente: Astorga y Rivero, 2009.

- **Vaciado y curado del concreto:** es la etapa que involucra el vaciado del concreto en los moldes o encofrados, la remoción de dichos moldes luego de haber fraguado el concreto, y el curado del mismo. Los defectos que tienen su origen en esta etapa se producen debido a un vibrado insuficiente del concreto, a la utilización de una mezcla inadecuada de concreto, la mala realización del desencofrado y un curado defectuoso del concreto (Tabla 11).

Tabla 11 Errores comunes durante la construcción de estructuras.

Errores en la fase de vaciado del concreto	
Defecto	Daño
Vibrado insuficiente del concreto: - Se producen vacíos en el concreto que limitan su adherencia con el acero y no garantizan una distribución uniforme de la mezcla.	- Resistencia heterogénea dentro del mismo elemento. - Incide en la deformación y ayuda a la formación de grietas. - Facilita la entrada de agua y humedad.
Mezcla de concreto inadecuada: - Concreto de mala calidad, concreto defectuoso, exceso de agua, empleo de aditivos perjudiciales.	- Disminuye la resistencia del elemento. - Se producen vacíos en el interior del elemento. - Falta de adherencia. - Facilita la corrosión de la armadura.
Curado defectuoso del concreto	- Provoca fisuras, falta de adherencia y resistencia del concreto. - Aumenta la retracción.
Encofrado y desencofrado: - Cuando se mueve el encofrado durante el fraguado del concreto. - Cuando el desencofrado es inadecuado.	- Se originan fisuras longitudinales en las vigas, en la parte superior, y que disminuyen su abertura a medida que descienden sobre el elemento. - Si se desencofra prematuramente, se producen mayores deformaciones.

Fuente: Astorga y Rivero, 2009.

Durante la ejecución de los trabajos debe asegurarse una buena conexión de los elementos, el buen amarre de las unidades de mampostería en caso de elementos contruidos a base de este material, la homogeneidad de los elementos, la calidad de los materiales utilizados, y, por último, debe verificarse continuamente la calidad de la mano de obra y de la ejecución de los trabajos. Dichos aspectos son los que definen la calidad del sistema resistente.

2.3.2.2 ERRORES EN LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Los errores que se cometen al instalar o montar los elementos no estructurales, pueden ocasionar que estos se desprendan y caigan sobre las personas, que se produzcan infiltraciones de agua dentro de la edificación o inclusive pueden dañar la integridad de los elementos estructurales. Algunos de estos errores se listan en la tabla siguiente (Tabla 12).

Tabla 12 Errores comunes durante la construcción de elementos no estructurales.

Errores de construcción de elementos no estructurales	
Defecto	Daño
Anclaje inapropiado - Paredes, puertas y ventanas no ancladas adecuadamente a la estructura.	- Desprendimiento de los elementos mal anclados.
Incorrecta ejecución de techos: - Colocación de pendientes y traslapes inadecuados.	- Pueden ocasionar filtraciones de agua, conllevando a daños importantes.
Ubicación inapropiada de instalaciones: - A veces se comete el error de perforar vigas o columnas para colocar instalaciones u otros elementos.	- Afecta la resistencia del concreto y de las armaduras de acero. - Causa deformaciones y redistribuciones de esfuerzos.

Fuente: Astorga y Rivero, 2009.

2.3.3 UBICACIÓN DEL EDIFICIO

Los aspectos del entorno de la edificación que producen una mayor vulnerabilidad en la estructura, en una ciudad pueden clasificarse en:

- Diferencia de altura entre edificios colindantes.
- La posición del edificio en la manzana.

Otros aspectos que debe tomarse en cuenta al evaluar la seguridad de una edificación son las características del terreno sobre el cual está emplazada la misma.

2.3.3.1 DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EDIFICIOS COLINDANTES

Los efectos producidos por la diferencia de altura entre edificios colindantes pueden ser: el efecto de golpeteo entre edificaciones adyacentes y el efecto de confinamiento de la parte baja de una edificación cuyos edificios colindantes posean menor altura que la misma.

EFFECTO DE GOLPETEO ENTRE EDIFICACIONES

La diferencia de rigidez y de altura entre las losas de cada una de las edificaciones colindantes, puede dar lugar al efecto golpeteo, cuando cada una de las edificaciones se mueve de acuerdo a su propio periodo de vibración. Dicha situación se puede agravar debido a que las losas se desplazarán horizontalmente y golpearán perpendicularmente a los componentes estructurales verticales de la edificación vecina. (Figura 41).

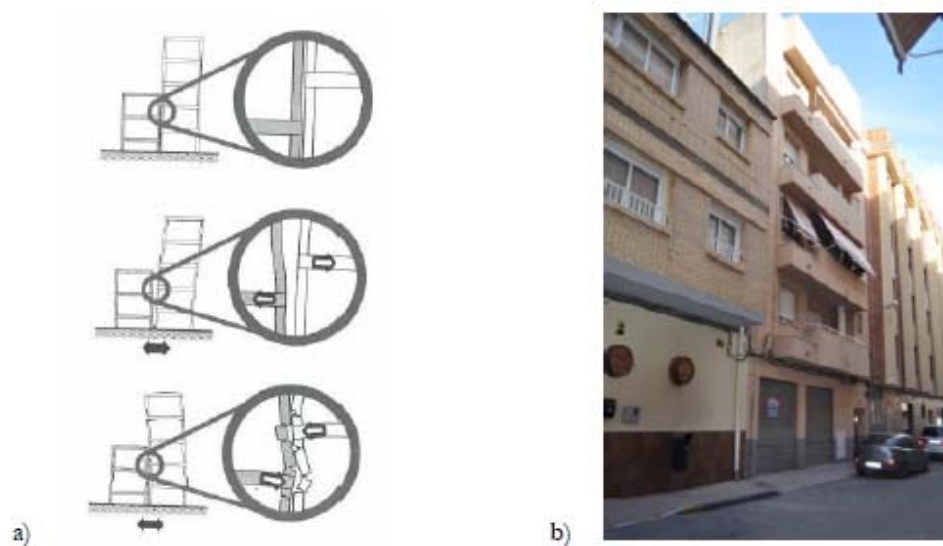


Figura 41: a) Diferencia de altura entre las losas de dos edificaciones contiguas.
b) Edificios muy cercanos entre sí (Guevara Pérez, 2012).

EFFECTO DE CONFINAMIENTO DE LA PARTE BAJA DE UNA EDIFICACION A CAUSA DE LOS EDIFICIOS COLINDANTES

Es muy común en las regiones urbanas observar edificaciones que poseen diferencias de altura con respecto a sus colindantes, aspecto que genera la inmovilización parcial de las edificaciones altas por el confinamiento que reciben de las edificaciones bajas colindantes (Figura 42). Al momento de producirse un sismo esto da lugar a que los primeros pisos de la edificación alta queden confinados por las edificaciones bajas colindantes y como consecuencia su movimiento se verá restringido, mientras los pisos de sus plantas superiores, generalmente más flexibles, se moverán libre e independientemente.

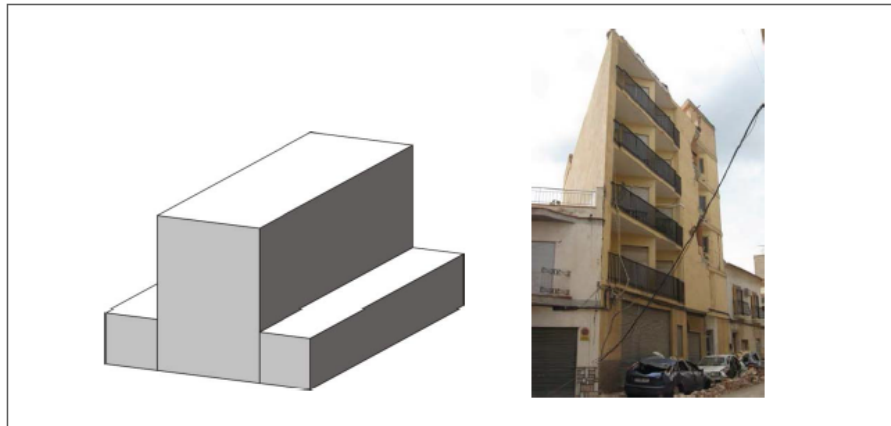


Figura 42: Efecto de confinamiento de la parte baja en las edificaciones (M. Feriche et al, 2012).

2.3.3.2 LA POSICIÓN DEL EDIFICIO EN LA MANZANA

Los edificios modernos presentan un comportamiento estructural muy diferente a los construidos en centros históricos; cada uno de ellos actúa independientemente de los colindantes a diferencia de los antiguos que actuaban en bloque con el resto de los edificios de la manzana. Dicho aspecto aumenta la vulnerabilidad ante sismos tanto de edificaciones antiguas que aún subsisten como en las modernas que han sido incorporadas. Éste factor es muy importante cuando se toma la decisión de demoler una edificación en un centro histórico para construir una nueva edificación contigua a otra ya existente.

La posición del edificio en la manzana se clasifica de cuatro formas, como se puede observar en la Figura 43, estas pueden ser:

- Edificio terminal
- Edificio intermedio.
- Edificio de esquina.

- Edificio aislado.

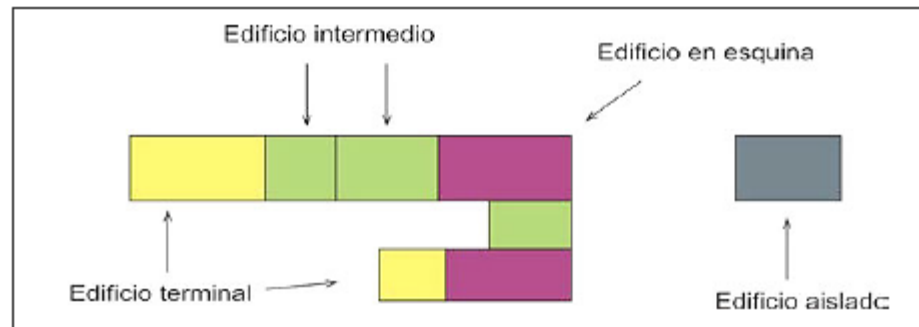


Figura 43: Posición del edificio en la manzana (Cuevas, 2014).

Se consideran los más críticos ante sismos los edificios que se ubican en esquina o terminalmente, pues estos pueden presentar mayores problemas que los edificios ubicados en los lotes intermedios. Esta condición desfavorable se debe a la falta de previsión en cuanto a la consideración de los desplazamientos que se pueden generar en ellos y las rotaciones de las losas que comúnmente se producen en los edificios de esquina que pueden llegar a generar irregularidad torsional en planta.

Es común que se produzca el efecto de golpeteo entre este tipo de edificaciones y sus colindantes. Generalmente, la edificación que está en esquina presenta una falsa simetría debido a la distribución irregular de la rigidez perimetral.

En la Figura 44 se ilustra como la distribución asimétrica de la rigidez perimetral generará excentricidades y, por lo tanto, efectos torsionales en la edificación con los correspondientes desplazamientos y rotaciones de sus diafragmas que pueden llevar al golpeteo entre edificios colindantes.

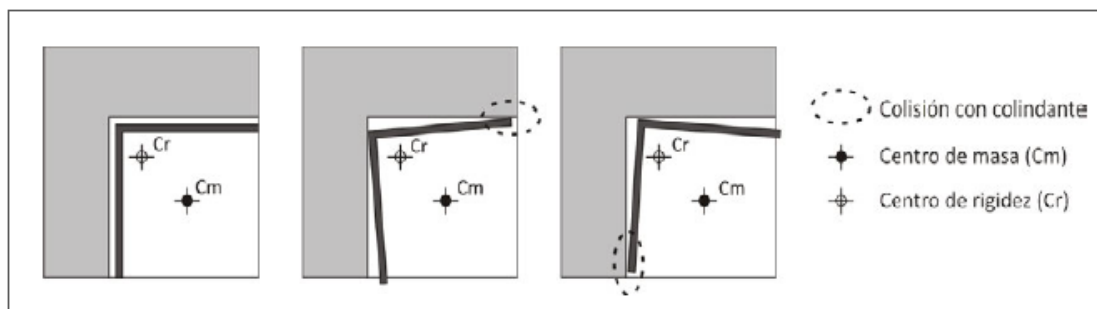


Figura 44: Distribución asimétrica de la rigidez perimetral (Configuraciones urbanas contemporáneas en zonas sísmicas, Guevara Pérez, 2012).

2.3.3.3 INFLUENCIA DEL TERRENO

Según el Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería del AIS publicado en el año 2000, algunos de los factores relacionados con la topografía del terreno sobre el cual está emplazada la edificación (Figura 45), que pueden afectar la seguridad de la misma son:

- Si la edificación está ubicada sobre un terreno inclinado. Se deben evaluar los cortes y rellenos que se hicieron sobre el terreno para poder emplazar la vivienda o edificación. Si la terraza sobre la cual está emplazada la edificación es inestable, ésta se considera insegura. En cambio, si una simple inspección dicta que la terraza es adecuada y bien elaborada, la edificación se considera segura.
- Si la edificación está ubicada cerca de un talud o una ladera. Cuando la edificación se encuentra cerca de una ladera o un talud no estabilizado adecuadamente, se considera insegura. En contraste, si se encuentra cerca de un talud estabilizado adecuadamente, la edificación se considera segura.

- Si la edificación está ubicada sobre un talud o una masa de tierra. Debe de evaluarse si existe riesgo de deslizamiento, si este es el caso, la edificación se considera insegura. En caso contrario, el talud o la masa de tierra es considerada como estable, la edificación es segura.



Figura 45: Factores relacionados a la topografía del terreno (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2000).

En un aspecto más general para evaluaciones no detalladas es posible atribuir cierta cantidad de los daños que sufre una edificación a la pendiente del terreno sobre el cual esta cimentada la misma, algunos autores como Villafañe y Rodríguez (J. Villafañe y N. Rodríguez, 2011) plantean que para que una edificación no se vea muy afectada por un sismo la inclinación del suelo no debe ser mayor de un 50% en terreno rocoso o un 30% sobre terreno blando.

2.4 INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES

2.4.1 GENERALIDADES

Las inspecciones de edificios son procesos elaborados para poder identificar y caracterizar los defectos o daños en las estructuras, así como para delimitar su localización y cantidad dentro de la misma, para posteriormente realizar un diagnóstico apropiado del estado de la edificación y, en caso de ser necesario, proponer medidas para su rehabilitación o proponer que la edificación misma sea demolida (en caso de que represente un riesgo para la seguridad de sus ocupantes).

Las inspecciones se utilizan muy a menudo para reconstruir o actualizar información de la estructura existente debido a que la información del proyecto original podría ser poco fiable o no estar disponible al momento de realizar evaluaciones estructurales detalladas.

2.4.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA INSPECCIÓN

En cualquier tipo de inspección existirán dos factores que influirán en gran medida en toda toma de decisión, estos son la responsabilidad civil y el costo económico. Esto significa que el personal a cargo de la inspección deberá ser consciente de que los resultados que se obtengan en el diagnóstico de la edificación afectaran a la seguridad de los ocupantes de la misma y que los métodos o técnicas que deberá utilizar estarán de acuerdo a las capacidades económicas de la persona o asociación que solicita la inspección.

Además, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos característicos de toda inspección (según Romana y Cortez, 2010):

- Una inspección busca identificar síntomas que indiquen la existencia de deterioros inminentes, que puedan afectar el comportamiento de una estructura; no puede predecirse la aparición futura de los mismos, si no se encuentran deterioros se asumirá que estos tardaran en aparecer.
- Toda inspección tiene un carácter sistemático, el cual depende en gran medida de la experiencia del profesional a cargo de la inspección.
- En el caso de las inspecciones reglamentarias (inspecciones exigidas por las autoridades del país o región donde se encuentra la edificación), cuando se dictamina un carácter desfavorable para el estado de seguridad de la edificación, queda a criterio del profesional o técnico encargado, el atribuir causas al deterioro en el informe y la recomendación de medidas paulatinas para el tratamiento de los mismos, no siendo estos dos últimos aspectos de carácter obligatorio. Se entiende entonces que un dictamen desfavorable de una inspección es el punto de comienzo de los trabajos de patología.

Las bases fundamentales de toda buena inspección son: la sistematicidad, las herramientas empleadas y el tiempo empleado.

Sistematicidad: asegura la calidad del trabajo, pone en orden los procedimientos, evita descuidos y dota de un carácter de uniformidad a la inspección.

Herramientas empleadas: las técnicas y métodos a emplear están en función con los daños observados en las fases preliminares, ya que es debido a estos que se justifica o no el empleo de herramientas o métodos costosos.

Tiempo empleado: el tiempo en el que será desarrollada la inspección dependerá en gran medida de la experiencia del profesional a cargo, cuanta más experiencia posea el personal más corto será el tiempo empleado en la inspección.

2.4.3 TIPOS DE INSPECCIONES SEGÚN EL NIVEL DE PROFUNDIDAD DE LA EVALUACIÓN

Dependiendo del nivel de profundidad con el que se pretende realizar la evaluación, las inspecciones pueden ser de dos tipos, inspección preliminar o inspección detallada.

Inspección preliminar: es una inspección visual que puede ser desarrollada por personal especializado o no; se trata de una observación detallada de todos los elementos visibles de la estructura que no precisa la utilización de medios especiales auxiliares y en la cual se intenta de evaluar minuciosamente el estado de todos los elementos estructurales. Este nivel de inspección constituye una fase útil para detectar defectos o daños en la estructura de forma temprana y poder así prevenir que estos degeneren en deterioros graves. El carácter de una inspección visual le permite recabar únicamente información de aquellas partes de la estructura que sean accesibles, por lo cual la información obtenida puede ser de tres tipos: acerca del esquema estructural del

edificio (claros, secciones, perfiles, arriostramiento, entre otros), acerca de los sistemas de unión de los elementos de la estructura (geometría, disposición, dimensiones o longitudes, espesores de soldadura, entre otros) y acerca de los posibles defectos o disfunciones que pueda presentar la estructura. Las inspecciones preliminares poseen la ventaja de poder realizarse periódicamente al adaptarse éstas a la capacidad económica del cliente.

Inspección detallada: es una investigación profunda que se realiza de la edificación, por lo cual requiere de personal especializado en diversos campos de la ingeniería civil, tales como: geotecnia, control de calidad, patología de estructuras (acero, concreto, entre otras), construcción, entre otras. La inspección detallada se realiza cuando los resultados obtenidos en la inspección preliminar no son contundentes y claros acerca del estado de la edificación, y se vuelve entonces necesario realizar evaluaciones estructurales detalladas. A diferencia de las inspecciones preliminares, las inspecciones detalladas no se realizan de manera periódica, sino que se realizan comúnmente cuando ha ocurrido algún desastre natural, en el cual la edificación haya sufrido un daño muy evidente y por su función sea necesario saber de inmediato si está en condiciones de ser ocupada o no, tal es el caso de hospitales o edificios de gobierno.

En la inspección detallada, además de la realización de un examen visual, se necesitan ensayos de caracterización y mediciones complementarias. Este nivel de reconocimiento requiere un plan previo a la inspección, detallando y valorando los aspectos a estudiar, así como las técnicas y medios a emplear (Navareño, 2012).

Algunos ejemplos de ensayos específicos que se utilizan en la inspección detallada son:

- Análisis geotécnico del terreno con la extracción de muestras

- Evaluación de la resistencia del concreto mediante la extracción de núcleos.
- Ensayos esclerómetros.
- Mapas de sales.
- Ensayos de ultrasonidos.
- Evaluación de las características del acero mediante ensayos de tracción.
- Determinación de la situación del refuerzo mediante equipos electromagnéticos (pachómetros).
- Medidas de potencial eléctrico para determinar el estado de corrosión de las armaduras.
- Análisis químico del concreto para detectar posibles causas de ataques sobre la capa de cemento o los agregados.

2.4.4 RECURSOS NECESARIOS PARA LA INSPECCIÓN PRELIMINAR

Los recursos necesarios para la realización de las inspecciones preliminares son de dos tipos, recursos humanos y recursos materiales.

1 Recursos humanos:

Se refiere al equipo humano o brigada de inspección, la cual deberá contar con al menos un ingeniero supervisor experto en estructuras que posee amplia experiencia en el campo y brinde apoyo logístico. Dependiendo del tamaño de los estudios a realizar, si se evaluarán una o varias edificaciones, podrán componerse uno o varios equipos

(brigadas de inspección), cada uno de los cuales deberá contar con al menos un especialista con amplia experiencia (tal como en el caso anterior).

2 Recursos materiales:

Son todos los objetos materiales que se utilizarán para cumplir tres funciones principales: resguardar la seguridad de las personas a cargo de la inspección, realizar mediciones en la estructura y aquellos que se utilizarán para la toma de datos.

Los recursos materiales utilizados para resguardar la seguridad de las personas que realizan la inspección son en su mayoría equipos de seguridad y salud, tales como:

- Chalecos.
- Cascos.
- Botas de seguridad.
- Gorras.
- Tapabocas o mascarillas.
- Entre otros.

Los recursos utilizados para realizar mediciones pueden ser:

- Escalera.
- Martillo
- Cincel.
- Plomada.
- Cintra métrica, distanciómetro o puntero laser.
- Lupa.

- Binoculares.
- Nivel de mano.
- Marcador o lápices de colores.
- Linterna.
- Entre otros.

Los recursos más comúnmente utilizados para la toma de datos son:

- Cuaderno de anotaciones.
- Fichas de campo.
- Cámaras fotográficas.
- Lápiz o lapicero.
- Lápices de colores.
- Grabadora.
- Entre otros.

2.4.5 FASES DE UNA INSPECCIÓN

A continuación se listan las fases más comunes de toda inspección preliminar en edificaciones, algunas de las cuales se retoman de las fases propuestas por los autores de la *Metodología para la inspección técnica de edificios* (Romana y Cortez, 2010), que explica a brevedad como deben realizarse las Inspecciones Técnicas de Edificios en España (ITE's españolas):

1. Establecimiento del acuerdo, mediante el cual el cliente solicita la inspección y se establecen un plazo y un presupuesto para la inspección.
2. Trabajos iniciales y recolección de información.

3. Planteamiento de las líneas de trabajo y selección de los elementos a inspeccionar.
4. Inspección de elementos y diagnóstico de posibles patologías.
5. Identificación y caracterización de deterioros.
6. Estudio de causas probables.
7. Determinación del estado de la estructura y establecimiento de posibles consecuencias.

En caso de haberse comprobado la necesidad de realizar estudios más detallados de la estructura, luego de haber realizado la inspección preliminar, se procederá a la realización de la inspección detallada en la edificación, la cual además de hacer uso de la información proveniente de la inspección preliminar, requerirá de la realización de la siguiente serie de fases:

- la verificación preliminar de la capacidad portante y de la aptitud al servicio de los elementos estructurales principales.
- la actualización de la geometría y de los planos del edificio;
- la actualización de las características de los materiales;
- la actualización de las acciones que actúan sobre la estructura;
- la actualización de las bases para la evaluación;
- realización de un análisis estructural;
- la verificación de la capacidad portante y de la aptitud al servicio.
- la determinación del estado del edificio y cuantificación de posibles daños.

El trabajo de grado está enfocado en una metodología de inspección preliminar que pueda ser aplicada en zonas urbanas, con la finalidad de poder realizar múltiples inspecciones simultáneas de edificaciones. Se explicarán a continuación cada una de las fases de la inspección preliminar.

2.4.5.1 ESTABLECIMIENTO DEL ACUERDO

La realización de la inspección debe estar aprobada por el titular de la edificación o la persona a cargo del recinto para que este conceda el permiso de ingresar a la misma y así el equipo o brigada de inspección pueda realizar las observaciones pertinentes, en todo caso es necesario que se elabore un acuerdo formal (de preferencia por escrito), en el cual el dueño o encargado de la edificación conceda el permiso para ingresar a las instalaciones.

Aunque algunas de las fases de la inspección pueden realizarse a simple vista desde afuera del edificio, por ejemplo: la revisión de acabados exteriores de la edificación, el establecimiento del tipo de sistema estructural utilizado, el tipo de cubierta y los factores externos de la edificación que pudieran afectarla, existen otros aspectos a evaluar para los cuales será necesario revisar la edificación desde su interior, tales como: el estado de los elementos o componentes estructurales, elementos no estructurales que puedan desprenderse y caer sobre los habitantes, las distribuciones de masa y rigideces dentro del edificio, entre otros.

2.4.5.2 TRABAJOS INICIALES Y ACOPIO DE INFORMACIÓN

Dentro de esta fase se debe recolectar la documentación existente sobre la estructura acerca de: su año de construcción, intervenciones posteriores a la misma y el inventario de los elementos que posee.

Trabajos iniciales.

Tras la realización del contrato para la inspección, se debe iniciar con la averiguación de los datos básicos del edificio, los cuales son:

- Año de construcción
- Número de niveles.
- Profundidad y configuración en planta de sótanos.
- Tipología estructural de la edificación.
- Área superficial en planta del edificio.
- Tipos de paredes que posee el edificio.
- Documentación de las reformas realizadas a lo largo del tiempo.
- Cambios en el uso de las plantas.
- Cambios en la distribución de las plantas.
- Si existen obras en el entorno, que hayan sido construidas en años posteriores al año en que fue construido el edificio.

Fuentes de información previa acerca del edificio.

Los datos acerca del proyecto y la construcción de la edificación son fuentes de información previa necesarias en el planteamiento de la inspección, entre ellas tenemos:

- Memorias y planos del proyecto de edificación.
- Libro de órdenes de la obra.
- Actas, informes y bitácora de la obra.
- Manuales de mantenimiento.
- Planos históricos de la ciudad.
- Fotografías aéreas.
- Entrevistas.
- Documentación en registros públicos.

Las ITE's españolas (Inspecciones Técnicas de Edificios) utilizan un formato simple para la comprobación de la información previa colectada en los pasos anteriores. Este formato se ilustra en Tabla 13, en la cual se listan las fuentes a utilizar, el estado de la información (si se pudo obtener o no) y las observaciones necesarias.

Tabla 13 Lista de comprobación para la información previa disponible.

Información	Existente	Necesaria	Observaciones
Proyecto del edificio: memoria, planos y pliego de condiciones			
Libro de órdenes de obra			
Actas, informes y bitácora de la obra			
Manuales de mantenimiento			
Documentación existente en registros públicos:			
- Proyecto			
- Antecedentes administrativos			

- Otros antecedentes			
Entrevista con: _____			
Entrevista con: _____			
Planos históricos de la ciudad			
Fotografías aéreas			

NOTA: la entrevista debe recoger el interlocutor y, si es posible, la fecha

Fuente: Romana y Cortez, 2010.

2.4.5.3 PLANTEAMIENTO DE LAS LINEAS DE TRABAJO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS A INSPECCIONAR

Esta fase trata básicamente del estudio de la documentación conseguida y la preparación de las fichas de inspección, por lo cual se inicia por clasificar los elementos según su función dentro de la edificación, la cual puede ser:

- Cimentaciones y sótanos.
- Estructura.
- Paredes y acabados.
- Cubiertas.
- Elementos ornamentales y no estructurales
- Redes de saneamiento y fontanería.

Se presenta a continuación una recopilación de los posibles elementos que pueden encontrarse en una estructura (Tabla 14).

Tabla 14 Posibles elementos de un edificio, según su función.

Cimentaciones y sótanos	<ul style="list-style-type: none"> - Zapatas aisladas - Pilotes. - Cimentación corrida - Losa de cimentación. - Muros de contención - Muros en sótano - Pantallas.
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> - Muros de carga: <ul style="list-style-type: none"> o Muros de mampostería. o Muros de concreto reforzado. - Marcos: <ul style="list-style-type: none"> o Estructura de concreto reforzado. o Estructura de concreto presforzado. o Estructura metálica. - Escalera: <ul style="list-style-type: none"> o Mampostería. o Metálica. o Concreto reforzado. - Estructuras de techos: <ul style="list-style-type: none"> o Lamina (Zinc-alum, asbesto cemento, fibro-cemento y lamina insulada). o Teja. o Losa. o Metálica.

Paredes y acabados	<ul style="list-style-type: none"> - Aberturas en paredes. - Anclajes y apoyos. - Salientes: <ul style="list-style-type: none"> o Marquesinas. o Balcones. o Miradores. - Anclajes y apoyos.
Forma de Techos	<ul style="list-style-type: none"> - Techos inclinados: <ul style="list-style-type: none"> o Lámina. o Teja. - Techos planos: <ul style="list-style-type: none"> o Losa de concreto
Elementos ornamentales y no ornamentales	<ul style="list-style-type: none"> - Acabados. - Carteles. - Postes. - Barandas. - Antenas. - Cornisas y aleros.
Red de saneamiento y fontanería	<ul style="list-style-type: none"> - Fontanería: <ul style="list-style-type: none"> o Colector. o Acometida. o Cuadro de contadores. o Montantes. o Derivaciones. o Aparatos sanitarios. o Depósitos.

	<ul style="list-style-type: none"> - Saneamiento: <ul style="list-style-type: none"> o Sumideros. o Canales o Red vertical (codos, bajantes y ventilaciones) o Red horizontal (registros, colectores, pozos y acometidas) - Red de drenaje. - Anclajes y fijaciones.
--	--

Fuente: Casas y Velasco, 2000.

Además de lo expuesto anteriormente en esta etapa del proceso se deben analizar y preparar los medios necesarios para inspeccionar todos los elementos de la estructura.

2.4.5.4 INSPECCIÓN DE ELEMENTOS Y DIAGNOSTICO DE POSIBLES PATOLOGIAS

Una vez que se hayan seleccionado todos los elementos a ser inspeccionados y se haya preparado una lista de los mismos, se procede a realizar la inspección física del edificio, para lo cual es necesario:

- Entrevistar al propietario o persona encargada de la edificación, la cual podrá proporcionar información acerca de posibles deterioros que hayan sido detectados en la misma, y si tal es el caso, que medidas correctivas han sido abordadas. En algunos casos, es necesaria la elaboración de un acta de la entrevista y una lista de chequeo, pero para fines generales basta con la

elaboración de una lista de chequeo y una serie de observaciones para que el encargado de la inspección tenga en mente que elementos podrían tener prioridad en la inspección.

- Seleccionar los elementos a inspeccionar, aunque ésta acción ya se realizó en el apartado anterior, una vez que el equipo o grupo de investigadores se encuentren en la edificación debe hacerse una segunda selección de los elementos a inspeccionar, dando mayor importancia a los elementos que se encuentren en peor estado. Dicha selección podrá hacerse tomando en cuenta la opinión de los ocupantes del edificio (o del encargado). En caso de no existir deterioros detectados, la inspección podrá realizarse tomando muestras significativas, siguiendo criterios aleatorios o en base a la experiencia del personal a cargo de la inspección.
- Realizar la inspección física de los elementos seleccionados, hacer observaciones acerca de su estado y dejar constancia por escrito de la evaluación hecha. Al momento de la inspección deberán elaborarse fichas independientes para cada elemento inspeccionado, dentro de las cuales se deberá incluir:
 - o La fecha en la que se realizó la inspección.
 - o Nombre o identificación de la persona a cargo de la inspección.
 - o Ubicación del elemento dentro del edificio.
 - o Fotografías del elemento (una o varias según como se considere necesario).
 - o Croquis del elemento.
 - o Función del elemento dentro de la estructura.

- Notas u observaciones, dentro de este apartado deberá hacerse énfasis en aspectos tales como:
 - La continuidad estructural del elemento (existencia de grietas, separaciones, fracturas o huecos).
 - Integridad estructural del elemento (el material aparece íntegro o deteriorado).
 - Desplazamientos o deformaciones que haya sufrido el elemento.
 - Existencia de algún tipo de mecanismo de deterioro que pueda afectar o esté afectando al elemento (humedades, sales, corrosión, entre otros).
- Inspeccionar el entorno del edificio, así como también las condiciones ambientales generales, presencia de humedades o agentes químicos que puedan generar mecanismos de deterioro sobre la edificación y sus elementos externos. Dentro de esta última fase de la recolección de datos, deben tomarse en cuenta las condiciones del terreno adyacente a la edificación y la presencia de factores externos que puedan dañar la integridad de la misma o de sus ocupantes.

2.4.5.5 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE DETERIOROS

Una vez finalizada la inspección física y habiendo recaudado toda la información necesaria, se debe proceder a identificar y categorizar los deterioros o fallas que haya sufrido la edificación. Los deterioros pueden clasificarse en:

- Visibles u ocultos: en función de si estos pueden ser identificados a simple vista o si es necesario de la utilización de algún otro tipo de técnica para dicho fin.
- Activos o inactivos: teniendo en cuenta la posibilidad de que el deterioro o falla siga avanzando dentro del elemento y pueda empeorar el estado del mismo, o permanezca estacionario.
- Intrínsecos o extrínsecos: tomando en cuenta la naturaleza y origen del deterioro.

2.4.5.6 ESTUDIO DE CAUSAS PROBABLES

Esta fase del estudio trata de establecer las causas que ocasionaron los daños en la estructura, por lo cual está muy ligada a la identificación de patologías. En el apartado de mecanismos de falla se mencionó que las razones por las cuales los sismos tienden a dañar las estructuras se deben al descuido de ciertos factores que no se tomaron en cuenta en el diseño de la estructura, su construcción y supervisión, tales como:

- Calidad de los materiales.
- Irregularidad en la distribución de masas.
- Irregularidad en la distribución de rigideces.
- Configuraciones geométricas no recomendadas que afecten el desempeño de la estructura.
- Discontinuidad de elementos resistentes.
- Características propias al comportamiento de determinadas tipologías estructurales.
- Características del terreno sobre el cual esta cimentada la edificación y el de sus alrededores.

- Estado de los elementos y sus conexiones.
- Tipo de mantenimiento que se le da la edificación.
- Características del entorno de la edificación y construcciones adyacentes.
- Entre otras.

Dentro de esta etapa influye mucho la experiencia, los conocimientos técnicos y la capacidad de intuición del profesional o técnico a cargo de la inspección. El conocimiento de las causas que originan los deterioros en edificaciones es de gran ayuda al momento de establecer los procedimientos de rehabilitación en edificaciones. Dicho conocimiento no es necesario para poder establecer el estado de la edificación, para lo cual basta el estudio de las condiciones de los elementos y su posible afectación en el comportamiento de la estructura.

2.4.5.7 DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE LA ESTRUCTURA Y ESTABLECIMIENTO DE POSIBLES CONSECUENCIAS

Una vez recolectada la información relevante acerca del estado de todos los componentes de la estructura, identificado sus deterioros y sus causas, es posible a base de un criterio profesional realizar juicios acerca del estado de la edificación, el estado de su sistema resistente y el comportamiento esperado de la estructura global ante la sollicitación de un sismo. Además es posible prever la evolución futura de los deterioros y que efecto ocasionarán estos sobre el sistema resistente, si disminuirán la capacidad portante de la estructura y su resistencia ante fuerzas laterales, así como también se puede determinar que elementos de la estructura se espera que fallen o colapsen debido a la evolución de tales deterioros.

Se pretende además en esta fase evaluar que riesgos se poseen en caso de seguir utilizando la edificación, si existe la posibilidad de que el edificio colapse total o parcialmente ante la próxima solicitación de un sismo, que riesgos existen para la integridad de sus habitantes o personas que puedan transitar en las cercanías del edificio y como podrá verse afectada la funcionalidad de la edificación, así como también establecer medidas preventivas que se deban adoptar para cada caso, y evaluar si existen rutas de evacuación y que tan eficaces pueden ser.

2.4.6 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

Los resultados de la evaluación se documentarán en un informe que trate al menos los siguientes aspectos:

- a) objetivos de la evaluación;
- b) descripción del edificio y de sus elementos estructurales; posibles fallas y defectos en la estructura;
- c) recopilación de información y adquisición de datos;
- d) documentación recopilada y analizada;
- e) objetivos y planificación;
- f) resultados de la inspección;
- g) diagnóstico del estado de la estructura.;
- h) opciones de intervención;
- i) recomendaciones.

Cuando se demuestre una seguridad estructural adecuada, el edificio se podrá seguir usando en las condiciones establecidas, en estos casos se definirá un programa de inspección y de mantenimiento en concordancia con las características y la importancia de la obra.

Cuando no pueda demostrarse una seguridad estructural adecuada, los resultados de la evaluación se podrán utilizar para la elaboración de las recomendaciones oportunas sobre las medidas a adoptar. Según el caso, estas medidas podrán ser técnico-administrativas o constructivas. En algunos casos, las conclusiones de una evaluación preliminar pueden aconsejar la adopción de medidas preventivas de aseguramiento estructural del edificio.

2.5 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL, NO ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL

Los estudios de vulnerabilidad se elaboran particularmente para evaluar el nivel de seguridad que poseen las edificaciones ante algún determinado fenómeno o amenaza natural (sismos, inundaciones, deslizamientos, erupciones volcánicas, entre otros). Específicamente los estudios de vulnerabilidad en edificaciones evalúan cuánto daño pueden sufrir estas y el nivel de seguridad que pueden brindar a sus ocupantes ante dichos fenómenos.

El análisis de vulnerabilidad cumple tres objetivos básicos:

- Definir las medidas que incluirá el plan de contingencia para disminuir la vulnerabilidad de los componentes involucrados.
- Definir las medidas y procedimientos para elaborar el plan de emergencia.
- Evaluar la efectividad del plan de contingencias y del plan de emergencia.

Algunas de las características de las edificaciones que deben ser evaluadas para determinar cuál es su vulnerabilidad frente a una amenaza específica son las siguientes:

- La ubicación referente a su entorno.
- La facilidad de acceso.
- Recursos externos para control de emergencias.
- Las características de las instalaciones.
- Las actividades que se desarrollan.
- Descripción de la ocupación del edificio.
- Recursos físicos que posee la edificación.

2.5.1 DEFINICIONES

La vulnerabilidad es uno de los factores determinantes en el riesgo ante sismos, de ahí la importancia de los estudios de vulnerabilidad. Las definiciones relacionadas con este tema que más se aceptan hoy en día son las propuestas por la UNDRO, 1979 (Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre, hoy, UN-DHA), en las que:

Vulnerabilidad: de una estructura o grupo de estructuras se define como el grado de daño que resulta por la ocurrencia de un movimiento sísmico del terreno, de una intensidad determinada.

Peligrosidad: se define como la probabilidad de ocurrencia, dentro de un periodo específico de tiempo y dentro de un área dada, de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada.

Riesgo específico: se define como la probabilidad de que una estructura o grupo de estructuras, sufra varios grados de daños. En este contexto el riesgo específico se calcula de la siguiente forma:

$$S(\text{riesgo específico}) = H(\text{peligrosidad sísmica}) * V(\text{vulnerabilidad de la estructura})$$

La ecuación anterior comúnmente es utilizada los estudios de vulnerabilidad realizados por distintas organizaciones e instituciones de gobierno en varios países, salvo que estos acostumbran agregarle ciertas variables como la cantidad de población que puede resultar afectada y el posible costo económico que tendrían la reparación o la demolición y el remplazo de la infraestructura afectada.

2.5.2 ALTERNATIVAS PARA REDUCIR EL RIESGO ANTE SISMOS

Las alternativas para la reducción del riesgo ante sismos son:

- a- Reduciendo la peligrosidad sísmica.
 - Ubicar las estructuras en sitios de baja peligrosidad: esto se puede realizar únicamente con estructuras que se planean construir y puede llevarse a cabo mediante una planificación física y urbana adecuada.

- b- Modificar la vulnerabilidad propia de las estructuras.

- Reducción de la vulnerabilidad ante sismos de las estructuras que se van a construir: esto solo puede lograrse mediante dos aspectos:
 - o El mejoramiento de los códigos de construcción sismorresistente.
 - o Supervisión estricta de los procedimientos de construcción.
- Reducción de la vulnerabilidad ante sismos de estructuras ya existentes mediante:
 - o El reforzamiento de las estructuras inadecuadas.
 - o La demolición de las estructuras altamente peligrosas en donde el reforzamiento no sea suficiente.

La evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones puede realizarse por medio de:

- Análisis mediante modelos numéricos del daño sísmico de las estructuras.
- Inspección de edificios existentes.
- Pruebas de laboratorio.

Dependiendo del tipo de análisis utilizado para evaluar la vulnerabilidad de una edificación, esta puede ser:

- Vulnerabilidad Observada: derivada de la observación de los daños posteriores a un terremoto y del análisis estadístico de los mismos para algún tipo de estructura.
- Vulnerabilidad Calculada: deriva de un análisis matemático mediante un modelo estructural o mediante ensayos en laboratorio de modelos reducidos y cuyos resultados sean expresados en modelos probabilísticos.

2.5.3 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL.

Comprende la estimación del posible deterioro físico que pueden presentar los elementos que forman parte del sistema resistente. El nivel de daño que sufrirá una edificación depende tanto del comportamiento global como local de la estructura, se puede asegurar que dicho comportamiento estará relacionado con la calidad de los materiales empleados, las características de los elementos estructurales, su configuración, esquema resistente y las cargas actuantes.

Para analizar la vulnerabilidad estructural de un edificio, es conveniente considerar dos niveles de verificación:

- **Nivel de servicio:** está relacionado a la capacidad que posee la estructura de seguir siendo ocupada para la realización de las funciones para las que fue diseñada y construida. Se considera que independientemente de su uso, las edificaciones deberían experimentar el mínimo o ningún daño en sus componentes estructurales y no estructurales al momento de un sismo.
- **Estado limite último** (agotamiento de la capacidad resistente): está relacionado con el colapso de la estructura, este estado se produce generalmente cuando ocurre un terremoto de gran magnitud. La resistencia requerida para este estado depende de varios factores, tales como el uso del edificio, el riesgo que presentan los daños que se puedan producir en la edificación y la ductilidad deseada en los componentes del edificio. La siguiente tabla ilustra los requisitos Visión 2000 a considerar en el diseño de estructuras (Tabla 15), la cual relaciona los niveles de seguridad de las edificaciones y el desempeño esperado de las mismas ante la ocurrencia de sismos.

Tabla 15 Requisitos Visión 2000 en cuanto al diseño de estructuras.

Nivel de diseño sísmico	Comportamiento requerido			
	Operación permanente	Ocupación inmediata	Protección de la vida	Prevención del colapso
Frecuente (50%/30 años)	Instalación básica o comercial		Comportamiento inaceptable para (edificios nuevos)	
Ocasional (50%/50 años)	Instalación esencial o peligrosa	Instalación básica o comercial		
Raro (10%/50 años)	Seguridad crítica	Instalación esencial o peligrosa	Instalación básica o comercial	
Muy raro (10%/100 años)		Seguridad crítica	Instalación esencial o peligrosa	Instalación básica o comercial

NOTA:

La clasificación del tipo de edificación se hace de la siguiente forma:

- **Seguridad crítica:** edificaciones como hospitales o departamentos de bomberos.
- **Instalación esencial o peligrosa:** edificaciones como centrales telefónicas o edificios con químicos tóxicos.
- **Instalación básica o convencional:** edificios de oficinas y residencias.
-

Fuente: Organización panamericana de la salud, 2000.

Los niveles de seguridad para una edificación expuestos en la tabla anterior se definen de la siguiente manera:

- **Nivel de operación permanente.**

En este nivel, todos los sistemas de abastecimiento y servicios básicos del edificio deben continuar operando luego de ocurrido el sismo.

- **Nivel de ocupación inmediato.**

Se presentan daños limitados en la estructura y en los componentes no estructurales, los sistemas resistentes conservan casi toda la capacidad que poseían antes del evento, el daño no estructural es mínimo, los accesos y sistemas de protección permanecen operacionales. Se espera que los ocupantes puedan permanecer dentro aunque el uso normal de la edificación estaría limitado.

- **Nivel de protección de la vida.**

La edificación poseerá un daño significativo, aunque aún presentaría cierto rango de protección contra el colapso total o parcial, la mayoría de los componentes estructurales y no estructurales no han caído, las rutas de evacuación siguen operacionales pero limitadas, algunas personas pueden resultar heridas durante el sismo, pero se espera que las lesiones no sean de magnitud tal que puedan cobrar la vida de los afectados. En estas condiciones puede resultar antieconómico reparar la estructura.

- **Nivel de protección al colapso.**

El daño a la edificación puede ser tal que se presente el colapso parcial o total de la estructura a causa de la degradación de la rigidez o de la resistencia del sistema portante ante fuerzas laterales, la deformación lateral permanente de la estructura o la disminución de la capacidad para soportar cargas verticales. Existe un riesgo grave en cuanto a la posible caída de objetos, la edificación por tanto no es apta para ser reforzada, ni para su ocupación inmediata.

2.5.4 VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL

Comprende la estimación del posible deterioro de los componentes que no forman parte integrante del sistema resistente, a los cuales se les denomina como “componentes no estructurales” los cuales a su vez cumplen funciones importantes dentro de la edificación. Los componentes no estructurales comprenden dos tipos de componentes, los arquitectónicos y los electromecánicos (Figura 46).

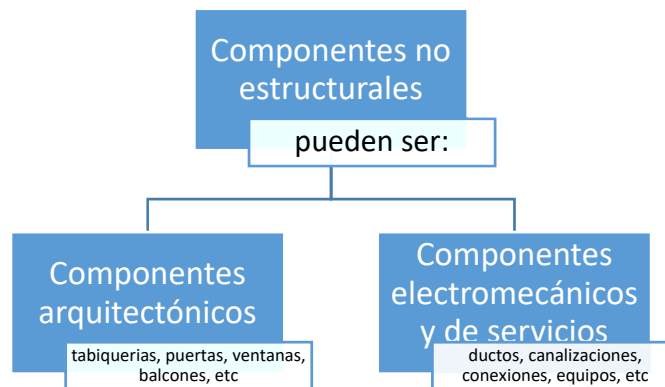


Figura 46: Tipos de componentes no estructurales de una edificación esencial (Melone y Salvador, 2003).

La proporción de equipos y el contenido de la edificación, así como el impacto en la falla de sus servicios es determinante en una edificación esencial, sobre todo en instalaciones de salud, escuelas, estaciones de bomberos, entre otras. Los componentes no estructurales de las edificaciones se relacionan directamente con el propósito y función de la instalación, siendo estos los que paradójicamente se ven más afectados cuando ocurre un sismo. Algunos componentes no estructurales pueden incidir o propiciar fallas estructurales, o pueden modificar significativamente la respuesta dinámica esperada, por

ejemplo, las escaleras, los elementos de mampostería y los pesados revestimientos, pueden alterar la respuesta dinámica de la estructura, introduciendo excentricidades y efectos torsionales indeseables.

El problema puede verse incrementado cuando las estructuras son intervenidas y modificadas, remodeladas o ampliadas (como suele suceder a menudo), durante estos cambios, generalmente se pretende crear nuevos espacios, modificando o añadiendo áreas sin contemplar los efectos que podrían tener estas modificaciones sobre la respuesta de los elementos estructurales ante un sismo. Se añaden nuevos equipos y se reubican instalaciones interrumpiendo en algunos casos los elementos estructurales, se modifican los patrones de carga y uso de ambiente, alterando así el estado de vulnerabilidad de la edificación.

2.5.5 VULNERABILIDAD FUNCIONAL

En situaciones de emergencia o crisis ante sismos se presenta un incremento abrupto en la demanda de los servicios de las edificaciones esenciales, tomando en cuenta que la edificación puede resultar dañada a consecuencia de la sollicitación del sismo y se haya disminuido su capacidad para prestar servicios, se prevé una situación crítica en la cual se incremente el riesgo de verse afectada la funcionalidad del edificio e inclusive se podría llegar a un colapso funcional.

El colapso funcional se produce cuando la instalación, aunque no haya sufrido ningún daño en su estructura física, se ve incapacitada de brindar los servicios inmediatos de atención a la emergencia y la posterior recuperación de la comunidad afectada.

La vulnerabilidad funcional describe la predisposición de la instalación de ver perturbado su funcionamiento como consecuencia del incremento de la demanda de sus servicios y el daño en los componentes estructurales o no estructurales del edificio. Son diversos los factores que pueden contribuir a incrementar el nivel vulnerabilidad funcional de instalaciones en edificaciones prioritarias, entre los que destacan:

- Una distribución inadecuada de las áreas de servicios, aspecto muy determinante en edificaciones de salud, si se tiene en cuenta que las mismas deben estar en capacidad de prestar atención masiva a pacientes luego de ocurrido un sismo o desastre natural.
- La ausencia de un plan de emergencia probado con anterioridad, que permita hacer frente a la situación, sobre todo en lo referente al manejo de información.
- La forma en que se dispone de la infraestructura para atender la crisis generada por un sismo.
- Una inadecuada distribución y relación entre espacios arquitectónicos, así como ineficientes sistemas de evacuación y vías de escape.
- Inapropiados sistemas de comunicación, señalización y vialidad de acceso.

2.5.6 VULNERABILIDAD ANTE SISMOS DE EDIFICACIONES DEL TIPO A (ESCENCIALES)

La efectividad de los planes de emergencia o respuesta sísmica parte del supuesto de que las edificaciones del tipo A mantienen en todo momento su capacidad de prestar servicios ante la crisis que se pueda generar producto de estos fenómenos. El riesgo ante sismos varía según el tiempo y la región donde se generen, por tanto depende de ciertos aspectos de la región afectada, tales como:

- ✓ La sismicidad de la región.
- ✓ La densidad de la población.
- ✓ El nivel de desarrollo económico.
- ✓ El grado de preparación.

El conocimiento de la vulnerabilidad de este tipo de edificaciones fundamenta el despliegue de cualquier plan de emergencia y atención ante estos eventos. En estos casos no solo es necesario estimar la vulnerabilidad intrínseca de las edificaciones, sino que también habrá que estimar en qué medida impacta a la comunidad la reducción de su capacidad para prestar servicios o funciones.

2.5.6.1 NECESIDAD DE EVALUACIÓN

La vulnerabilidad sísmica de los elementos expuestos es una condición propia de cada edificación, su evaluación implica un proceso complejo y laborioso. Para comprender

mejor el estado de vulnerabilidad ante sismos de cualquier tipo de edificaciones, es necesario conocer dos conceptos principales, como lo son: la afectación y el daño.

- ✓ La afectación, es el nivel de perturbación funcional que puede sufrir una instalación y está directamente relacionada con la llamada *vulnerabilidad funcional*.
- ✓ Daño, se refiere al deterioro físico que pueden sufrir los diversos elementos de una edificación.

Se define entonces el grado de daño que una edificación puede presentar ante un evento sísmico, como el nivel de deterioro que puede sufrir la misma ante tal evento. El daño en las construcciones puede ser de dos tipos: estructural o no estructural, dependiendo si el elemento en cuestión forma parte o no del sistema resistente de la edificación. Estos daños están respectivamente relacionados con las llamadas vulnerabilidad estructural y vulnerabilidad no estructural.

Generalmente en las edificaciones convencionales solo se requiere la evaluación de la vulnerabilidad estructural, debido al poco grado de importancia de las mismas, en cambio, en edificaciones del tipo A es necesaria la evaluación de los tres tipos de vulnerabilidad mencionados anteriormente (vulnerabilidad estructural, vulnerabilidad no estructural y vulnerabilidad funcional).

2.5.7 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES A EVALUAR EN LOS ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD

Como se mencionó en apartados anteriores el principal objetivo de los estudios de vulnerabilidad es evaluar el nivel de seguridad que poseen las personas que habitan un edificio con respecto a la posible ocurrencia de sismos. Para saber qué tan seguro es para las personas permanecer dentro o fuera de una edificación (a sus alrededores), se deben evaluar no solo los componentes estructurales de la misma; dicha información podría brindar información acerca de que tan posible es que la edificación colapse total o parcialmente sobre sus ocupantes, pero es necesario también tener en cuenta que tipo de elementos podrían caer y lastimar a las personas, y que otros elementos deben mantenerse a salvo durante un sismo (que sean vitales para mantener las funciones principales del edificio). Se describen a continuación algunos de los componentes que deberán evaluarse en un estudio de vulnerabilidad, los cuales como ya se mencionó pueden ser de tres tipos, estructurales, no estructurales y funcionales.

2.5.7.1 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES

El componente estructural está conformado por los elementos estructurales que permiten que la estructura permanezca en pie y tenga un buen comportamiento ante sismos que a su vez garantice el desarrollo normal de las funciones básicas de una edificación. Se pueden considerar como componentes estructurales a evaluar los siguientes:

1. Información del sistema estructural
2. Configuración estructural
3. Componentes de la estructura
 - Columnas.
 - Vigas.
 - Muros.
 - Sistemas de entrepiso.
 - Sistemas de cubierta.

2.5.7.2 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES NO-ESTRUCTURALES

El componente No-Estructural está conformado por un conjunto de sistemas que realizan funciones específicas y permiten que el edificio sea habitable y pueda funcionar normalmente.

Está organizado en tres grupos:

1. Arquitectónicos

Este grupo está conformado por todos aquellos elementos que siendo físicamente parte de la edificación, no cumplen funciones de índole estructural, se conforman de la siguiente forma:

- Elementos arquitectónicos
- Sistemas de iluminación.
- Sistema de techo.

- Mobiliario.

2. Líneas Vitales.

Incluye todas las instalaciones fijas de servicios, las cuales en caso de mal funcionamiento dejarán inoperativa la edificación.

- Suministro de distribución de Energía Eléctrica.
 - o Transformadores
 - o Tablero de distribución
 - o Sistema de Emergencia
- Sistema de distribución de Agua y desagüe
 - o Suministro de redes.
- Suministro de Abastecimiento
- Suministro de Almacenamiento (Cisternas)
- Sistema de desagüe.

3- Electromecánicos.

Comprende los equipos electromecánicos que posee la edificación y que al igual que las líneas vitales, son necesarios para el funcionamiento normal de la edificación, entre estos se pueden mencionar:

- Equipos de ascensores.
- Sistemas de aire acondicionado.

2.5.7.3 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES FUNCIONALES

El componente Funcional es básico en todos los tipos de edificaciones y es el más importante en las edificaciones esenciales para afrontar determinadas situaciones durante una emergencia. Estos incluyen todos los elementos necesarios para asegurar el correcto flujo de personas dentro y fuera de la edificación al momento de un sismo y después de este durante la emergencia. Algunos componentes funcionales son:

- 1- Accesos.
- 2- Vías de circulación.
- 3- Señalizaciones.
- 4- Instalaciones de comunicación (líneas telefónicas, radios, entre otras).
- 5- Áreas de servicio.

2.6 MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD EN EDIFICACIONES

Dentro de los estudios de vulnerabilidad estructural, la naturaleza y el grado de daño en los elementos estructurales se definen en términos cualitativos y cuantitativos. En los términos cualitativos se establecen diferentes niveles y descripciones de daños, cuyo reconocimiento se fundamenta en la observación e identificación de deterioros característicos de los diversos elementos estructurales que han sido verificados después de la ocurrencia de un sismo en experiencias anteriores. En cuanto a la cuantificación del daño, este es un problema complejo puesto que no existe un criterio unificado, razón

por la cual existe una gran diversidad de modelos e índices de daños que varían de una región a otra, elaborados para facilitar su aplicación a un gran número de tipologías de edificios y estructuras de diferentes características.

Con lo establecido anteriormente, los métodos utilizados para evaluar la seguridad estructural de las edificaciones pueden ser de dos tipos, métodos numéricos cualitativos y métodos numéricos analíticos.

2.6.1 MÉTODOS NUMERICOS CUALITATIVOS.

Son más apropiados para evaluar una gran cantidad de edificaciones, arrojan resultados con mayor rapidez para un sin número de tipologías constructivas, que pueden ser determinantes en la toma de decisiones para la mitigación del riesgo en una determinada región. Estos métodos utilizan la opinión de expertos y datos empíricos de daños sufridos por las estructuras en terremotos pasados. Establecen una escala de valores para calificar la calidad de las diferentes características estructurales, constructivas, funcionales o arquitectónicas de una edificación, a las cuales les asigna un valor numérico (a veces afectados por un factor de ponderación o corrección), cuya suma total representa la vulnerabilidad ante sismos de la estructura. Entre estos métodos tenemos:

2.6.1.1 MÉTODO DEL FACTOR DE DECISIÓN.

Analiza una serie de características de la edificación como la funcionalidad, el criterio de confianza, la ubicación del edificio y la sismicidad del sitio, le asigna un valor numérico

a cada una de ellas; luego se determina el tipo de análisis que se debe de utilizar para evaluar la resistencia sísmica de la edificación mediante el *factor de decisión*, el cual es la suma total de los valores asignados a cada característica analizada de la edificación.

Dicho factor también puede utilizarse directamente como una medida cualitativa de la vulnerabilidad de la edificación considerada (General Services Administration, 1976, Caceido, 1994).

2.6.1.2 MÉTODO EMPÍRICO.

Propone una metodología rápida y preliminar para la evaluación de la vulnerabilidad ante sismos, en base a un análisis pre-evento. Puede ser utilizado por personas no relacionadas con el tema de la ingeniería sísmica o con poca experiencia. Se basa en un análisis cualitativo de las características de la construcción, tales como: la calidad y el estado de la misma, configuración y forma, tipo de estructura, características del suelo y de la fundación, estabilidad de componentes no estructurales (H. Peralta, 2002). A cada característica le asigna una calificación subjetiva de vulnerabilidad, que puede ser alta (A), media (M) o baja (B) (ver Tabla 16).

Tabla 16 Matriz de calificación de la vulnerabilidad método de Cardona.

ASPECTO	VULNERABILIDAD			VALOR
	A	M	B	
1. Calidad y estado de la construcción	50	25	5	

2. Configuración y forma de la edificación	60	30	5	
3. Tipo de estructura	80	40	15	
4. Características del suelo y la cimentación	60	30	10	
5. Estabilidad de componentes no estructurales	50	25	5	

Fuente: Peralta, 2002.

Luego de calificar cada aspecto, se realiza la suma total de los valores respectivos con lo cual se obtiene un resultado o parámetro global, cuando el resultado supera el valor de 150 se considera que la edificación es altamente vulnerable, si se encuentra entre 90 y 150 se considerará a la edificación como vulnerable y si este se encuentra por debajo de 90 será considerada como segura (H. Peralta, 2002).

2.6.1.3 MÉTODO ARGENTINO

Utilizado en la zona de Gran Mendoza, Argentina, para la evaluación de la vulnerabilidad ante sismos y desarrollada por la “Unidad de Riesgo Sísmico y Desarrollo Local” como una propuesta experimental. Al igual que el método anterior asigna valores a una serie de variables sencillas las cuales dependen de las características constructivas de la edificación, para obtener una escala de riesgo, las características que toma en cuenta son: número de pisos, materiales de techos y muros, antigüedad de la construcción, estructuración, suelo y colindancia (Fernández, 1987).

Tabla 17 Calificación de la vulnerabilidad del método argentino.

Variable	Intervalo	Valor
I. Número de pisos	1	1
	2	2
	3 a 5	3
	6 o más	4
II. Material de muros	Ladrillo	1
	Adobe	3
	Dudoso	4
III. Material de techos	H1A1	4
	Otros	3
	Caña y barro	5
IV. Antigüedad	Hasta 10 años	1
	De 11 a 30 años	3
	De 31 a 50 años	2
	Más de 50 años	4
V. Estructuración	Sismo resistente	1
	Mixta	3
	No sismo resistente	5
VI. Suelo	Firme	2
	Intermedio	3
	Blando	4
VII. Colindancia	x0 Nulo	0
	X1 Bajo	1
	X2 Moderado	2

	X3 Alto	3
	X4 Muy alto	4
Calificación		
De 3 hasta 16	Riesgo bajo – RB	1
De 17 hasta 23	Riesgo moderado – RM	2
24 o más	Riesgo alto – RA	3

Fuente: Peralta, 2002.

2.6.1.4 MÉTODO DE LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA.

Planteado para la evaluación de la vulnerabilidad ante sismos en viviendas de mampostería, se basa en la calificación de seis aspectos: geométricos, constructivos, estructurales, cimentación, suelos y entorno. Para poder asignar una calificación a cada aspecto, este se compara con patrones generales (previamente establecidos) y la información necesaria se obtiene mediante inspecciones visuales. Se establecen tres niveles de vulnerabilidad, cada uno asociado a un color: vulnerabilidad baja (verde), vulnerabilidad media (naranja) y vulnerabilidad alta (rojo) (AIS, 2001). Los factores y detalles que deben evaluarse por cada uno de los aspectos anteriormente mencionados son:

ASPECTOS GEOMÉTRICOS.

- Irregularidad en planta de la edificación.
 - o Vulnerabilidad baja:

- La edificación posee una forma geométrica regular y aproximadamente simétrica.
 - El largo de la edificación es menor que tres veces ancho
 - Vulnerabilidad media:
 - La edificación presenta algunas irregularidades en planta o en altura no muy pronunciadas.
 - Vulnerabilidad alta:
 - El largo es mayor que tres veces su ancho.
 - La forma de la edificación es irregular, con entradas y salidas abruptas.
- Cantidad de muros en las dos direcciones principales.
 - Vulnerabilidad baja:
 - Existen muros estructurales en las dos direcciones principales de la vivienda y estos son confinados o reforzados.
 - La longitud total de los muros en cada una de las direcciones principales es igual al valor dado por:

$$L_o = \frac{M_o * A_p}{t}$$

Ecuación 2.6.1

Dónde:

A_p = área en m² de la planta (cuando la cubierta sea liviana, A_p se multiplica por 0.67).

t = espesor de muros.

M_o = coeficiente que se obtiene de la Tabla 18, los valores de A_a se obtienen del mapa de amenaza sísmica de la NSR-98.

Tabla 18 Coeficiente M_o para muros de mampostería según la amenaza sísmica de la región (método AIS).

Zona sísmica	Aa	M_o
Alta	0,40	33
	0,35	30
	0,30	25
	0,25	21
Intermedia	0,20	17
	0,15	13
Baja	0,10	8
	0,05	4

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2000.

- Vulnerabilidad media:
 - La mayoría de los muros se concentran en una que otra dirección, aunque existen uno o varios en la otra dirección.
 - La longitud de los muros en la dirección de menor cantidad de muros es ligeramente inferior a la calculada con la fórmula anterior.
- Vulnerabilidad alta:
 - Más del 70% de los muros están en una sola dirección.
 - Hay muchos muros confinados o reforzados.
 - La longitud total de muros estructurales en cualquier dirección es mucho menor que la calculada con la ecuación anterior.
- Irregularidad en altura.
 - Vulnerabilidad baja:
 - La mayoría de los muros estructurales son continuos desde la cimentación hasta el techo.

- Vulnerabilidad media:
 - .algunos muros presentan discontinuidades desde la cimentación hasta el techo.
- Vulnerabilidad alta:
 - La mayoría de los muros no son continuos en altura desde la cimentación hasta el techo.
 - Los sistemas de muros poseen cambios en su alineación vertical.
 - Cambio de sistema de muros en pisos superiores a columnas en el piso inferior.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.

- Calidad de las sisas de pega en mortero.
 - Vulnerabilidad baja:
 - El espesor de las sisas está entre los 0.7 y 1.3 cm.
 - Las juntas son uniformes y continuas.
 - Las juntas tanto verticales como horizontales son de buena calidad rodeando completamente cada unidad de mampostería.
 - El mortero es de buena calidad y proporciona buena adherencia con la unidad de mampostería.
 - Vulnerabilidad media:
 - El espesor de la mayoría de las sisas es mayor a 1.3cm o menor de 0.7cm.
 - Las juntas no son uniformes.
 - No existen juntas verticales o son de mala calidad.

- Vulnerabilidad alta:
 - Se observa una adherencia muy pobre o inexistente entre las unidades de mampostería.
 - Se observa una mala alineación de las piezas de mampostería.
 - El mortero es de muy mala calidad.
 - No existen juntas verticales u horizontales en algunas zonas de los muros.

- Tipo y disposición de las unidades de mampostería.
 - Vulnerabilidad baja:
 - Las unidades de mampostería están cuatropedadas en cada hilada.
 - Las unidades de mampostería son de buena calidad. No presentan agrietamientos importantes, no hay piezas deterioradas o rotas.
 - Las piezas están colocadas de manera uniforme y continua hilada tras hilada.

 - Vulnerabilidad media:
 - Algunas de las piezas están cuatropedadas mientras otras no lo están. Siendo las más abundantes las de la primera clase.
 - Algunas piezas presentan agrietamiento o deterioro.
 - Algunas piezas están colocadas de manera uniforme y continua hilada tras hilada.

 - Vulnerabilidad alta:
 - Las unidades de mampostería no están cuatropedadas.

- Las unidades de mampostería son de muy mala calidad. Se presentan agrietamientos importantes con piezas deterioradas o rotas.
 - Las piezas no están colocadas de manera uniforme y continua hilada tras hilada.
- Calidad de los materiales del acabado o repello.
- Vulnerabilidad baja:
 - El mortero no se desmorona o raya al ser arañado por un clavo o herramienta metálica.
 - El concreto tiene buen aspecto, sin huecos o burbujas de aire y el acero no está expuesto.
 - En los elementos de confinamiento en concreto reforzado, hay estribos abundantes y por lo menos 3 o 4 barras No 3 en sentido longitudinal.
 - Vulnerabilidad media:
 - Se cumplen varios de los requisitos mencionados anteriormente.
 - Vulnerabilidad alta:
 - No se cumplen más de dos requisitos de los mencionados anteriormente.

ASPECTOS ESTRUCTURALES.

- Muros confinados y reforzados
 - Vulnerabilidad baja:

- Todos los muros de mampostería de la vivienda están confinados con nervios y soleras de concreto reforzado alrededor de ellos.
 - El espaciamiento máximo entre elementos de confinamiento es del orden de 4m o la altura entre pisos.
 - Todos los elementos de confinamiento tienen refuerzo tanto longitudinal como transversal y esta adecuadamente dispuesto.
 - Vulnerabilidad media:
 - Algunos muros de la edificación no cumplen con los requisitos mencionados anteriormente.
 - Vulnerabilidad alta:
 - La mayoría de muros de mampostería de la vivienda no tienen confinamiento mediante nervios y soleras de concreto reforzado.
- Detalles de columnas y vigas de confinamiento
- Vulnerabilidad baja:
 - Los nervios y soleras tienen más de 20 cm de espesor o más de 400 cm² de área transversal.
 - Los nervios y soleras tienen al menos 4 barras No 3 longitudinales y estribos espaciados a no más de 10 a 15 cm.
 - Existe un buen contacto entre el muro de mampostería y los elementos de confinamiento.
 - El refuerzo longitudinal de las columnas y vigas debe estar adecuadamente anclado en sus extremos y a los elementos de la cimentación.

- Vulnerabilidad media:
 - No todos los nervios y soleras cumplen con los requisitos anteriores.
- Vulnerabilidad alta:
 - La mayoría de los nervios y soleras de confinamiento no cumplen con los requisitos establecidos anteriormente.
- Vigas de amarre o corona
 - Vulnerabilidad baja:
 - Existen vigas de amarre o de corona de concreto reforzado en todos los muros, fachadas y culatas en mampostería.
 - Vulnerabilidad media:
 - No todos los muros o elementos de mampostería disponen de vigas de amarre o de corona.
 - Vulnerabilidad alta:
 - La vivienda no dispone de vigas de amarre o corona en los muros o elementos de mampostería.
- Características de las aberturas o huecos en muros
 - Vulnerabilidad baja:
 - Las aberturas en los muros estructurales totalizan menos del 35% del área total del muro.
 - La longitud total de aberturas en el muro corresponde a menos de la mitad de la longitud total del muro.
 - Existe una distancia desde el borde del muro hasta la abertura adyacente igual a la altura de la misma o 50cm, la que sea mayor.

- Vulnerabilidad media:
 - No se cumplen algunos de los anteriores requisitos en algunos de los muros de la vivienda.
- Vulnerabilidad alta:
 - Muy pocos o ningún muro estructural de la vivienda cumple con los requisitos anteriores.
- Tipo y disposición de entrepisos
 - Vulnerabilidad baja:
 - El entrepiso está conformado por losas de concreto colados en el sitio o losas prefabricadas que funcionan de manera monolítica.
 - La losa de entrepiso se apoya de manera adecuada a los muros de soporte y proporciona continuidad y monolitismo.
 - La losa de entrepiso es continua, monolítica y uniforme en relación con los materiales que lo componen.
 - Vulnerabilidad media:
 - La losa de entrepiso no cumple con alguna de las consideraciones anteriores.
 - Vulnerabilidad alta:
 - La losa de entrepiso no cumple con varias de las consideraciones anteriores.
 - Los entrepisos están conformados por madera o combinaciones de materiales (mortero, madera, concreto, entre otros) y no proporcionan las características de continuidad y amarre deseados.

- Amarre y fijación de techos
 - o Vulnerabilidad baja:
 - Los techos están fijados a los muros por medio de tornillos, alambres o conexiones similares.
 - La estructura de techo posee un entramado de vigas y la distancia entre ellas no es muy grande, de manera que existe un buen arriostamiento entre las mismas.
 - El techo es liviano y está debidamente amarrado y apoyado en la estructura de vigas.
 - o Vulnerabilidad media:
 - Se cumplen algunos de los requisitos anteriores.
 - o Vulnerabilidad alta:
 - La mayoría de los requisitos mencionados anteriormente no se cumplen.
 - La estructura de techo es pesada y no está debidamente soportada o arriostrada.

CIMENTACIÓN

- Vigas de fundación.
 - o Vulnerabilidad baja:
 - La cimentación está conformada por soleras de concreto reforzado bajo los muros estructurales.
 - Las soleras de fundación conforman anillos amarrados.

- Las soleras de fundación de concreto reforzado cumplen los requisitos del capítulo 1 del Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería.
- Vulnerabilidad media:
 - La cimentación no está debidamente conectada o amarrada.
 - No se cumplen algunos de los requerimientos anteriores.
- Vulnerabilidad alta:
 - No se cumplen la mayoría o gran parte de los requerimientos mencionados anteriormente.

SUELO

- Tipo de suelo (blando, intermedio o duro).
 - Vulnerabilidad baja:
 - El suelo de la fundación es duro. Cuando alrededor de la edificación no existen hundimientos, cuando no se evidencian árboles o postes inclinados, no se siente vibración cuando pasa un vehículo pesado cerca de la vivienda o cuando en general la vivienda no presenta agrietamientos o daños generalizados, especialmente grietas en los pisos o hundimientos y desniveles en el mismo.
 - Vulnerabilidad media:
 - .el suelo de fundación es de mediana resistencia. Se puede presentar en general algunos hundimientos y vibraciones por el paso de vehículos pesados. Se pueden identificar algunos daños generalizados en viviendas o manifestaciones de hundimientos pequeños.

- Vulnerabilidad alta:
 - El suelo de la fundación es blando o es arena suelta. Notorio hundimiento de zonas vecinas, el suelo vibra con el paso de los vehículos pesados y la vivienda ha presentado asentamientos considerables. La mayoría de las viviendas de la zona presentan agrietamientos o hundimientos.

ENTORNO

- Vulnerabilidad baja:
 - El terreno en el cual se encuentra la vivienda es plano o muy poco inclinado.
- Vulnerabilidad media:
 - El terreno sobre el cual está emplazada la vivienda tiene un ángulo entre 20 a 30 grados de inclinación con la horizontal.
- Vulnerabilidad alta:
 - La vivienda se encuentra localizada en una pendiente con una inclinación mayor de 30 grados con la horizontal.

Los factores que componen cada uno de los aspectos a evaluar durante la inspección se colocan en un formulario como el mostrado en la Tabla 19, en donde a cada uno se le asigna un nivel de vulnerabilidad (baja, media o alta) con una determinada puntuación. Las puntuaciones utilizadas por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica no son del conocimiento del público; sin embargo, la Tabla 19 muestra las puntuaciones adaptadas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres en México en su investigación denominada Evaluación Simplificada de la Vulnerabilidad Sísmica de

Viviendas (2012). La cual fue calibrada para utilizarse en viviendas de 1 a 3 pisos construidas con las características usuales que poseen las viviendas en México.

Tabla 19 Matriz de calificación de la vulnerabilidad para viviendas de mampostería (método AIS).

COMPONENTE	VULNERABILIDAD		
	BAJA	MEDIA	ALTA
ASPECTOS GEOMETRICOS			
- Irregularidades en planta de la edificación	1	2	4
- Cantidad de muros en las dos direcciones principales	1	3	20
- Irregularidad en altura	1	2	4
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS			
- Calidad de las juntas de pega en mortero	1	2	3
- Tipo y disposición de las unidades de mampostería	1	2	3
- Calidad de los materiales del acabado o repello.	1	2	3
ASPECTOS ESTRUCTURALES			
- Muros confinados y reforzados	1	2	6
- Detalles de columnas y vigas de confinamiento	1	2	4
- Vigas de amarre o corona	1	2	4
- Características de las aberturas o huecos en muros	1	2	6
- Tipo y disposición de pisos	1	2	4
- Amarre y fijación de techos	1	2	3
CIMENTACIÓN	1	2	4
SUELO	1	2	8

ENTORNO	1	2	4
Calificación global			

Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres - México, 2012.

La clasificación de vulnerabilidad ante sismos de la vivienda se obtiene al sumar las puntuaciones para cada parámetro individual, cuando el resultado de esta suma es menor que 20 se considera que la vulnerabilidad de la edificación es baja, si se encuentra entre 20 y 31 se considera que la edificación posee un nivel de vulnerabilidad media y cuando la suma sea mayor que 31 se considera que la vivienda posee un nivel de vulnerabilidad alto.

2.6.1.5 MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE BENEDETTI Y PETRINI

Este método identifica los parámetros más importantes que afectan el comportamiento de una estructura en un evento de sismo y por tanto la vulnerabilidad de la misma. La clasificación de estos parámetros se hace mediante un valor el cual es llamado índice de vulnerabilidad, que determina el grado de probabilidad de sufrir un daño por un sismo del sistema estudiado. El método tiene una ventaja sobre otros métodos debido a que califica diversos aspectos de las edificaciones separando las diferencias que existen en edificaciones de una misma tipología mientras que métodos como el ATC-13, EMS-98, MSK, entre otros clasifican las construcciones por tipologías, material y año de construcción (Mena, 2002). Los aspectos tomados en cuenta por esta metodología son: configuración en planta y elevación, el sistema de organización resistente, estado de

conservación, tipo de suelo de la zona del edificio, resistencia de la edificación, entre otras (Cuevas, 2014).

La ventaja de este método es la posible aplicación para edificios de mampostería y concreto reforzado, tipologías muy comunes en países de Latino América; para cada tipología se evalúan once parámetros los cuales tienen un valor o peso que determina su importancia y un valor que determina cuan vulnerable se encuentra la característica evaluada de cada parámetro. La suma ponderada de estos valores tiene como resultado un número el cual es el índice de vulnerabilidad de la estructura, que según un rango que se plantea determina el nivel de vulnerabilidad (Caballero, 2007).

En el método los parámetros se agruparon en un formulario de levantamiento, utilizado por primera vez en 1982, con el propósito de poseer grados de aproximación el formulario constaba de dos niveles:

- *Primer nivel:* diseñado para seleccionar los edificios “más peligrosos” desde el punto de vista estructural, los cuales califican para ser evaluados en el segundo nivel y así obtener una apreciación más exacta de su vulnerabilidad. Éste primer nivel incluye los datos generales del edificio, tales como: ubicación, dimensiones, uso, tipología estructural, etc., además de un apartado para la evaluación de daños en investigaciones post-terremoto, el cual no influye en el cálculo del índice de vulnerabilidad.

- *Segundo nivel:* en él se recopilan los datos fundamentales para el cálculo del índice de vulnerabilidad, el cual poseía dos apartados: uno para la evaluación de edificios de mampostería utilizando la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, y el segundo para la evaluación de edificios de concreto armado usando una escala similar propuesta en los estudios de Angeletti y Gavarini (Chavarría y Gómez, 2001).

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

El índice de vulnerabilidad se obtiene con la suma ponderada de los valores numéricos que expresan la “calidad” de cada uno de los parámetros estructurales. A cada parámetro se le atribuye, durante la inspección de campo, una de las cuatro clases A, B, C, o D, (para el caso de edificaciones de mampostería Tabla 20, tres clases en el caso de edificaciones de concreto reforzado Tabla 21, las cuales por separado definen un estado de calidad de los componentes evaluados por dicho parámetro. A cada clase le corresponde un valor de K que varía entre 0 y 45. Para reflejar la importancia de cada parámetro dentro del sistema sismo resistente se utiliza un coeficiente de peso W el cual varía entre 0,25 y 1,5. De esta forma el índice de vulnerabilidad se define por la siguiente expresión:

$$VI = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i \quad \text{Ecuación 2.6.2}$$

Dónde:

I=parámetro a evaluar.

K=clase

W=Importancia o peso del parámetro.

Tabla 20 Escala numérica del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini 1984 para edificios de mampostería no reforzada

Calificación		Ki				
N°	Parámetro	A	B	C	D	Wi
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.0
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5
4	Influencia de la cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Elementos horizontales	0	5	15	45	1.0
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.5
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.0
8	Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.0
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.0

Fuente: Cuevas, 2014.

Tabla 21 Escala numérica del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini 1984 para edificios de concreto reforzado.

Calificación		Ki			
N°	Parámetro	A	B	C	Wi
1	Organización del sistema resistente	0	1	2	4.0
2	Calidad del sistema resistente	0	1	2	1.0

3	Resistencia convencional	-1	0	1	1.0
4	Influencia de la cimentación	0	1	2	1.0
5	Elementos horizontales	0	1	2	1.0
6	Configuración en planta	0	1	2	1.0
7	Configuración en elevación	0	1	3	2.0
8	Conexiones entre elementos	0	1	2	1.0
9	Elementos de baja ductilidad	0	1	2	1.0
10	Elementos no estructurales	0	1	2	1.0
11	Estado de conservación	0	1	2	2.0

Fuente: Cuevas, 2014.

2.6.1.6 MÉTODO DE VELASCO Y TASSIOS.

Determina la vulnerabilidad ante sismos de edificaciones y evalúa el riesgo relativo de las mismas. Utilizado para la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones de la ciudad de Popayán, Colombia (INGEOMINAS, 1992). El procedimiento en cada uno de los dos casos es el siguiente:

A) Determinación de la vulnerabilidad.

En esta fase se clasifican las edificaciones según su tipología estructural, según tres categorías que pueden ser:

- **Tipo 1.** Esta clasificación abarca las edificaciones provenientes de la arquitectura española de los siglos XVIII y XIX que hayan sido o no intervenidas con anterioridad y sin importar el año de construcción, cuyos elementos de

construcción hayan sido mampostería de adobe, ladrillo cocido ligado con mortero de cal, o cualquier combinación de estos elementos con entresijos y techos cuyo material estructural fundamental sea la madera.

- **Tipo 2.** Considera edificaciones que hayan sido elaboradas a base de ladrillo de barro cocido y mortero, con o sin elementos de concreto reforzado.
- **Tipo 3.** En ella se incluyen edificios con estructuras de marcos de concreto reforzado, en los cuales las paredes operan únicamente como elementos divisorios.

Cada una de las categorías anteriores para las edificaciones se han clasificado según los elementos que intervienen en la estabilidad de la estructura, tales como: la edad de la construcción, el estado de conservación y los elementos estructurales. Se establece un *factor de ponderación* (f_{pi}), que representa la importancia del elemento dentro de la estructura global. Cada factor f_{pi} es una fracción de la unidad, la suma de todos los factores debe ser igual a 1.

Posteriormente se calcula la vulnerabilidad local (v) de cada elemento, el cual según sus características reciben una calificación de 1 a 100, en este caso un valor menor significa que el elemento cumple con las exigencias de la buena práctica ingenieril y un valor alto señala un alto grado de vulnerabilidad. La vulnerabilidad se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V = \sum f_{pi} * v_i$$

Ecuación 2.6.3

Dónde:

V: Índice de vulnerabilidad.

f_{pi} : Factor de ponderación para cada elemento.

v_i : Vulnerabilidad local de cada elemento.

Tabla 22 Matriz de calificación de índices de vulnerabilidad método de Velasco y Tassios.

Valores de V	Calificación
1 a 33	Seguro
34 a 66	Dudoso, requiere estudio más detallado
67 a 100	Riesgoso, requiere intervención

Fuente: Peralta, 2002.

B) Determinación del riesgo ante sismos relativo.

La evaluación aproximada del riesgo sísmico relativo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$RSR = I * V * H \qquad \text{Ecuación 2.6.4}$$

Dónde:

I: factor de importancia para un edificio específico (importancia estructural, funcional y social).

V: índice de vulnerabilidad (estimado a partir de factores de ponderación y calificaciones).

H: estimativo del nivel del evento sísmico (considerado como una probabilidad dada de recurrencia dentro de la vida de los edificios evaluados).

El factor de importancia “I” debe de incluir todos los costos de pérdidas de propiedades, producción, funcionamiento y vidas humanas, como también los costos históricos equivalentes, en su estudio Velasco y Tassios (1992), sugirieron los siguientes valores:

Tabla 23 Factor de importancia de las edificaciones.

Tipo de edificación	I
Casas pequeñas	1.0
Edificios multifamiliares y comercios pequeños	1.5
Edificios importantes de gobierno	2.0
Edificios de concentración de personas (escuelas, teatros, estadios, entidades para la atención de desastres)	2.5
Centros médicos asistenciales	3.0

Fuente: Peralta, 2002.

Los autores plantearon la siguiente ecuación para la estimación del nivel del evento sísmico:

$$H = A^{i-ib} \quad \text{Ecuación 2.6.5}$$

Dónde:

A: ampliación de la vulnerabilidad de un grado de intensidad en la escala de MM.

I: valor numérico igual al de la intensidad esperada en la escala MM.

Ib: valor numérico de la intensidad tomada como base de comparación.

Se utiliza un valor aproximado inicial de $A=1,26$ para la estimación del valor de H .

2.6.2 MÉTODOS NUMERÍCOS ANALÍTICOS.

Los métodos numéricos analíticos sirven para profundizar en los resultados obtenidos de los métodos cualitativos, cuando estos últimos no entreguen resultados determinantes sobre la seguridad de la estructura.

Se fundamentan en los principios utilizados para el diseño de estructuras nuevas (establecidos en los códigos de construcción). Para realizar un análisis de vulnerabilidad utilizando métodos analíticos es necesario contar con cierta información básica como: características de los materiales utilizados en la edificación, caracterización del suelo donde se encuentra emplazada la estructura y planos estructurales, entre otros (Córdova, 2006).

Desde este punto de vista la evaluación de estructuras se enfoca primordialmente en la modelación de edificios, en la cual se utilizan modelos matemáticos para representar el comportamiento histerético de la estructura con el fin de determinar los niveles de daño esperados para los elementos estructurales o para la estructura misma en su conjunto.

Los métodos numéricos analíticos pueden ser elaborados mediante dos tipos de análisis, determinísticos o probabilísticos. Para comprender mejor estos dos tipos de análisis es necesario primeramente definir dos conceptos básicos utilizados para la evaluación del

riesgo en la toma de decisiones en ciertas aplicaciones de la estadística, estos son: modelos deterministas y modelos probabilistas.

MODELOS DETERMINISTICOS.

Son modelos matemáticos en los cuales se considera que las variables de entrada son parámetros fijos, toman un solo valor, por lo cual, no contemplan la existencia del azar ni el principio de incertidumbre al momento de realizar estimaciones sobre el fenómeno evaluado.

MODELOS PROBABILÍSTICOS.

Son modelos matemáticos que consideran una cantidad mayor de variables y estas no poseen un valor fijo, por tanto poseen una mayor complejidad en sus relaciones y una mayor cantidad de elementos ajenos al modelo determinístico. Ampliamente utilizados en la evaluación de eventos o factores incontrolables y permiten evaluar el riesgo o grado de confianza en la toma de decisiones.

2.6.2.1 ANÁLISIS DETERMINISTICO.

Se considera que este tipo de análisis es muy específico, por lo cual solo puede ser aplicado sobre una estructura a la vez. Para la evaluación de una estructura mediante un análisis determinístico se realiza el modelo de la estructura y se definen sus características principales considerando los valores medios y característicos de las variables implicadas, precedentemente en el cálculo de la respuesta de la estructura se obtendrán resultados deterministas y la confiabilidad de estos se estima sobre la base

de la confiabilidad de los valores utilizados en las variables de entrada. Comúnmente para la realización de este tipo de análisis se recurre a la utilización del análisis “Pushover”, el cual se define más adelante en este trabajo de graduación.

A continuación se presentan algunos métodos que evalúan la capacidad sísmica de la estructura basados en análisis determinísticos:

METODO DEL MANUAL DE DISEÑO SISMICO PARA EL MEJORAMIENTO DE EDIFICACIONES EXISTENTES.

Elaborado por G. Matzamura, J. Nicoletti y S. Freeman, los lineamientos del método fueron desarrollados para la evaluación de instalaciones militares que posean una gran cantidad de edificaciones, pero se considera que son también adaptables para regiones donde solamente sea necesario evaluar pocas edificaciones o una sola (g. Matzamura, 1988). El procedimiento es el siguiente:

- a. Reducción del inventario de edificaciones a evaluar.

Se sabe que en este tipo de estudios es necesario poseer primeramente un inventario de las edificaciones de la región de interés, el cual debe reducirse por la poca disponibilidad de recursos (tiempo, dinero, personal, entre otros) y con la finalidad de evitar investigaciones innecesarias. Esto se logra mediante dos aspectos identificando grupos de edificaciones similares o identificando edificaciones sísmicamente peligrosas, eliminando del inventario edificaciones de poca importancia y con poca peligrosidad, tales como: edificaciones que hayan sido diseñadas mediante un determinado código de construcción, edificaciones

emplazadas sobre zonas en las cuales no son tan graves los efectos de sismos (zonas sísmicas cero), edificaciones a cuyo sistema resistente este construido a base de estructura metálica que no sean esenciales ni de alto riesgo, edificaciones ocupadas por no más de cinco personas que no sean esenciales ni de alto riesgo, entre otros.

b. Investigaciones preliminares.

Las investigaciones preliminares serán realizadas luego de la reducción en el inventario de edificaciones, solamente si existe aún la necesidad de reducir el número de estructuras a evaluar. En esta fase las edificaciones serán clasificadas como esenciales, de alto riesgo u otras. Se obtendrá inicialmente la información disponible del diseño de la edificación y los planos de “como construido”. La información será revisada y trasladada a las formas de inspección utilizadas en el proceso de revisión. Las formas de inspección servirán para establecer las listas de chequeo para las inspecciones visuales como elemento auxiliar en la toma de datos. En este caso la inspección no será muy detallada y deberá durar entre 10 y 30 minutos. Los datos de la inspección serán revisados para determinar que edificaciones permanecerán en el inventario para el proceso de evaluación preliminar.

c. Evaluación preliminar.

Provee la información analítica inicial para la estimación de la vulnerabilidad al daño sísmico de los edificios considerados. Las evaluaciones preliminares comúnmente se realizan con el siguiente procedimiento:

- 1- Revisión de la documentación.
- 2- Inspección del sitio.
- 3- Estimación de la capacidad de la estructura para resistir fuerzas sísmicas.
- 4- Estimación del daño en la estructura mediante la confrontación de la capacidad estructural con las demandas sísmicas del movimiento del suelo.
- 5- Recomendaciones.

La revisión de la documentación y la inspección del sitio, no serán necesarias para la evaluación preliminar si se considera que se obtuvo toda la información necesaria en la inspección preliminar.

d. Análisis estructurales detallados.

Esta evaluación tendrá por objetivo determinar si la edificación satisface los criterios aceptables de comportamiento ante sismos o si requiere reforzamiento, en dado caso se deben identificar las deficiencias y recomendar las alternativas de refuerzo. El procedimiento utilizado es similar al de la evaluación preliminar, con la salvedad de que el análisis es elaborado con mayor detalle y precisión, con el fin de incrementar el grado de confiabilidad en las recomendaciones de aceptar la estructura o reforzarla.

e. Conceptos de diseño para el mejoramiento o reforzamiento de la estructura.

El manual provee los lineamientos para el reforzamiento de los sistemas estructurales, la determinación de las capacidades de los elementos estructurales que serán adheridos al sistema resistente y el desarrollo de las técnicas de reforzamiento. Los criterios de diseño utilizados para el refuerzo de edificios deberán

estar de acuerdo a las provisiones aplicables requeridas en la construcción de nuevos edificios.

f. Análisis de costo-beneficio.

Durante esta fase, se debe determinar la efectividad del costo en cuanto a las siguientes acciones: no realizar ninguna acción sobre la estructura (dejarla tal como está), reforzarla o demolerla y reemplazarla. En dicho análisis se deberán considerar los efectos económicos, sociales, políticos y administrativos, con respecto a la acción propuesta (la elaboración de dicho análisis se explica en el manual).

METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES

Elaborada por D. Paéz y J. Hernández, ambos miembros del Grupo de Investigación en Materiales y Obras Civiles (GIMOC) de Colombia, en conjunto con la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. La metodología surge como una iniciativa para refinar los métodos utilizados hasta la fecha en dicho país, luego de haber realizado numerosos estudios de vulnerabilidad en el departamento de Boyacá en Colombia y está ampliamente basada en la Norma de diseño y Construcción Sismorresistente Colombiana NSR-98 (D. Páez y J. Hernández, 2006).

La metodología se basa en la obtención de conocimiento determinista, el estado de la estructura se evalúa de acuerdo a las características evaluadas en campo, por medio de visitas de inspección y diagnóstico, datos históricos de diseño, construcción, operación,

mantenimiento y cierta información suministrada por los ocupantes de la edificación o vecinos. La información recolectada deberá ayudar a identificar el comportamiento estructural debido a sucesos extraordinarios y determinar de forma preliminar la línea de degradación o deterioro cronológico de la estructura (Figura 47).

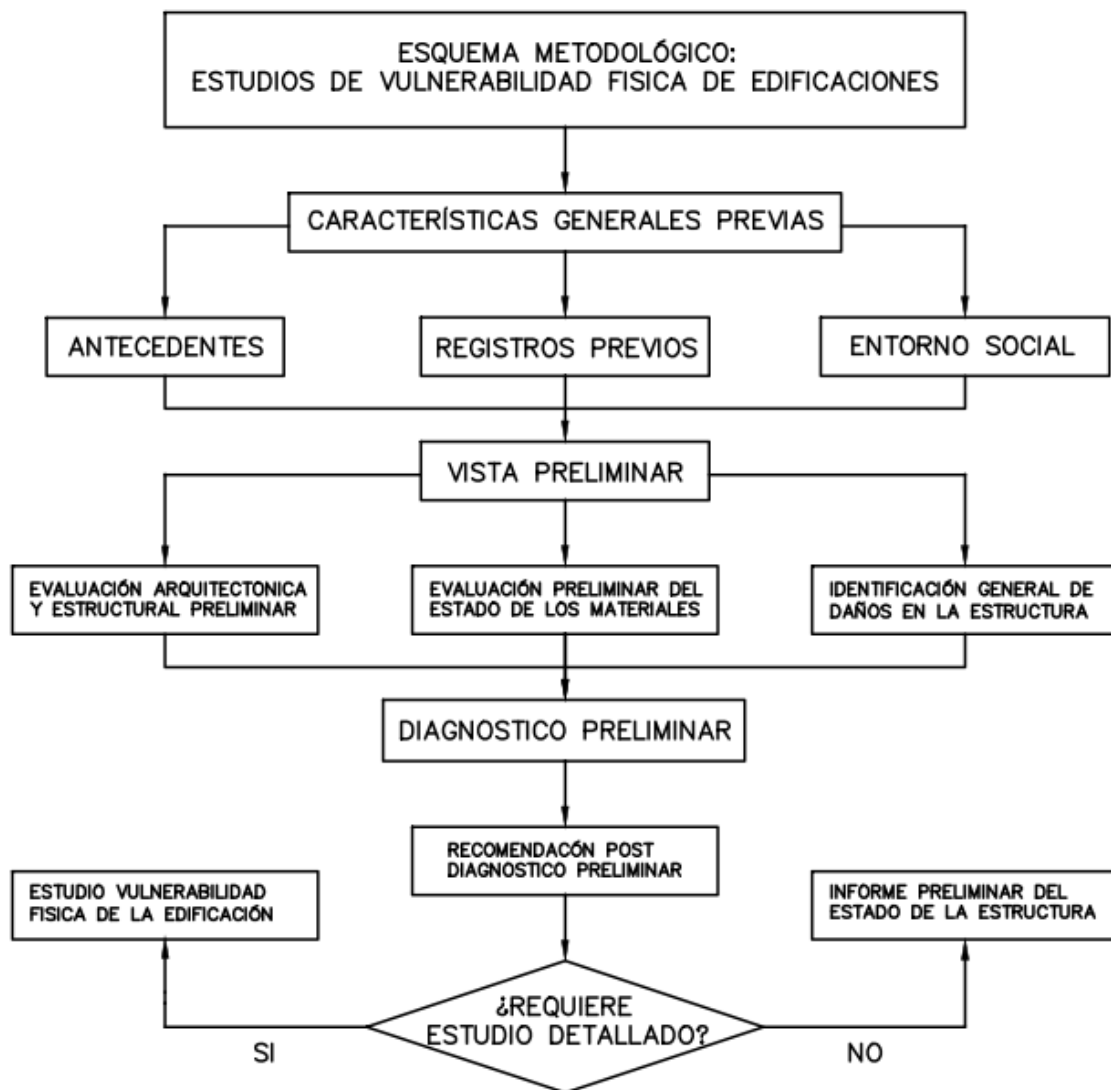


Figura 47: Esquema metodológico evaluación de vulnerabilidad preliminar (D. Paéz y J. Hernández, 2006).

Características generales previas.

- Antecedentes: información referida a los aspectos generales de la edificación, tales como: sistema estructural, condiciones geométricas, materiales utilizadas, año de construcción, nivel o naturaleza preliminar de los daños o deterioros.
- Registros previos: información referida a los planos de diseño originales, documentos de modificaciones durante el proceso constructivo, bitácoras, memorias de cálculo, documentos de especificaciones y procedimientos de cálculo y construcción.
- Entorno social: hace referencia a la importancia social de la estructura, implicaciones sociales y económicas (para la comunidad, sector aledaño, ocupantes y para el contratante del estudio de demolición).

Vista preliminar.

Conocidos los aspectos generales de la estructura a evaluar, es necesario realizar una visita preliminar cuyo objetivo sea identificar el nivel de daño general en la estructura, el tipo de sondeos a implementar y las acciones a seguir, para este fin se debe recopilar información concerniente a:

- Revisión arquitectónica y estructura preliminar: información concerniente a la configuración geométrica en planta o en altura de la edificación, con la finalidad de confrontar la estructura física contra la que se especifica en planos. En la realización del levantamiento se aconseja adjuntar las dimensiones de cada uno de los elementos estructurales que se puedan identificar.
- Revisión del estado preliminar de los materiales: esta fase comprende la realización de ensayos in-situ, además dentro de esta fase surge la necesidad

de evaluar los elementos estructurales y no estructurales por medio de análisis cualitativos.

- Identificación de daños generales: se deben identificar los daños más relevantes observados, reseñar su localización exacta, el o los elementos estructurales o no estructurales y sus posibles fuentes.

Además es necesario también realizar indagaciones a los ocupantes y vecinos, acerca del posible conocimiento del comportamiento de la estructura ante sucesos extraordinarios ocurridos e información cronológica de apariciones y propagaciones de posibles patologías. Como aspecto complementario se deben tomar en cuenta la interacción de la estructura con las edificaciones adyacentes y con el medio.

Diagnostico preliminar.

Luego de realizar la confrontación entre los registros adquiridos y la situación observada en campo, se procede a realizar el diagnostico preliminar mediante el cual se busca definir:

- El nivel de vulnerabilidad preliminar de la estructura evaluada.
- La afectación general esperada de la estructura en caso de no realizar ningún tipo de intervención en la misma (no tratar ningún daño).
- La necesidad o no de realizar un diagnóstico detallado y profundo a la edificación.

En caso de no encontrarse con la necesidad de realizar un diagnóstico más detallado debido a causas como el buen estado de la edificación, los altos costos que generarían un estudio más profundo y una posible reforma, se debe especificar si es factible la

realización de una reforma a la estructura y, detallar el tipo y grado de la intervención necesaria.

Diagnostico a profundidad o detallado.

Conlleva a una evaluación más detallada de la estructura, y es necesario si el grado de incertidumbre de la información obtenida en el diagnostico preliminar es alto y no permite tomar una decisión clara y contundente. La metodología utilizada en el diagnostico profundo o detallado se ilustra en la Figura 48.

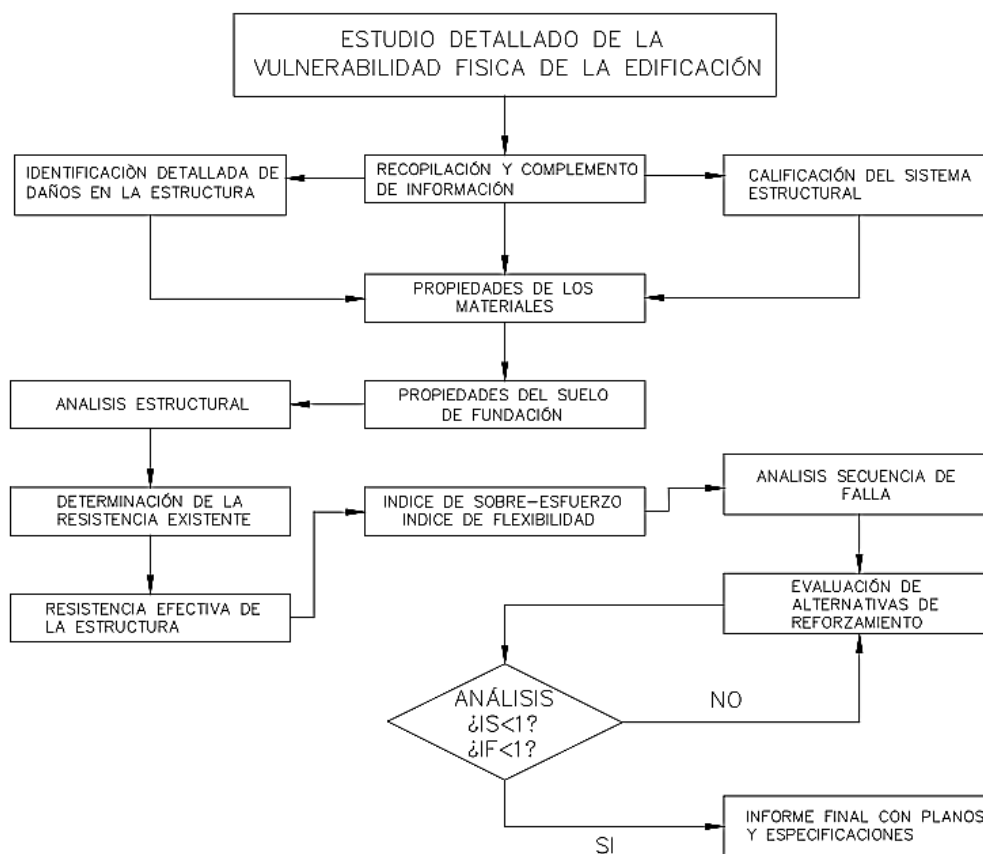


Figura 48: Esquema metodológico vulnerabilidad detallada (D. Paéz y J. Hernández, 2006).

En ésta etapa se hace necesaria la programación de una o varias visitas de campo para recopilar o complementar cierta información que en la visita preliminar pudo haberse no contemplado y que pueda por medio de ensayos o auscultaciones más profundas ayudar a concluir juicios más certeros acerca del estado de la estructura y su comportamiento.

Paralelamente a la recopilación y complemento de la información, se debe realizar:

- La identificación detallada de daños en la estructura, mediante un inventario que detalle todos los daños (incluyendo aquellos que no fueron incluidos en el diagnóstico preliminar), localización exacta, elemento o elementos y su posible fuente.
- La calificación del sistema estructural, en base a las características encontradas en la estructura por medio de las visitas y la confrontación entre lo encontrado y lo puesto en planos, memorias de diseño y de construcción. Esta calificación toma en cuenta dos aspectos para la evaluación del estado del sistema estructural en general, dichos aspectos son los siguientes:
 1. Calidad del diseño y construcción de la estructura original, en el cual se evalúa la configuración estructural, la pertinencia del sistema estructural empleado, calidad y eficiencia de los procesos constructivos, posibles fallos en la ejecución y todos aquellos aspectos que definen la concepción y ejecución de la obra.
 2. Estado de mantenimiento y conservación de la estructura, con el cual se toma en cuenta el grado de preservación que ha tenido la estructura a lo largo de su vida útil.

Posteriormente se procede a calcular las propiedades físico-mecánicas de los materiales que componen el conjunto estructural por medio de ensayos aplicados en los elementos

constituyentes de la estructura y las propiedades del suelo de fundación mediante ensayos geotécnicos, luego se determina la resistencia real de cada elemento estructural y su resistencia efectiva, esta última se calcula en base a la resistencia real del elemento, la calidad del diseño y construcción de la estructura, su estado de mantenimiento y conservación, y el grado de daño o deterioro del elemento. La resistencia efectiva expresa de forma cualitativa la resistencia esperada de dicho elemento ante el nivel de daño al que ha sido expuesto

Se procede entonces a realizar el análisis estructural pertinente con base a la configuración geométrica y estructural actual de la edificación, las propiedades de los materiales encontrados y los estados de carga previstos. El modelaje de la estructura debe ser lo más representativo posible de las condiciones reales a las cuales se encuentra sometida la misma.

Al finalizar el modelamiento de la estructura se han determinado los esfuerzos a los cuales esta o va a estar sometida la misma, de esta forma se establece la relación entre los esfuerzos actuantes y los esfuerzos resistentes a la cual se le denomina índice de sobreesfuerzo, el cual establece la proporción entre la demanda y la capacidad del elemento analizado a partir de la resistencia efectiva y las solicitaciones previstas.

Con los índices de sobreesfuerzo encontrados en los elementos analizados, se determina el grado de vulnerabilidad global de la estructura, como el inverso del mayor índice de sobreesfuerzo encontrado en el análisis anterior. Este valor determina el grado de capacidad de respuesta de la estructura ante las solicitaciones previstas en el análisis

estructural. Adicionalmente se utilizan los índices de sobreesfuerzo para determinar las secuencias de falla de la estructura.

Paralelamente al proceso de cálculo anterior, se determina el índice de flexibilidad, el cual define el grado de deformación de la estructura y se calcula en base a la relación existente entre los desplazamientos y las deformaciones de la estructura, los valores carga a utilizar para el cálculo de tales deformaciones serán los establecidos en los requisitos de la norma NSR-98 (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente).

Una vez evaluados todos estos aspectos, se puede determinar con claridad las falencias estructurales y funcionales de la edificación estudiada. Esto permite la elaboración de alternativas de reforzamiento, luego escoger de entre ellas la más conveniente, no solo tomando en cuenta los requerimientos estructurales, sino también el nivel socioeconómico del contratante, el grado de afectación a sus ocupantes y demás factores que puedan llegar a dificultar la puesta en marcha de la alternativa a considerar.

Finalmente, luego de establecer la alternativa más conveniente se debe realizar la entrega del informe final, el cual debe contener como mínimo:

- Un informe completo de cada uno de los pasos durante el diagnóstico realizado, con énfasis en los resultados de cada proceso.
- Vulnerabilidad estructural final de la estructura analizada.

- Determinación del tipo de intervención al cual se debe someter la estructura, parcial o totalmente, para poder cumplir con las solicitaciones de carga previstas y con los requisitos de la norma vigente.
- Especificaciones, planos y memorias de cálculo completas del tipo de reforzamiento escogido y la forma en la cual se va a implementar en la estructura, de acuerdo a las necesidades del contratante.

ANÁLISIS PUSHOVER.

El análisis Pushover de una estructura es un análisis estático no lineal, en el cual la estructura se modela bajo cargas verticales permanentes mientras las cargas laterales se incrementan gradualmente hasta producir la falla de la misma. Las cargas laterales entonces reciben el nombre de cargas incrementales y representan aproximadamente las fuerzas inducidas por un sismo. Mediante este análisis se obtiene un gráfico del cortante basal total versus el desplazamiento máximo en la estructura, dicho grafico es conocido comúnmente como la curva de capacidad de la estructura, que permite la determinación de la carga de colapso y la capacidad dúctil de la estructura (D. Ayala et al, 2013).

Los aspectos que deben definirse para la realización de un análisis Pushover son:

- Definir el modelo estructural: se debe utilizar un modelo 3D o un modelo 2D simplificado, en el cual se identifiquen los elementos primarios y secundarios; así como los elementos no estructurales (flexibilidad de la fundación y posibles efectos P-delta).

- Definir cargas: se deberán definir las cargas gravitacionales y el patrón de cargas laterales.
- Elegir el tipo de control incremental a utilizar en el análisis: control de cargas (control de fuerzas), o bien se puede utilizar el control de respuesta.

Este método ayuda a estimar la falla progresiva más probable de las edificaciones, a identificar el modo de falla en las estructuras, y a localizar áreas potencialmente débiles en la estructura mediante el seguimiento de la secuencia de daños de cada uno de los miembros de la misma, un ejemplo de esto se muestra en la Figura 49.

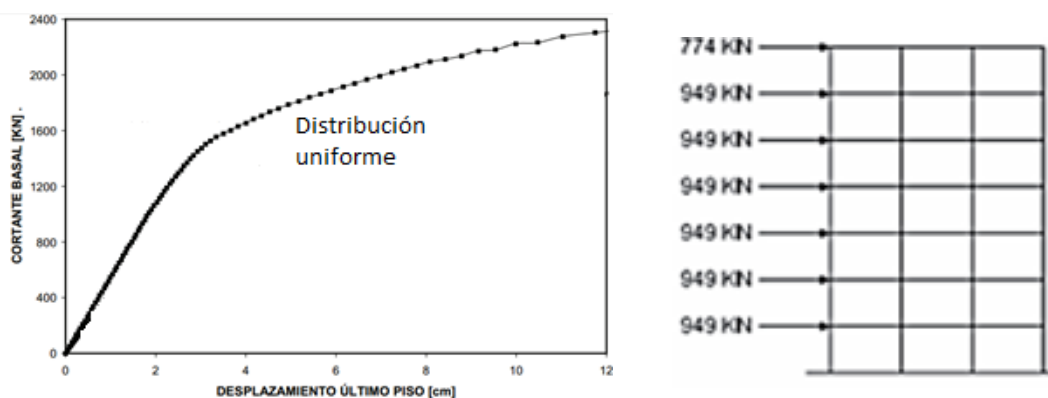


Figura 49: Curva de capacidad utilizando carga uniforme (M. Mora, J. Villalba y E. Maldonado, 2006).

2.6.2.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO.

Una de las desventajas de los métodos que utilizan análisis determinísticos es que las propiedades de los materiales de la estructura real pueden ser diferentes a las asumidas para el análisis, además de no poder establecer con precisión el estado inicial de la

estructura debido a que es difícil tomar en cuenta el daño sufrido por la misma antes del análisis, así mismo, la selección de las sollicitaciones sísmicas resulta en ocasiones una tarea muy complicada y por tanto guarda cierta incertidumbre.

En el análisis probabilístico para la evaluación sísmica de una estructura, se considera a la acción sísmica como una variable ya conocida (comúnmente se evalúan dos o tres valores de la intensidad del sismo), las demás variables de entrada en el modelo de la estructura no podrán ser parámetros fijos, tales como las propiedades mecánicas de los materiales y la carga viva que actúa sobre la estructura. El análisis probabilístico considera los efectos de las incertidumbres asociadas a dichas variables para lo cual se debe hacer uso de algún método de simulación aleatoria. Comúnmente se generan una gran cantidad de muestras del modelo con parámetros intercambiados para luego estudiar sus resultados y estimar mediante el método de simulación aleatoria escogido el grado de confiabilidad en la respuesta del sistema.

Los métodos probabilísticos son utilizados para evaluar la vulnerabilidad de conjuntos de edificaciones a la vez, debido a que estos permiten tomar en cuenta las variaciones en cuanto a las características de los materiales, comportamiento y respuesta de la estructura para diferentes tipologías constructivas. Además, permiten estimar el nivel de daño y pérdidas para un determinado nivel de intensidad sísmica mediante el uso de funciones de probabilidad, y reforzar sus resultados con otros métodos como: resultados de ensayos de laboratorio; datos estadísticos del comportamiento y daño de estructuras en eventos pasados; y el uso de la opinión de expertos en el tema.

CURVAS DE FRAGILIDAD.

Las curvas de fragilidad representan la probabilidad de que una estructura exceda un determinado estado de daño en función de un parámetro que defina la intensidad sísmica de la zona o región donde se encuentra emplazada la estructura. Estas curvas son utilizadas para estimar el riesgo ante sismos de grupos de edificaciones con características similares (J. Velásquez, 2006).

Un gráfico de curvas de fragilidad para una edificación dada consta de una serie de curvas, las cuales representan los límites de los estados de daño de la estructura; así dos curvas consecutivas encierran un estado de daño y la distancia vertical entre dos de ellas, para un determinado parámetro de intensidad sísmica, representa la probabilidad de que la estructura sufra dicho estado de daño. Así mismo dicha probabilidad representa el porcentaje de estructuras que se estima sufran la cantidad de daño descrita por ese estado. La Figura 50 nos muestra una serie de curvas de fragilidad para un colegio peruano (J. Velásquez, 2006), en la cual se utilizó como parámetro de la intensidad sísmica la aceleración del suelo (PGA), se observa que para un valor de aceleración 0.4g, la probabilidad de que esta edificación sufra un daño completo (colapso) será del 13%, mientras tanto se espera que el 32% de las edificaciones, con características estructurales similares al edificio evaluado, sufran un daño severo al ser sometidas a esta aceleración del suelo. Por otra parte, se espera que la mayoría de estas edificaciones (48%) sufran daños moderados, mientras que el 7% estará sometido a poco daño.

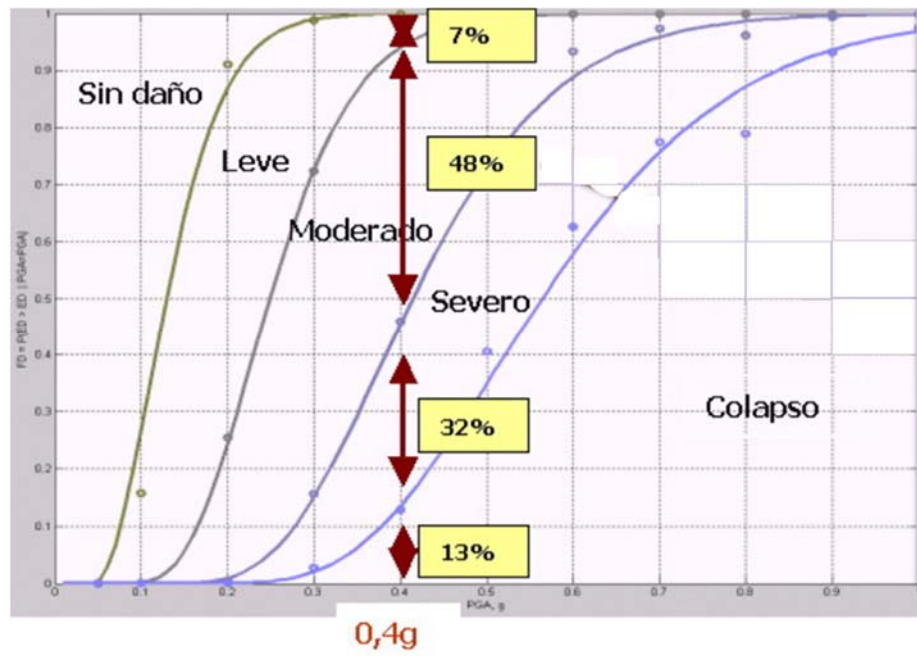


Figura 50: Curvas de fragilidad para un colegio típico peruano (J. Velásquez, 2006).

CAPITULO III: PARAMETROS PARA LA EVALUACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se proponen los parámetros para la evaluación de edificaciones mediante inspecciones simples de campo. En primer lugar, se establecen los aspectos generales que deben verificarse antes de empezar una inspección y que mediante un tratamiento estadístico serán útiles para la obtención de inventarios de componentes de la región que se estudie. Luego, se establecen los diferentes componentes que se pueden evaluar en cualquier tipo de edificación independientemente de su función o uso, dichos componentes son: entorno, estructurales, no estructurales y funcionales. Para cada uno de estos componentes se establece una serie de parámetros y sus niveles de calidad para la evaluación. A cada uno de los niveles se les asigna un estado de seguridad, el cual posteriormente será calificado mediante un valor numérico en el Capítulo IV, y se le dará su debido tratamiento para la conformación del índice de vulnerabilidad. Por último, se establecen componentes específicos estructurales que solo pueden ser evaluados en determinados tipos de estructuras.

Los parámetros establecidos a lo largo de este capítulo se consideran útiles para la evaluación de edificaciones comunes como viviendas, comercios, oficinas, entre otras, que no sean de ocupación esencial. Para la realización de estudios más detallados en este tipo de edificaciones se recomienda utilizar la metodología propuesta por la OEA, basada en la metodología de Hirosawa para la evaluación de centros de salud (Montero et al, 1993) y la revisión de los fundamentos propuestos por la OPS para la evaluación de hospitales en su publicación: “*Fundamentos para la mitigación de desastres en*

establecimientos de salud (OPS, 2000). En cuanto a la evaluación de escuelas o centros educativos se recomienda la revisión de la metodología propuesta por UNESCO para la evaluación de multiamenazas en centros escolares denominada: “VISUS Methodology”.

3.2 ASPECTOS GENERALES A CONSIDERAR DURANTE LA INSPECCIÓN

Al momento de realizar la inspección se iniciará con el levantamiento de la información básica de la edificación, tal como:

- Dirección del edificio.
- Ciudad en la que está localizado.
- Municipio.
- Departamento.
- Titular del edificio.
- Persona encargada del edificio.
- Información de contacto con la persona encargada o el titular del edificio.
- Número de niveles de la edificación.
- Número de sótanos que posee la edificación (si es que posee).
- Área superficial en planta del edificio.
- Información acerca de reformas que haya tenido el edificio (año y descripción simple de las mismas).
- Cambios en el uso de espacios dentro del edificio.
- Tipo de Propiedad.
- Uso.

En esta etapa inicial de la evaluación será preferible la elaboración de un esquema de ubicación del edificio, un esquema en planta y un perfil en altura del mismo. Esto con la finalidad de poder identificar el edificio al momento de procesar la información.

3.3 COMPONENTES.

Se describen a continuación los aspectos comunes que pueden ser evaluados en todo tipo de edificación independientemente de su uso o tipología constructiva.

3.3.1 ENTORNO.

Dentro de esta categoría se encuentran los aspectos que pueden ser evaluados desde el exterior de la edificación, los cuales están relacionados con ciertos factores externos a la misma que pueden afectar su comportamiento ante sismos y de alguna manera, en el peor de los casos, dañar a la edificación de forma permanente. Se debe iniciar la inspección evaluando sus aspectos de colindancia, los factores relacionados a la tipografía y la existencia de alguna amenaza externa.

3.3.1.1 ASPECTOS DE COLINDANCIA.

Los aspectos de colindancia que deben tomarse en cuenta al momento de la evaluación son:

1. Posición del edificio en la manzana:

Cuando varias edificaciones que conforman una manzana se encuentran muy cercanas entre sí, estas tienden a oscilar en conjunto comportándose como un solo bloque, efecto que causara que las edificaciones intermedias se vean restringidas por sus adyacentes, y que las terminales o de esquina presenten

mayores desplazamientos en una dirección (en la que no tengan otra edificación que restrinja su movimiento). Este parámetro evalúa entonces la posible generación de dicho efecto, los aspectos que se deben revisar son:

- a) El edificio es de terminal o de esquina.
- b) El edificio es intermedio o aislado.

Cuando el edificio sea terminal o de esquina (caso a), se considerará como inseguro; En cambio, si dicho edificio se encuentra en una posición intermedia o es aislado (caso b), se considerará como seguro.

2. Separación mínima con respecto a la edificación adyacente más cercana:

Cuando dos edificios se encuentran muy cercanos entre sí, existe la posibilidad de que se genere el efecto de golpeteo entre ambos y el riesgo se incrementa cuanto más corta sea la distancia que los separa. Este parámetro evalúa entonces, la posibilidad de que el edificio colisione con un adyacente, los aspectos que se deben revisar son:

- a) La separación entre el edificio y su colindante es menor o igual a 5cm.
- b) La separación entre el edificio y su colindante es mayor a 5cm o el edificio es aislado.

Cuando se presente el caso a), se calificará el parámetro como inseguro, por presentarse la posibilidad de golpeteo; En cambio, si se presentase el caso b), se considerará el parámetro como seguro al no haber dicha posibilidad.

3. Altura de las losas de entrepiso con respecto a las de una edificación

adyacente:

En los aspectos de colindancia ya mencionados, se evalúa la posibilidad de que la edificación golpee a una o más de sus edificaciones colindantes, dicho efecto puede agravarse más cuando las losas de las edificaciones que se golpean entre si están a diferente altura, razón por la cual se deben de revisar los siguientes aspectos:

- a) La altura de las losas de la edificación es distinta a la altura de las losas del edificio adyacente.
- b) La altura de las losas de la edificación es igual a la altura de las losas del edificio adyacente, o la edificación está aislada.

Para el caso a), se considera que la edificación es insegura. En cambio, si se cumple el caso b), se considera que la edificación es segura.

4. Altura de la edificación con respecto a una de sus edificaciones adyacentes:

Se debe evaluar si la edificación puede sufrir efectos de restricción al movimiento de su parte baja a causa de alguna edificación baja colindante, los niveles de calidad se definen de la siguiente forma:

- a) La edificación es más alta que su edificación vecina.
- b) La edificación es igual de alta o más baja que su edificación vecina, o la edificación es aislada.

Cuando se cumpla el caso a), se calificará a la edificación como insegura. En cambio, si se cumple el caso b se calificará a la misma como segura.

3.3.1.2 FACTORES RELACIONADOS A LA TOPOGRAFÍA DEL TERRENO SOBRE EL CUAL ESTÁ EMPLAZADA LA EDIFICACIÓN.

Para esta categoría se consideran tres parámetros distintos, cada uno de los cuales solo puede ser calificado con dos niveles de calidad (seguro o inseguro), los parámetros son los siguientes:

1. Si la edificación está ubicada sobre terreno inclinado.
 - a) Terraza adecuada y bien elaborada.
 - b) Terreno inestable.

Cuando la construcción este emplazado sobre terreno que se considera como inestable, se calificará como insegura. En cambio, si se considera que está emplazada sobre una terraza adecuada y bien elaborada, se calificará como segura.

2. Si la edificación está ubicada cerca de un talud o una ladera.
 - a) Talud o ladera adecuadamente estabilizada.
 - b) Talud o ladera inestable.

Cuando con una simple inspección se considera que el talud o ladera no se encuentra estabilizado adecuadamente, se calificará a la edificación como insegura. En cambio, si el talud o ladera se considera estabilizado adecuadamente, se calificará a la edificación como segura.

3. Si la edificación está ubicada sobre un talud o masa de tierra.

- a) El talud o masa de tierra es estable.
- b) Existe el riesgo que la masa de tierra deslice.

Cuando mediante una simple inspección se considera que exista riesgo de deslizamiento de la ladera, se calificará la edificación como insegura. En cambio, cuando se considera que el talud es estable, se calificará como segura.

4. Problemas geotécnicos visibles:

- a) Se detectan problemas geotécnicos visibles en el terreno de la edificación (hundimientos, erosión, entre otros).
- b) No se detecta problema geotécnico alguno en el terreno de la edificación.

Cuando mediante una simple inspección se considera que exista problema geotécnico alguno como hundimientos del terreno, erosión en el mismo, entre otros, se calificará la edificación como insegura. En cambio, cuando se considera que no exista problema geotécnico alguno, se calificará como segura.

A este parámetro se le añadirá una breve caracterización del tipo de suelo sobre el cual esta cimentada la edificación, siempre y cuando sea posible identificarlo, por ejemplo: arcilla, limo, arena u alguna combinación de estos.

3.3.1.3 PRESENCIA DE ALGUNA AMENAZA EXTERNA

Mediante este parámetro se pretende evaluar si existe algún elemento externo que pueda golpear o caer sobre la edificación como producto de un sismo, de forma tal que pueda dañar a la misma. Se establecen dos niveles de seguridad para este parámetro:

- a) Presencia de algún árbol, poste u objeto rocoso que pueda caer sobre la edificación o rodar hasta colapsar con la misma.
- b) No se presenta ninguna amenaza externa a la edificación que pueda caer sobre la edificación o colapsar con la misma.

Se considerará que la edificación es insegura cuando en las cercanías de la misma se encuentre algún árbol o poste de tendido eléctrico (que este en servicio o no) que pueda caer sobre la misma o golpearla, o algún objeto rocoso ubicado en una ladera cercana que pueda desprenderse y rodar hasta colisionar con la edificación y dañarla. En caso contrario, se considera que la edificación es segura.

3.3.2 ESTRUCTURAL

En este nivel de evaluación se analizarán ciertos factores inherentes a la estructura, que puedan afectar su comportamiento de tal forma que la edificación sufra una disminución de su capacidad resistente y de disipación de energía ante un sismo. Los parámetros a evaluar son los siguientes:

3.3.2.1 TIPO DE SISTEMA RESISTENTE.

Antes de iniciar la recolección de información relevante al sistema estructural es necesario clasificarlo-dentro de una de las diferentes tipologías utilizadas en el país. La clasificación será de acuerdo al tipo de material utilizado en la edificación de la forma siguiente:

- 1) Marcos:
 - a) Concreto reforzado.
 - b) Acero.
- 2) Paredes:
 - a) Mampostería no reforzada.
 - b) Mampostería confinada.
 - c) Mampostería reforzada.
 - d) Concreto reforzado.
 - e) Prefabricadas de concreto.
- 3) Sistema dual:
 - a) Marcos de concreto reforzado, combinados con arriostramiento de acero.
 - b) Marcos de concreto reforzado, combinados con paredes de mampostería.
 - c) Combinación de marcos y paredes de concreto reforzado.

3.3.2.2 SISTEMA DE ENTREPISO.

Este parámetro se basa en la identificación del tipo de sistema de entrepiso utilizado en la edificación (diafragma resistente de entrepiso) y de acuerdo al material del mismo. La clasificación según el tipo de entrepiso es la siguiente:

- 1) Concreto:
 - a) Losa densa o maciza.
 - b) Losa nervada en una dirección.
 - c) Losa nervada en dos direcciones.

2) Acero:

- a) Losas de concreto coladas sobre tableros de acero.

La clasificación de los diferentes sistemas de entrepiso expuesta en este parámetro se expuso a detalle en el capítulo II.

3.3.2.3 SISTEMA DE TECHO.

La identificación del sistema de techo utilizado en la edificación, se realiza de acuerdo a la rigidez de su estructura de la siguiente forma:

- a) Rígido.
b) Flexible.

Posteriormente se identifica el tipo de cubierta según el peso de la misma:

- a) Pesada.
b) Liviana.

Para la evaluación del tipo de techo de la edificación, se considera que si el sistema de techo es flexible y la cubierta pesada el techo de la edificación es inseguro; En caso contrario, sistema de techo rígido y cubierta pesada u algún otro tipo de combinación, se considera que el techo de la edificación es seguro.

3.3.2.4 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA.

En esta fase se evalúan las irregularidades geométricas de la estructura, tanto en planta como en elevación. Los parámetros a evaluar son:

1. Irregularidades en planta.

Se evalúan aquellos aspectos relacionados con la disposición de los elementos de la estructura en el plano horizontal, que tengan que ver con la forma de la misma y la distribución del espacio arquitectónico. Dichos aspectos son:

- **Simetría estructural, presencia de elementos salientes en un entrepiso:**

La revisión de este parámetro busca evaluar la posibilidad de que se produzcan efectos de torsión en el edificio a causa de una distribución irregular de las masas de algún entrepiso. Dentro de los aspectos a evaluar están:

- a) Existen voladizos en un entrepiso cuya longitud es igual o excede 1m.
- b) Existen voladizos en un entrepiso cuya longitud es menor 1m.

Si se presentan el caso a), se considera que la edificación es insegura. En cambio, si se presenta el caso b), se considera que la edificación es segura.

- **Plantas complejas y discontinuidades en el diafragma de piso:**

Se evalúan discontinuidades apreciables en el diafragma o variaciones en su rigidez, que en ocasiones pueden ser causadas por un diseño irregular en planta del edificio (plantas irregulares o aberturas), los aspectos a revisar son:

- a) La planta posee forma de cruz, S, L, U, I o similares y las entradas, retrocesos o huecos tienen un área total mayor al 50% del área bruta del diafragma de piso.
- b) La planta posee forma regular pero las aberturas o huecos de la misma conforman un área total mayor al 50% del área bruta del diafragma de piso.

- c) La planta posee forma de cruz, S, L, U, I o similares y las entradas, retrocesos o huecos tienen un área total menor al 50% del área bruta del diafragma de piso.
- d) La planta posee forma regular sin ningún tipo de abertura, retrocesos o huecos que puedan debilitar el comportamiento del diafragma de piso.

Cuando se cumple el caso a), se considera que la edificación es insegura. Si se cumple el caso b) o c), se considera que la edificación posee seguridad moderada. En cambio, si ninguno de estos se cumple (caso d)), se considera que la edificación es segura.

- **Longitud:**

Este parámetro evalúa que los cuerpos o bloques que componen la edificación no sean de gran tamaño, de forma tal que la edificación no se vea gravemente afectada por los efectos de un sismo, los aspectos a evaluar son:

- a) El largo de la edificación excede tres veces el valor de su ancho, en caso de ser una vivienda, o cinco veces su ancho, en caso de edificios.
- b) La edificación es una vivienda y el largo de la misma no excede tres veces el valor de su ancho. En caso de ser un edificio, el largo del mismo no excede el valor de cinco veces su ancho.
- c) La edificación excede los valores anteriormente dichos, pero los bloques o cuerpos de la misma están correctamente separados por juntas de construcción.

Cuando se cumpla el caso a), se considera que la edificación es vulnerable ante los efectos del terreno al momento de un sismo, motivo por el cual se le califica

de insegura. En cambio, cuando se cumple uno de los casos b) y c), se considera que la edificación afrontará adecuadamente dichos efectos y se le calificará como segura.

2. Irregularidades en altura.

Se evalúan aquellos aspectos relacionados con la distribución de los elementos verticales de la estructura y puedan afectar la transmisión de cargas a través de los mismos. Los parámetros a evaluar son los siguientes:

- Presencia de pisos débiles o flexibles.

Se debe identificar durante la evaluación la presencia de pisos con menor rigidez que sus pisos adyacentes dentro de la edificación, los aspectos a evaluar son los siguientes:

- a) Se presenta dentro de la edificación, un piso con mayor altura que sus pisos adyacentes.
- b) Se presenta dentro de la edificación, pisos con menores elementos resistentes verticales que los demás pisos, a excepción de los pisos más altos de la edificación.
- c) Se presenta dentro de la edificación, pisos con columnas más esbeltas que las de su piso adyacente superior.
- d) No se presenta ninguna de las situaciones anteriores.

Cuando se cumplen los casos a), b) y c), se considera que la edificación posee pisos flexibles por tanto dicho parámetro adquiere la calificación de inseguro. En cambio, cuando no se presenta ninguna de dichas situaciones (caso d)), se calificará este parámetro como seguro.

- **Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales.**

Este parámetro evalúa la eficiencia con que la estructura transmite las cargas hacia la cimentación y la posible generación de concentraciones de esfuerzo dentro de la misma, los aspectos a evaluar son:

- a) Se presenta en la estructura, el desplazamiento de elementos verticales del sistema resistente y dicho desplazamiento es mayor o igual que la dimensión horizontal del elemento en la misma dirección en que ocurre el desplazamiento.
- b) Se presenta en la estructura, el desplazamiento de elementos verticales del sistema resistente y dicho desplazamiento es menor que la dimensión horizontal del elemento en la misma dirección en que ocurre el desplazamiento.
- c) No se presentan desplazamiento de elementos verticales dentro de la estructura.

Cuando se cumpla el caso a), se calificará este parámetro como inseguro. Si se cumple el caso b), se calificará como seguridad moderada. En cambio, cuando no se presenten desplazamientos de elementos verticales, se calificará como seguro.

- **Irregularidad en la distribución de masas.**

Se debe revisar si la edificación posee altas concentraciones de masas en los pisos superiores de la estructura, de forma que las fuerzas de respuesta sísmica en dichos pisos generen un comportamiento inadecuado de la estructura, los aspectos a evaluar son:

- a) Existen concentraciones de masa en un nivel de la edificación, causadas por: equipos, bodegas, tanques de agua, archivos, entre otros.
- b) Existen concentraciones de masa en más de un nivel de la edificación, causadas por: equipos, bodegas, tanques de agua, archivos, entre otros.
- c) Se considera que la masa de los componentes de la edificación está uniformemente distribuida en todos sus niveles.

Cuando se cumpla el caso a) y b), se considera que la edificación es insegura. En cambio, si no se encontrasen concentraciones de masa en la edificación (caso c)), se considera a la edificación como segura.

3.3.2.5 ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Este parámetro evaluará de forma general el estado de conservación de los elementos que componen la estructura: considerando que entre más deteriorados se encuentren estos, menor será la capacidad portante de la misma. De forma general, se evaluará el porcentaje de elementos que se encuentren en mal estado, en los cuales sea evidente el deterioro, los niveles de calidad de este parámetro serán:

- a) Se considera que más del 50% de los elementos estructurales se encuentran en mal estado y con evidente deterioro.
- b) Se considera que un 50% de los elementos estructurales se encuentran en mal estado y con evidente deterioro.
- c) Se considera que menos del 50% de los elementos estructurales se encuentran en mal estado y con evidente deterioro.

Para el caso a), se considerará que el estado de los elementos es inseguro, para el caso b), se le atribuirá una seguridad moderada y para el caso c), se considerara que el estado de la estructura es seguro.

Cuando se detecten elementos en mal estado y evidentemente deteriorados (casos a y b), deberá procederse a identificar qué tipo de elementos se encuentran en peor estado con relación a los demás, los elementos se clasificarán en:

- a) Columnas.
- b) Paredes estructurales.
- c) Vigas.
- d) Losas o diafragmas de entrepisos.

Los elementos de la clasificación anterior han sido clasificados en orden de importancia, asignando el mayor grado de inseguridad a las columnas y el menor para los diafragmas de entrepiso.

3.3.3 NO ESTRUCTURAL

En este nivel de la inspección se evalúan los componentes que mantienen la calidad de vida de los ocupantes de la edificación, hacen que el edificio sea habitable y pueda funcionar normalmente. La inspección se realizará por medio de una lista de chequeo, en la cual se plasmen los elementos mencionados en el respectivo parámetro, cada uno de los cuales se les asignará un estado de calidad, ya sea seguro o inseguro en relación al criterio que evalué el parámetro. A cada estado le corresponderá un valor numérico y

dependiendo del rango en que se encuentre la suma de estos, así le corresponderá un nivel de seguridad al parámetro evaluado. Los parámetros a evaluar son los siguientes:

3.3.3.1 ELEMENTOS QUE PUEDAN CAER DE LA LOSA SUPERIOR.

Se deberán inspeccionar los elementos que estén sujetos a la losa superior del piso, los cuales al momento de un sismo puedan oscilar fuertemente y caer sobre los ocupantes de la edificación. Para la definición de la vulnerabilidad relacionada a estos elementos se deberá evaluar la sujeción de los mismos y que tanto pueden oscilar al momento de un sismo. Los elementos y la forma de como evaluarlos se define a continuación:

- **Cielo falso:** se deberá revisar la forma en que está conectado con la losa de entrepiso, si dicha conexión es ortogonal se considerará insegura, en cambio si dicha conexión posee un ángulo mayor a 45° tendrá una seguridad media y si es menor o igual a 45° se considerará como segura.
- **Luminarias:** se deberá evaluar la conexión de esta con el cielo falso, si está bien sujeta se considerará como segura, en caso contrario será considerada como insegura.
- **Ventiladores:** se deberá evaluar si la conexión de los ventiladores en paredes es segura, para el caso de ventiladores de techo (sujetos a la losa de entrepiso o al sistema de techo), se deberá considerar la longitud de su cola, si dicha longitud es tal que el ventilador en funcionamiento oscile significativamente, se considerará como una conexión insegura, en caso contrario la conexión será segura.
- **Tuberías en mal estado:** se debe verificar, de ser posible, el estado de las tuberías del sistema hidráulico, en caso de que exista la posibilidad que estas se desconecten y derramen líquidos sobre sus ocupantes o sobre las vías de acceso o rutas

de evacuación, serán consideradas como conexiones inseguras; En caso contrario, las conexiones serán seguras.

- **Equipos de aire acondicionado y otros:** para elementos del sistema de aire acondicionado u otros tipos de elementos sujetos a las paredes o a la losa de entrepiso, se deberá revisar si el anclaje está correctamente efectuado y si éste no se ha deteriorado hasta el punto en que el elemento tenga una alta posibilidad de caer sobre sus ocupantes y de obstruir las vías de acceso o rutas de evacuación, si este es el caso, las conexiones o anclajes de estos elementos serán inseguros; en caso contrario, serán seguros.

3.3.3.2 ELEMENTOS DIVISORIOS QUE PUEDAN DESMORONARSE, CAER O VOLCAR SOBRE PERSONAS U OBSTACULIZAR LA LIBRE CIRCULACIÓN DE LAS MISMAS.

Dentro de este parámetro se inspeccionarán todos aquellos elementos cuya función sea delimitar espacios. Se deberá evaluar el estado de tales elementos, así como sus conexiones con otros elementos, por ejemplo, la sujeción de paredes divisorias de tabla-yeso con el piso del nivel evaluado y con las paredes o columnas a las que está conectada. Los posibles elementos divisorios a encontrar en una edificación son:

- Paredes divisorias de mampostería.
- Paredes divisorias de tabla-yeso.
- Paredes divisorias de madera.
- Paredes divisorias de tabla-roca.

- Paredes divisorias de algún otro tipo de material.

Se deberá revisar si la conexión o sujeción de un elemento se encuentra en mal estado y se permite movimiento alguno, o si el estado de dicho elemento es tal que existe la posibilidad de que al ser agitado por los efectos de un sismo este se desmorone y caiga sobre las personas que habitan la edificación u obstruya la libre circulación de las mismas, si ese es el caso, se considerará que dicha conexión es insegura; En caso contrario, se considerara que la conexión es segura.

3.3.3.3 EQUIPOS, MOBILIARIOS Y MASAS DE AGUA.

Dentro de este parámetro se incluyen todos aquellos equipos y masas que puedan volcarse y caer sobre las personas o soltarse y deslizarse de forma tal que golpeen a las mismas u obstruyan su libre circulación. Dichos elementos pueden ser:

- Equipos eléctricos, de comunicaciones o electromecánicos, como: refrigeradoras, servidores, cocinas, hornos, equipos de aire acondicionado, entre otros. Cuando exista la presencia de alguno de estos equipos y dichos equipos no estén correctamente anclados al piso o correctamente sujetos de algún elemento fijo, de forma tal que estos puedan deslizarse y golpear a las personas u obstruir la libre circulación de las mismas, se considera que es insegura.

- Mobiliarios de gran tamaño:

Cuando exista la presencia de algún mueble de este tipo y estos no se encuentren correctamente anclados, de forma tal que puedan derrumbarse, caer o deslizarse y golpear a las personas u obstruir la libre circulación de las mismas, se considera que son inseguros, en caso contrario, se consideraran como seguros.

- Masas de agua, tales como: piscinas, tanques elevados, cisternas o depósitos. Cuando exista la presencia de algún tipo de masa de agua en alguno de los pisos de la edificación y ésta no se encuentre colocada correctamente, hasta el punto que pueda salirse de su depósito y llegar al piso, o que el depósito pueda soltarse y deslizarse hasta golpear a alguna persona o algún elemento de la estructura, o desmoronarse sobre los ocupantes de la edificación, se considera que la colocación de tal masa de agua es insegura; en caso contrario, se considerará como segura.

- Masas de algún otro tipo: objetos guardados, papelería, archiveros, entre otros. Cuando exista la presencia de tales objetos y estos no se encuentren aislados en un área adecuada (como por ejemplo en bodegas), y exista la posibilidad de que estos se desmoronen sobre los ocupantes de la edificación o puedan deslizarse hasta golpear a los mismos u obstaculizar su circulación, se considerará que la presencia de tales objetos es insegura; en caso contrario, se considerará segura.

3.3.3.4 ELEMENTOS SOBRE EL TECHO.

Se deberán incluir dentro de la inspección todos aquellos elementos que se encuentren adheridos al techo, independientemente de su función, que puedan desmoronarse, soltarse y caer sobre las personas que se encuentren en las cercanías de la edificación. Algunos de estos elementos pueden ser:

- Equipos de aire acondicionado, tanques de agua, barandas, rótulos, antenas, entre otros elementos que estén sujetos a la estructura de techo. Cuando exista la presencia de alguno de estos equipos y estos no estén correctamente anclados a un elemento fijo o de la estructura, de forma tal que estos puedan deslizarse y caer sobre

las personas que se encuentren en las cercanías de la edificación u obstruir la libre circulación de las mismas, se considerarán como inseguras.

- Pretiles de bloque o ladrillo, tejas o elementos de fachada que puedan desmoronarse y caer del techo. Cuando la sujeción de un elemento se encuentre en mal estado y permita algún movimiento, o cuando el estado de dicho elemento sea tal que exista la posibilidad de que al ser desplazado por los efectos de un sismo éste se desmorone y caiga sobre las cercanías de la edificación u obstruya la libre circulación de las personas, se considerará que el elemento en cuestión es inseguro; En caso contrario, se considerará seguro.

3.3.3.5 VENTANERIA.

Otro de los elementos claves que se deben inspeccionar durante una evaluación es la ventaneria del edificio. Se deberá evaluar la posibilidad de que ante los efectos de un sismo ésta se rompa y caiga sobre los ocupantes del edificio. Usualmente, se pueden encontrar en el país dos tipos de ventanas:

- **Tipo Celosía:** dentro de esta categoría se encuentran las ventanas comunes, compuestas por una serie de vidrios rectangulares, los cuales se mueven de una posición vertical a una horizontal para poder dar paso al viento. Cuando los vidrios se encuentren sueltos o flojos, al punto que exista la posibilidad de que estos deslicen y caigan sobre los ocupantes de la edificación, se considerará que el estado de la ventaneria es inseguro; en caso contrario, se considerará seguro.

- **Placa de vidrio:** dentro de esta categoría se encuentran las ventanas compuestas por una o varias placas de vidrio. Cuando la o las placas de vidrio no posean

juntas adecuadas entre sí o entre ellas y las paredes, y dichas placas no son de vidrio plastificado, se considerará que la ventanería es insegura. En cambio, si las ventanas poseen dichas juntas o si no las poseen, pero el vidrio es plastificado, la ventanería será considerada como segura.

3.3.4 FUNCIONAL

En esta categoría se evalúan aquellos aspectos que aseguran el correcto flujo de personas dentro y fuera de la edificación al momento de un sismo. Los parámetros a evaluar son:

3.3.4.1 ACCESOS.

Incluye la información referente a las entradas y salidas del edificio. Al momento de la inspección se deberá evaluar cuantos accesos posee la edificación y la forma en que estos están ubicados. Los aspectos a evaluar son:

- a) Existe solamente un acceso al interior de la edificación.
- b) Existe más de un acceso al interior de la edificación, pero éstos se encuentran en zonas de difícil acceso para las personas.
- c) Existe más de un acceso al interior de la edificación y dichos accesos se encuentran accesibles y fácilmente visibles para las personas.

Para el caso a), se considerará que la cantidad de accesos es insegura. En cambio, para los casos b) y c), se entenderá que un acceso está ubicado estratégicamente cuando

éste facilita la salida de las personas del edificio, además dichas salidas deben dirigir hacia lugares seguros que no representen ningún peligro para las personas (hacia áreas seguras o de bajo riesgo); para el caso b) se considerará que la ubicación de los accesos posee una seguridad media y por último para el caso c), se considerará que la ubicación de los accesos es segura.

3.3.4.2 VÍAS DE CIRCULACIÓN.

Incluye la información referente a las rutas de evacuación o de emergencia y la seguridad que ofrecen las mismas. Se deberá evaluar la existencia de una o más rutas de evacuación dentro de la edificación y si estas son seguras, entendiéndose por seguras cuando dentro de ellas no exista la posibilidad de que las personas resulten lastimadas, ya sea por la caída de objetos o algún otro factor que pueda lastimarlas (postes, cables, entre otros). Los aspectos a evaluar son:

- a) No existe ruta de evacuación alguna y las vías de circulación hacia dentro y fuera de la edificación no son seguras.
- b) No existe ruta de evacuación alguna, pero las vías de circulación hacia dentro y fuera de la edificación son seguras.
- c) Existe una o más rutas de evacuación, estas y las vías de circulación hacia dentro y fuera de la edificación son seguras.

Para el caso a), se considerará que las vías de circulación son inseguras. Para el caso b), se considerará que las vías de circulación dentro de la edificación poseen una seguridad media. Por último, para el caso c), se considerará que las rutas de evacuación y las vías son seguras.

3.3.4.3 SEÑALIZACIONES.

Incluye la información referente a la demarcación de las rutas de evacuación. Se deberá evaluar que las rutas de evacuación estén debidamente indicadas, además se indiquen las zonas seguras a las cuales acudir si ocurre algún sismo. Los aspectos a evaluar son:

- a) No existe señalización alguna dentro de la edificación que indique las rutas de evacuación y si la hay ésta no está debidamente colocada, ni se indican las zonas seguras.
- b) Existe señalización adecuada dentro de la edificación que indique las rutas de evacuación y ésta está debidamente colocada, además se indican las zonas seguras.

Para el caso a), se considerará que la señalización es insegura, en caso contrario se considerará segura. Se tomará en consideración también si la zona segura señalada es en realidad funcional y puede brindar seguridad a las personas que evacuen la edificación.

3.3.4.4 ZONAS SEGURAS

Se evaluará la existencia o no de zonas seguras y si estas no representan un riesgo para las personas que decidan refugiarse en ellas en caso de que suceda un sismo,

Los niveles de calidad para este parámetro son:

- a) No existe zona segura cerca de la edificación y si la hay esta representa un riesgo para las personas.

- b) Existe zona segura en algún lugar aledaño a la edificación y esta no representa un riesgo para las personas.

Para el caso a), se considerará que dicho parámetro es inseguro; en caso contrario (caso b), se considerara a dicho parámetro como seguro. Para fines de evaluación de este parámetro, se entenderá que la zona segura representa un riesgo para las personas cuando cerca de esta existan elementos o amenazas externas que puedan caer sobre la misma, como en el caso de postes del tendido eléctrico, laderas, elementos pesados en edificaciones aledañas, rocas, entre otros. También podrá considerarse como riesgosa dicha zona cuando esta se encuentre sobre el borde de una ladera, la cual sea susceptible a deslizarse.

3.3.4.5 DISTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS INTERNAS.

Incluye la información referente a la distribución de las áreas internas de la edificación. Se deberá evaluar que las áreas de uso internas de la edificación estén ubicadas de forma tal que se les facilite a todos los ocupantes salir de la misma. Los aspectos a evaluar son:

- a) La distribución de las áreas internas de la edificación dificulta a los ocupantes salir de la misma.
- b) La distribución de las áreas internas de la edificación es de forma tal que se les facilita a los ocupantes salir de la misma.

Para el caso a), se considerará que la distribución de las áreas internas de la edificación es insegura. En cambio, para el caso b), se considerará dicha distribución como segura.

3.4 ESPECÍFICOS ESTRUCTURALES.

3.4.1 ESTRUCTURAS DE ACERO.

3.4.1.1 CORROSIÓN EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

Se evaluará el estado de corrosión de los elementos que conforman la estructura, el cual es un efecto electroquímico que tiende a deteriorar la superficie de los elementos de acero, disminuyendo así su sección y en consecuencia su capacidad portante, los niveles de calidad para este parámetro son:

- a) Se observa que más del 50% de los elementos poseen un estado de corrosión avanzado.
- b) Se observa que menos del 50% de los elementos poseen un estado de corrosión avanzado o más del 50% presentan un estado inicial de corrosión.
- c) Se observa que menos del 50% de los elementos poseen un estado inicial de corrosión o no se observan indicios de corrosión en la estructura.

Para fines de evaluación, se considera que un elemento posee un estado de corrosión avanzado cuando ésta le ha corroído de manera tal que se observe cierta disminución en las secciones del mismo. Un estado de corrosión inicial será entonces cuando se presente un aumento del volumen del acero, caracterizado por la formación de una capa de óxido adherida a ciertas partes del elemento.

Para el caso a), se considerará que el estado del elemento es inseguro, si se cumpliera el caso b), el elemento poseerá una seguridad moderada y para el caso c), el elemento es totalmente seguro.

Cuando se detecten elementos en mal estado y afectados por la corrosión (casos a y b), deberá procederse a identificar qué tipo de elementos se encuentran en peor estado con relación a los demás, los elementos se clasificarán en:

- a) Columnas.
- b) Vigas.
- c) Arriostramiento.
- d) Conexiones.
- e) Placas de losas.

Los elementos de la clasificación anterior han sido clasificados en orden de importancia, asignando el mayor grado de inseguridad a las columnas y el menor para las placas que conforman los diafragmas de entrepiso.

3.4.1.2 EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LOS MARCOS DE LA ESTRUCTURA.

Dentro de este parámetro se evaluará el estado de los marcos de la estructura; posibles danos que puedan identificarse en los mismos; y la posibilidad de que ciertos elementos fallen durante un sismo y dejen de aportar capacidad de soporte a la

estructura. La evaluación se realizará por medio de una lista en la cual se marcarán los danos o fallas que se observen, de la siguiente forma:

- Fallas por pandeo local del alma o del patín en columna
- Fallas por pandeo local del alma o del patín en vigas.
- Daños severos en conexiones.
- Existencia de daños en placa de fundación.
- Deficiente soldadura en conexiones.

Los elementos de la lista anterior han sido citados según orden de importancia dentro de la estructura, de menos seguro a seguridad moderada.

3.4.2 ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

3.4.2.1 PRESENCIA DE ELEMENTOS CON BAJA DUCTILIDAD.

En este parámetro se evalúa la presencia de columnas cortas en el sistema resistente a consecuencia de restricciones geométricas, o la posibilidad de que se genere tal efecto en algún elemento del mismo a consecuencia de restricciones con los elementos no estructurales. Las situaciones que pueden encontrarse en una inspección que generen tal efecto pueden ser:

- a) Presencia de columnas cortas a causa de restricciones geométricas de la edificación (terreno inclinado o desnivel de algún piso del edificio)

- b) Se presenta alguna columna que no posee una junta de dilatación con un componente no estructural adyacente a la misma (paredes de fachada, paredes divisorias, muros de contención, descansos de escaleras, entre otros).
- c) No se detecta la presencia de columnas cortas o la posibilidad de que se genere tal efecto en algún componente estructural de la edificación.

Dentro de este parámetro solo existen dos niveles de calidad, seguro e inseguro, se considera que la situación es insegura cuando se observa la presencia de elementos con baja ductilidad (columnas cortas) o cuando exista la posibilidad de generarse tales efectos dentro de la estructura, esto es, cuando se cumplen los literales a) y b) de la clasificación anterior, razón por la cual ambos tendrán el mismo puntaje al momento de ponderar este parámetro. Por el contrario, si no se detectan elementos con baja ductilidad o efectos de este tipo, se considera que la situación es segura.

3.4.2.2 ORIENTACIÓN DE LA INERCIA DE LOS ELEMENTOS VERTICALES.

Para construcciones de marcos de concreto reforzado o acero, las columnas deben orientarse de forma tal que su sección genere mayor inercia en la dirección más débil de la planta, esto es, la dirección con menor rigidez de la planta para poder contrarrestar de esta forma los efectos de los momentos que afectan a los marcos y que pueden ser mayores al momento de un sismo. Los aspectos a evaluar son:

- a) La mayor dimensión de las columnas está orientada de forma tal que el menor momento de inercia se genere en la dirección más débil de la planta.
- b) La mayor dimensión de las columnas está orientada de forma tal que el mayor momento de inercia se genere en la dirección más débil de la planta.

- c) Las columnas de la edificación son cuadradas, con momento de inercia similar en ambas direcciones.

Para los aspectos mencionados anteriormente, se le atribuye un estado de inseguridad al caso a); mientras que para los casos b) y c) se considera que éste parámetro es seguro.

3.4.2.3 GRIETAS EN ELEMENTOS

Dentro de este parámetro se evaluará el estado de los elementos de la estructura; posibles danos que puedan identificarse en los mismos; y la posibilidad de que ciertos elementos fallen durante un sismo y dejen de aportar capacidad de soporte a la estructura. La evaluación se realizará por medio de una lista en la cual se marcarán los tipos de grietas que se observen en los elementos, de la siguiente forma:

- Grietas que atraviesan la sección del concreto estructural en elementos:
 - o Verticales.
 - o Horizontales.
- Grietas a nivel del repello en elementos:
 - o Verticales.
 - o Horizontales.

Los elementos de la lista anterior han sido citados según orden de importancia dentro de la estructura, de menos seguro a seguridad moderada.

3.4.3 ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

3.4.3.1 HUMEDAD EN PAREDES.

Se deberá evaluar si las paredes presentan humedad excesiva o indicios de esta en la parte baja de las mismas y verificar que estas se encuentren protegidas contra los tales efectos. Los niveles de calidad para este parámetro son:

- a) Se presenta humedad excesiva en paredes o indicios de ésta en la parte baja de las mismas.
- b) No se presentan indicios de humedad en paredes y éstas no están debidamente protegidas en su parte baja.
- c) No se presentan indicios de humedad en paredes y estas se encuentran debidamente protegidas en su parte baja.

Cuando se cumpla el caso a), se considerará que la humedad en las paredes representa un estado de inseguridad en las mismas; si se cumple el caso b) dicho estado será de seguridad moderada; y si se cumple el caso c), el estado de las paredes no representa riesgo alguno para su capacidad portante, por lo cual tomara una calificación de seguro.

3.4.3.2 GRIETAS EN PAREDES.

Se evaluarán dentro de este parámetro las posibles fallas o danos que presenten las paredes que conforman el sistema y que podrían afectar la capacidad portante de las

mismas. La evaluación se realizará por medio de una lista en la cual se marcarán los tipos de grietas, danos o fallas que se observen, de la siguiente forma:

- Fracturas de la pared o parte de ella, fuera del plano de la misma.
- Fractura de la pared o parte de ella, a lo largo del plano de la misma.
- Grietas diagonales visibles en forma de X.
- Grietas diagonales visibles escalonadas.
- Grietas leves verticales a lo largo de las juntas.
- Grietas leves horizontales a lo largo de las juntas.
- Grietas leves con forma aleatoria en los extremos de aberturas.

Los elementos de la lista anterior han sido citados según orden de importancia dentro de la estructura, de menos seguro a seguridad moderada.

3.4.4 ESTRUCTURAS DE CONCRETO O DE MAMPOSTERIA.

3.4.4.1 SISTEMAS NO PARALELOS.

Este parámetro busca identificar irregularidades en el comportamiento de los elementos verticales de la estructura. Específicamente, verificar la dirección en que estos transmiten las fuerzas horizontales que les son impuestas, cuidando que dicha transmisión sea con respecto a los ejes principales ortogonales del sistema resistente, los aspectos a evaluar son:

- a) Los elementos verticales resistentes de la edificación en ambas direcciones no están correctamente alineados con los ejes ortogonales principales.

- b) Los elementos verticales resistentes de la edificación en una dirección no están correctamente alineados con respecto a un eje principal ortogonal de la misma.
- c) Los elementos verticales resistentes de la edificación están correctamente alineados con los ejes ortogonales principales.

Cuando los elementos verticales resistentes de la edificación en ambas direcciones están mal alineados con respecto a los ejes principales (caso a)), se considera que la edificación es insegura. Cuando solamente en una dirección están mal alineados con respecto a uno de los ejes ortogonales (caso b)), se considera que la edificación posee un nivel de seguridad moderada. En cambio, si están correctamente alineados con respecto a los ejes principales, se considera que la edificación es segura.

CAPITULO IV:

PROPUESTA

METODOLÓGICA

4.1 INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se detallan y explican los pasos a seguir en el proceso de inspección de edificaciones, así como también las ponderaciones a los diferentes parámetros mencionados en capítulos anteriores, para posteriormente poder establecer el juicio acerca del estado de la estructura y el nivel de seguridad que esta posee, el cual será representado mediante una bandera de color. Otorgándole un color verde a las estructuras que brinden un nivel de seguridad adecuado, amarillo a las que presenten un nivel de seguridad media y rojo a las que representen un peligro para sus ocupantes y las personas que transiten en las cercanías.

Se presenta también el formulario a utilizar en el proceso de inspección de estructuras, además de una guía para su utilización y poder así capacitar al personal a cargo de las inspecciones para el buen empleo del mismo. Se muestra además como deberán de ser conformadas las brigadas de inspección y del personal que estará a cargo de las mismas.

4.2 RECURSOS NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN

Los recursos para la realización de las inspecciones simples de campo serán de dos tipos:

4.2.1 RECURSOS HUMANOS

Las brigadas de inspección estarán conformadas por el personal de inspección, los cuales serán los encargados directos de recopilar la información de las edificaciones (personal de campo), y el personal de logística, quienes serán los encargados de coordinar los estudios en las edificaciones y la cantidad de los mismos, así como del tratamiento de la información y el establecimiento de los resultados. Se describe a la cantidad de personal recomendada para conformar cada uno de estos grupos en la Figura 51.

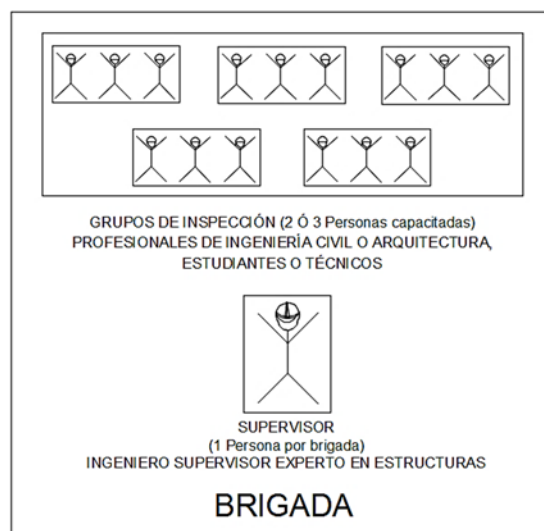


Figura 51. Personal que conformará las brigadas de inspección. Cada supervisor tendrá a cargo al menos 5 grupos de inspección, cantidad que podrá variar dependiendo las condiciones del estudio.

Personal de Inspección:

Para la toma directa de información en las inspecciones de campo será necesario conformar pequeños grupos de inspección, los cuales podrán estar conformados por 2 o 3 personas capacitadas que pueden ser profesionales de Ingeniería Civil o Arquitectura; técnicos o estudiantes de algunas de esas ramas. El personal de inspección deberá estar bajo supervisión directa del personal logístico.

Personal Logístico:

Será el encargado de coordinar todos los grupos de inspección, las actividades y las áreas urbanas a inspeccionar durante cada jornada. Deberá estar compuesto de al menos un Ingeniero supervisor experto en estructuras con amplia experiencia en el campo, que tenga un amplio conocimiento en el diagnóstico de estructuras y brinde soporte técnico a los inspectores de campo.

La cantidad establecida de personal para la inspección de campo podrá variar a consideración del criterio de los profesionales o consultores a cargo del proyecto, los cuales definirán cuantos grupos de inspección serán necesarios, de acuerdo a la cantidad de estructuras a evaluar, la extensión del área de estudio, el tiempo y los recursos disponibles. De igual manera, la cantidad del personal de logística deberá ser definida en base a las condiciones ya mencionadas.

4.2.2 RECURSOS MATERIALES

Como se mencionó en el capítulo II, los recursos materiales deberán cumplir tres funciones esenciales: salvaguardar la seguridad de los inspectores de campo, realizar

las mediciones en la estructura y servir de medios para la toma de datos. Cada grupo de inspección deberá contar con los recursos que se mencionan a continuación, a menos que estos sean prescindibles.

Los recursos necesarios para salvaguardar la seguridad de las personas son:

- Chalecos.
- Cascos.
- Botas de seguridad.
- Tapabocas o mascarillas.
- Gafete de Identificación.

Todos los recursos mencionados en la lista anterior pueden ser prescindibles dependiendo de las condiciones en que se encuentren las estructuras a evaluar, a excepción de los gafetes de identificación, en los cuales se deberá plasmar el nombre del proyecto (estudio), la organización a cargo, la institución contratante y la identificación de los inspectores de campo.

Recursos necesarios para realizar mediciones de campo:

- Escalera.
- Plomada.
- Cinta métrica.
- Binoculares.
- Nivel de mano.
- Marcador o lápices de colores.

- Linterna.
- Entre otros.

Se podrá utilizar una misma escalera para dos o más grupos de inspección, según se considere necesario, o de igual forma se podrá prescindir de ella.

Recursos para la toma de datos:

- Cuaderno de anotaciones.
- Fichas de campo.
- Tabla.
- Cámaras fotográficas.
- Lápiz o lapicero.
- Lápices de colores.
- Grabadora.
- Entre otros.

4.3 CAPACITACIÓN DEL PERSONAL PARA LAS INSPECCIONES

Antes de iniciar los sondeos de campo, será necesario que el personal de logística capacite adecuadamente al personal para las inspecciones y les brinde además todos los recursos materiales que se consideren necesarios.

La capacitación deberá estar basada en:

- La forma en que se debe tratar con los encargados, ocupantes o titulares de la edificación.
- La forma correcta en que deben utilizarse los recursos materiales.
- El entendimiento de todos los criterios técnicos en los cuales se basa la obtención del índice.
- La forma correcta en que deben realizarse las inspecciones
- La forma correcta en que debe rellenarse el formulario de inspección.
- El procedimiento para la obtención del índice.
- El tiempo que debe tardarse cada inspección.
- La forma en que debe notificarse a los encargados, ocupantes o titulares de la edificación, del estado de seguridad de la misma, su calificación y el porqué de dicha calificación.

4.4 SEGURIDAD PARA EL PERSONAL DE CAMPO

Será responsabilidad del personal logístico y de la institución a cargo del estudio de vulnerabilidad el coordinar con las instituciones públicas para la colaboración conjunta en la realización de las inspecciones de campo, a manera de asegurar la seguridad e integridad de las personas involucradas en el estudio, así como de los equipos y herramientas que se utilizarán. Cuando sea necesario, se deberá contactar con la Policía Nacional Civil o con el cuerpo de agentes de seguridad de la alcaldía del municipio o departamento en cuestión, en el que se realicen los estudios de vulnerabilidad.

4.5 DISTRIBUCIÓN DEL PERSONAL DE INSPECCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LAS VISITAS DE CAMPO

Antes de iniciar las inspecciones de campo, el personal de logística deberá establecer los grupos de inspección necesarios para cubrir el área de estudio, así como el periodo de tiempo que durará dicho estudio. Esto deberá hacerse según se muestra en las Figuras 52 y 53.

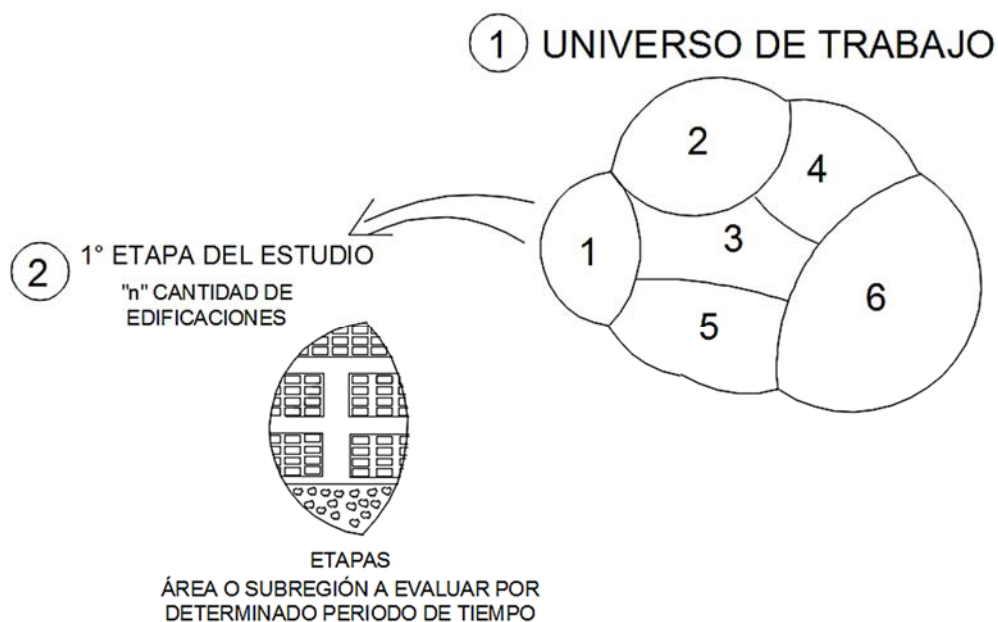


Figura 52. Zonificación del área a inspeccionar. La región a estudiar podrá ser dividida en etapas o subregiones (1), cada una de las cuales contará con "n" cantidad de estructuras que deberán ser evaluadas (2).

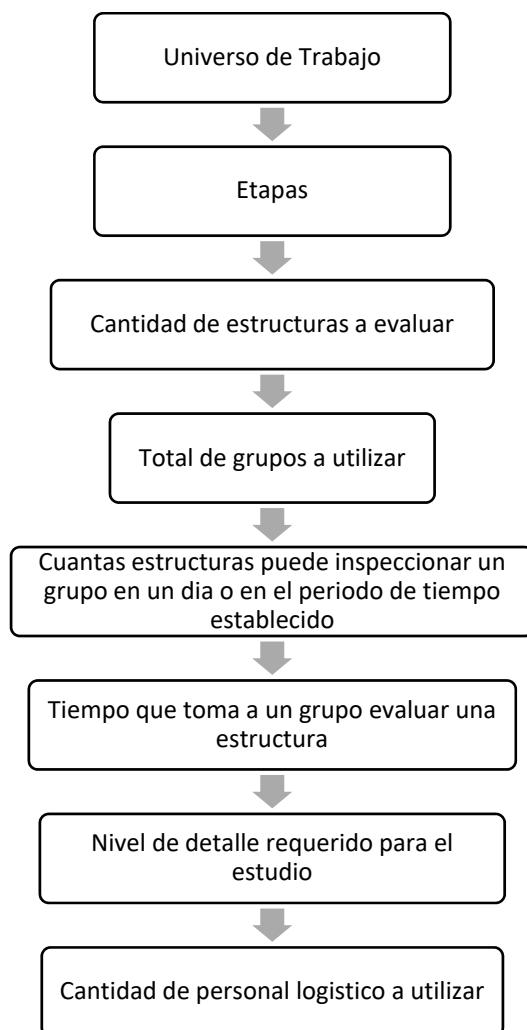


Figura 53. Proceso a seguir para la distribución de las brigadas en el campo de inspección

Inicialmente, se deberá definir el universo de trabajo, que comprende la región urbana sobre la cual se pretende realizar los estudios de vulnerabilidad y en un posible futuro, estudios de riesgo. Dependiendo de la extensión de dicha área de estudio, esta podrá dividirse en etapas o subregiones para su estudio. Cada etapa representará una subregión específica del universo de trabajo, que podrá ser evaluada por día, semana o cualquier otro periodo de tiempo que se estipule conveniente. Para cada etapa se

definirán la cantidad de estructuras a evaluar, que comprenderá el total de edificaciones emplazadas dentro de la subregión definida para la etapa correspondiente. Se deberá excluir las estructuras con rasgos característicos diferentes a los contemplados dentro de esta metodología (edificaciones esenciales como hospitales o escuelas) debido a que estas presentan ciertos factores que por su complejidad no fueron considerados dentro de esta metodología y que son cruciales para la evaluación de la seguridad en las mismas. Sin embargo, estas edificaciones podrán ser incluidas en el estudio cuando así lo establezcan, las necesidades, objetivos y alcances planteados para el mismo. Se podrá definir entonces, el total de grupos de inspección a utilizar para una o todas las etapas del estudio. Esto está en base al conocimiento de cuantas estructuras puede inspeccionar un grupo en un día o periodo de tiempo que se haya definido para cada etapa, que dependerá del tiempo que le tome a un grupo evaluar una estructura, el cual podrá ampliarse o reducirse, de acuerdo al nivel de detalle requerido en el estudio. El formulario podrá ser complementado con detalles adicionales, tales como: fotografías del diagnóstico del edificio, entrevistas complejas a los ocupantes de la edificación, hojas de observaciones acerca del estado del edificio e inclusive aspectos adicionales a evaluar o elementos para la realización de inventarios de componentes. Finalmente, una vez establecida la cantidad de grupos a utilizar por etapa será posible definir la cantidad de personal logístico necesario para el estudio.

La programación de las visitas de campo, así como de las etapas de evaluación y el tiempo que durarán éstas, dependerá de los recursos disponibles para el estudio: económicos, humanos, materiales, tiempo, entre otros.

4.6 REALIZACIÓN DE LA INSPECCIÓN Y USO DEL FORMULARIO

Una vez se hayan contemplado y organizado adecuadamente todos los aspectos mencionados en los apartados anteriores se procederá a la realización de las inspecciones de campo.

4.6.1 PREPARATIVOS

Antes de iniciar las inspecciones, los supervisores o encargados deberán reunir a todo el personal de campo (antes de llegar al lugar donde se realizará el estudio) y tratar los siguientes puntos:

- Verificar la cantidad de personal de campo que realizará las inspecciones, así como la conformación de los grupos de inspección.
- Presentar a cada supervisor o experto ante los grupos de los cuales será responsable y hacer de conocimiento de estos últimos el área o conjunto de edificaciones que deberán evaluar.
- Establecer el horario de trabajo, los tiempos de descanso y el tiempo que deberá durar cada visita.
- Verificar que todos los grupos posean los recursos materiales necesarios para realizar las inspecciones, así como también la cantidad y la disponibilidad de los recursos compartidos.

4.6.2 METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN

La secuencia lógica de cada una de las fases o etapas de la inspección se muestra en el esquema de la Figura 54.

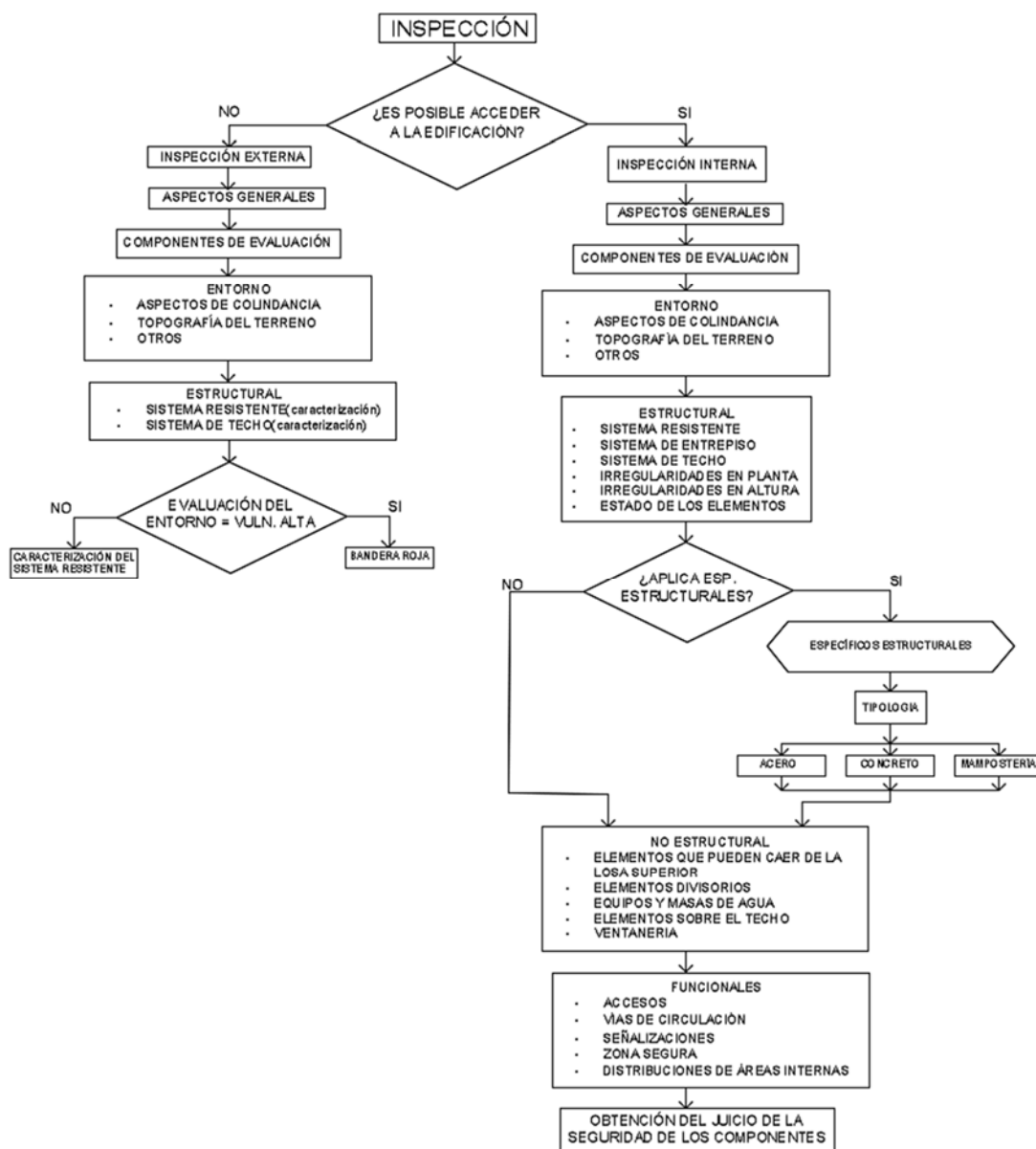


Figura 54. Flujograma para la realización de la inspección de campo

4.6.2.1 CONSENTIMIENTO DEL ENCARGADO U OCUPANTE

Para poder proceder a la realización de la evaluación, será necesario dialogar con la persona o las personas a cargo del edificio, a fin de pedir su consentimiento para ingresar a la edificación. Éste aspecto definirá el tipo de inspección a realizar en el edificio, inspección interna (simple) o inspección externa. Si el encargado brinda su consentimiento para la realización de la inspección, se deberá proceder a la inspección interna; En cambio, si éste no concede el permiso de entrar a la edificación, se procederá entonces a la inspección externa.

4.6.2.2 TIPOS DE INSPECCIÓN

Ante la posibilidad de que el equipo de campo no pueda ingresar a una o varias edificaciones, se establecieron en el apartado anterior dos tipos de inspecciones que se podrán realizar en las edificaciones, las cuales se definen a continuación:

Inspección Interna.

Es el tipo de inspección que deberá realizarse en el caso más favorable, cuando el equipo de trabajo obtenga el permiso de ingresar a la edificación. En ella se deberán evaluar todos los parámetros del formulario que sean posibles, que puedan caracterizarse a simple vista o que requieran de alguna acción adicional para poder apreciarlos, siempre y cuando estos no dañen ni alteren la propiedad o bienes del ocupante o titular de la edificación. Al mismo tiempo, se deberá cuidar que dichas acciones no causen efecto nocivo alguno sobre la estructura en sí.

Inspección Externa.

Es el tipo de inspección que deberá realizarse en caso de obtener una respuesta negativa para acceder a la edificación. Debido a que el equipo no podrá adentrarse en las instalaciones, se deberán evaluar únicamente los aspectos relacionados al entorno y los que sean posibles de caracterizar desde afuera de la edificación.

4.6.2.3 SECUENCIA DE EVALUACIÓN

En el esquema de la Figura 54 se estableció el tipo de inspección que deberá realizarse en cualquiera de los dos escenarios posibles a los que deberá enfrentarse el equipo de evaluación. Asimismo, se presentó para cada uno de tales escenarios el orden en que deberán inspeccionarse los parámetros y cuáles de ellos deberán ser evaluados. De forma general, independientemente del tipo de inspección que vaya a utilizarse, se establece un orden común para la secuencia de evaluación de las clases de parámetros:

1. Aspectos generales.
2. Componentes de evaluación:
 - a. Entorno.
 - b. Estructural.
 - c. No estructural.
 - d. Funcional.

Los **componentes específicos estructurales** al estar relacionados con un determinado tipo de estructura, serán procedentes únicamente para la inspección interna y serán evaluados en conjunto con los componentes estructurales, siempre y cuando sean

aplicables (su evaluación corresponda a la estructura evaluada). En la Tabla 24 se establecen los parámetros que deben ser evaluados en cada tipo de inspección, de acuerdo a los lineamientos prescritos en el Capítulo 3 de este documento y considerando su aplicabilidad en conformidad con los criterios establecidos para cada tipo de inspección en el apartado anterior.

Tabla 24 Parámetros a evaluar según el tipo de inspección.

Parámetro	Tipo de Inspección	
	Inspección Interna	Inspección Externa
ASPECTOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA		
COMPONENTES DE EVALUACIÓN		
ENTORNO		
ASPECTOS DE COLINDANCIA		
Posición del edificio en la manzana	X	X
Separación mínima con respecto a la edificación adyacente mas cercana	X	X
Altura de las losas de entrepiso con respecto a las de una edificación adyacente	X	X
Altura de la edificación con respecto a una de sus edificaciones adyacente	X	X
TOPOGRAFIA DEL TERRENO		
Edificación sobre terreno inclinado	X	X
Taludes o laderas cercanos a la edificación	X	X
Edificación emplazada sobre un talud o masa de tierra	X	X
Problemas geotécnicos visibles	X	X
OTROS		
Presencia de amenazas externas	X	X
ESTRUCTURAL		
Sistema resistente	X	X
Sistema de entrepiso	X	
Sistema de techo	X	X
Tipo de cubierta	X	X
Calificación del tipo de techo	X	
CONFIGURACION GEOMETRICA		
IRREGULARIDADES EN PLANTA		
Presencia de elementos salientes en un entrepiso	X	
Plantas complejas y discontinuidades en el diafragma de piso	X	

Longitud	X	
IRREGULARIDADES EN ALTURA		
Presencia de pisos débiles o flexibles	X	
Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales	X	
Irregularidad en la distribución de masas	X	
NO ESTRUCTURAL		
ELEMENTOS QUE PUEDAN CAER DE LA LOSA SUPERIOR		
Cielo Falso	X	
Luminarias	X	
Ventiladores	X	
Tuberías	X	
Equipos de aire acondicionado	X	
ELEMENTOS DIVISORIOS		
Paredes divisorias de mampostería	X	
Paredes divisorias de tabla-yeso	X	
Paredes divisorias de madera	X	
Paredes divisorias de tabla-roca	X	
Paredes divisorias de algún otro tipo de material	X	
Pared divisoria de mampostería, tabla yeso, madera, tabla roca.	X	
EQUPOS, MOBILIARIOS Y MASAS DE AGUA		
Equipos eléctricos, de comunicaciones o electromecánicos	X	
Mobiliarios de gran tamaño	X	
Masas de agua	X	
Masas de algún otro tipo	X	
ELEMENTOS SOBRE EL TECHO		
Equipos de aire acondicionado, tanques de agua, barandas, rótulos, otros.	X	
Pretilos de bloque o ladrillo, tejas o elementos de fachada	X	
VENTANERIA		
Celosía	X	
Placa de vidrio	X	
FUNCIONAL		
Accesos	X	
Vías de circulación	X	
Señalizaciones	X	
Zonas Seguras	X	
Distribución de áreas internas	X	
ESPECIFICOS ESTRUCTURALES		
ESTRUCTURAS DE ACERO		
Corrosión en los elementos estructurales	X	
Elementos en los cuales se detectó mayor estado de corrosión	X	
Evaluación de los elementos que componen los marcos de la estructura	X	
Fallas por pandeo local del alma o patín en columnas	X	
Fallas por pandeo local del alma o patín en vigas	X	

Daños severos en conexiones	X	
Existencia de daños en placas de fundación	X	
Deficiente soldadura en conexiones	X	
ESTRUCTURAS DE CONCRETO		
Presencia de elementos con baja ductilidad	X	
Orientación de la inercia de los elementos verticales	X	
Sistemas no paralelos	X	
Grietas que atraviesan la sección del concreto estructural en elementos	X	
Verticales	X	
Horizontales	X	
Grietas a nivel del repello en elementos	X	
Verticales	X	
Horizontales	X	
ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA		
Humedades en paredes	X	
Grietas en paredes	X	
Fracturas de la pared o parte de ella, fuera del plano de la misma	X	
Fracturas de la pared o parte de ella, a lo largo del plano de la misma	X	
Grietas diagonales visibles en forma de X	X	
Grietas diagonales visibles escalonadas	X	
Grietas leves verticales a lo largo de las juntas	X	
Grietas leves horizontales a lo largo de las juntas	X	
Grietas leves con forma aleatoria en los extremos de aberturas	X	
Sistemas no paralelos	X	
OTRO TIPO DE ESTRUCTURAS		
Estado de conservación de los elementos estructurales	X	
Elementos en los cuales se detectó mayor deterioro	X	

4.6.2.4 USO DEL FORMULARIO DE EVALUACIÓN

El formulario de evaluación se presenta en los anexos. Este será indispensable en los levantamientos de campo y podrá ser utilizado en cualquier escenario que se le presente al equipo de inspección.

Niveles de seguridad para la evaluación

En el capítulo anterior se definieron los parámetros a utilizar en la evaluación de la seguridad de las edificaciones, para cada parámetro se establecieron dos o más escenarios o situaciones que pueden encontrarse en el campo, a cada una de las cuales se les asignó un nivel de seguridad. Así, por ejemplo, para el parámetro “Posición del edificio en la manzana”, se contemplan dos escenarios distintos, a cada uno de los cuales se les asignó una ponderación en función del nivel de seguridad considerado para el mismo. Los escenarios y sus ponderaciones fueron: que el edificio se encuentre en una posición terminal o de esquina cuya ponderación es de 1 debido a que se considera que representan una situación de inseguridad, y edificios intermedios o edificios aislados con una ponderación de 0 por considerar que dichos escenarios son seguros. Las ponderaciones para cada nivel de seguridad se establecen de acuerdo a la Tabla 25.

Tabla 25 Ponderaciones para cada nivel de seguridad.

Nivel de seguridad	Inseguro	Seguridad moderada	Seguro
Ponderación	4	2	0

Las ponderaciones para todos y cada uno de los parámetros, según la calificación mostrada en la tabla anterior, se establecen entonces de la siguiente forma:

Tabla 26 Parámetros para evaluar la seguridad de las edificaciones y sus ponderaciones.

Parámetro	Inseguro	Seguridad moderada	Seguro
ASPECTOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA			
COMPONENTES DE EVALUACIÓN			

ENTORNO			
ASPECTOS DE COLINDANCIA			
Posición del edificio en la manzana	1	-	0
Separación mínima con respecto a la edificación adyacente más cercana	1	-	0
Altura de las losas de entrepiso con respecto a las de una edificación adyacente	1	-	0
Altura de la edificación con respecto a una de sus edificaciones adyacente	1	-	0
TOPOGRAFIA DEL TERRENO			
Edificación sobre terreno inclinado	5	-	0
Taludes o laderas cercanos a la edificación	5	-	0
Edificación emplazada sobre un talud o masa de tierra	5	-	0
Problemas geotécnicos visibles	5	-	0
OTROS			
Presencia de amenazas externas	5	-	0
ESTRUCTURAL			
Sistema resistente	-	-	-
Sistema de entrepiso	-	-	-
Sistema de techo	-	-	-
Tipo de cubierta	-	-	-
Calificación del tipo de techo	4	-	0
CONFIGURACION GEOMETRICA			
IRREGULARIDADES EN PLANTA			
Presencia de elementos salientes en un entrepiso	4	-	0
Plantas complejas y discontinuidades en el diafragma de piso	4	2	0
Longitud	4	-	0
IRREGULARIDADES EN ALTURA			
Presencia de pisos débiles o flexibles	4	-	0
Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales	4	2	0
Irregularidad en la distribución de masas	4	-	0
NO ESTRUCTURAL			
ELEMENTOS QUE PUEDAN CAER DE LA LOSA SUPERIOR			
Cielo Falso	4	2	0
Luminarias	4	-	0
Ventiladores	4	-	0
Tuberías	4	-	0
Equipos de aire acondicionado	4	-	0
ELEMENTOS DIVISORIOS			
Paredes divisorias de mampostería	-	-	0
Paredes divisorias de tabla-yeso	-	-	0
Paredes divisorias de madera	-	-	

Paredes divisorias de tabla-roca	-	-	0
Paredes divisorias de algún otro tipo de material	-	-	0
Pared divisoria de mampostería, tabla yeso, madera, tabla roca.	4	-	0
EQUPOS, MOBILIARIOS Y MASAS DE AGUA			
Equipos eléctricos, de comunicaciones o electromecánicos	4	-	0
Mobiliarios de gran tamaño	4	-	0
Masas de agua	4	-	0
Masas de algún otro tipo	4	-	0
ELEMENTOS SOBRE EL TECHO			
Equipos de aire acondicionado, tanques de agua, barandas, rótulos, otros.	4	-	0
Pretilos de bloque o ladrillo, tejas o elementos de fachada	4	-	0
VENTANERIA			
Celosía	4	-	0
Placa de vidrio	4	-	0
FUNCIONAL			
Accesos	4	2	0
Vías de circulación	4	2	0
Señalizaciones	2	-	0
Zonas Seguras	4		0
Distribución de áreas internas	4	-	0
ESPECIFICOS ESTRUCTURALES			
ESTRUCTURAS DE ACERO			
Corrosión en los elementos estructurales	4	2	0
Elementos en los cuales se detectó mayor estado de corrosión	4	2	0
Evaluación de los elementos que componen los marcos de la estructura			
Fallas por pandeo local del alma o patín en columnas	4	-	0
Fallas por pandeo local del alma o patín en vigas	2	-	0
Daños severos en conexiones	2	-	0
Existencia de daños en placas de fundación	2	-	0
Deficiente soldadura en conexiones	2	-	0
ESTRUCTURAS DE CONCRETO			
Presencia de elementos con baja ductilidad	4	-	0
Orientación de la inercia de los elementos verticales	4	-	0
Sistemas no paralelos	4	2	0
Grietas que atraviesan la sección del concreto estructural en elementos			
Verticales	4	-	0
Horizontales	3	-	0
Grietas a nivel del repello en elementos			
Verticales	2	-	0

Horizontales	2	-	0
ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA			
Humedades en paredes	4	2	0
Grietas en paredes			
Fracturas de la pared o parte de ella, fuera del plano de la misma	4	-	0
Fracturas de la pared o parte de ella, a lo largo del plano de la misma	4	-	0
Grietas diagonales visibles en forma de X	4	-	0
Grietas diagonales visibles escalonadas	4	-	0
Grietas leves verticales a lo largo de las juntas	2	-	0
Grietas leves horizontales a lo largo de las juntas	2	-	0
Grietas leves con forma aleatoria en los extremos de aberturas	2	-	0
Sistemas no paralelos	4	2	0
OTRO TIPO DE ESTRUCTURAS			
Estado de conservación de los elementos estructurales	4	2	0
Elementos en los cuales se detectó mayor deterioro	4	2	0

4.6.2.5 INDICE DE VULNERABILIDAD

Una vez se hayan calificado todos y cada uno de los parámetros aplicables a la edificación, se deberá proceder a la obtención del índice de vulnerabilidad de la edificación evaluada. Esto se realizará sumando todas las ponderaciones de los parámetros evaluados, este procedimiento debe hacerse en un principio para cada componente a evaluar en la edificación (entorno, estructural, no estructural y funcional), estableciendo para cada componente un nivel de vulnerabilidad, caracterizado por un “color de bandera”. Posteriormente se deberán sumar los totales obtenidos para cada componente y establecerse un nivel de vulnerabilidad global de la edificación. La forma de establecer el nivel de vulnerabilidad de las edificaciones durante las inspecciones será de la siguiente manera:

Inspecciones Internas.

Las Tabla 27 muestra los rangos de valores posibles del índice de vulnerabilidad por componentes para los cuales se definen cada una de las “banderas” durante las inspecciones internas, y al mismo tiempo la tabla 28 establece los rangos de valores para calificar la vulnerabilidad global de la edificación.

Tabla 27 Vulnerabilidad a nivel de componentes para inspección interna.

COMPONENTES	NIVEL DE VULNERABILIDAD		
	BAJO	MEDIO	ALTO
ENTORNO	0-2	3-4	5-24
ESTRUCTURAL (ACERO)	0-12	13-35	36-46
ESTRUCTURAL (CONCRETO)	0-13	14-42	43-51
ESTRUCTURAL (MAMPOSTERIA)	0-15	16-48	49-58
ESTRUCTURAL (OTROS)	0-9	10-26	27-36
NO ESTRUCTURAL	0-14	15-42	43-56
FUNCIONAL	0-6	7-13	14-18

Tabla 28 Vulnerabilidad a nivel global para inspección interna.

INDICE GLOBAL	NIVEL DE VULNERABILIDAD		
	BAJO	MEDIO	ALTO
ACERO	0-42	43-115	116-144
CONCRETO	0-44	45-119	120-149
MAMPOSTERÍA	0-46	47-124	125-156
OTROS	0-39	40-107	108-134

Inspecciones Externas.

Debido a que no será posible obtener información para realizar la debida evaluación de los parámetros en las inspecciones externas, estas solo podrán conducir a dos tipos de resultados, deberán evaluarse únicamente los aspectos relacionados al entorno Tabla 29 y si estos conducen a un nivel de vulnerabilidad alto, se le otorga automáticamente una bandera roja a la edificación; de lo contrario solo se caracterizaran el sistema resistente de la edificación y el tipo de estructura de techo. En este último caso no podrá darse un juicio acerca del estado de la estructura y únicamente podrá ser caracterizada.

Tabla 29. Vulnerabilidad de la edificación para inspecciones externas

COMPONENTES	NIVEL DE VULNERABILIDAD		
	BAJO	MEDIO	ALTO
ENTORNO	0-2	3-4	5-24

Finalmente, una vez ya obtenidos todos los niveles de vulnerabilidad a nivel de componentes o a nivel global, estos quedaran plasmados dentro del formulario de evaluación.

4.6.3 JUICIO ACERCA DEL ESTADO DE SEGURIDAD DE LA EDIFICACIÓN

En la sección anterior se estableció una forma de evaluar el nivel de vulnerabilidad global de la edificación, la cual representará una estimación del nivel de seguridad que poseen las personas que habitan la edificación y las que se encuentren en sus alrededores. Sin embargo, debido a que el objetivo principal de este tipo de estudios está orientado a la

generación de medidas para salvaguardar la vida de las personas, el estado de seguridad de la edificación podrá ser establecido de diferentes maneras independientemente del nivel de vulnerabilidad global de la edificación, tal y como se muestra en el esquema de la Figura 55.

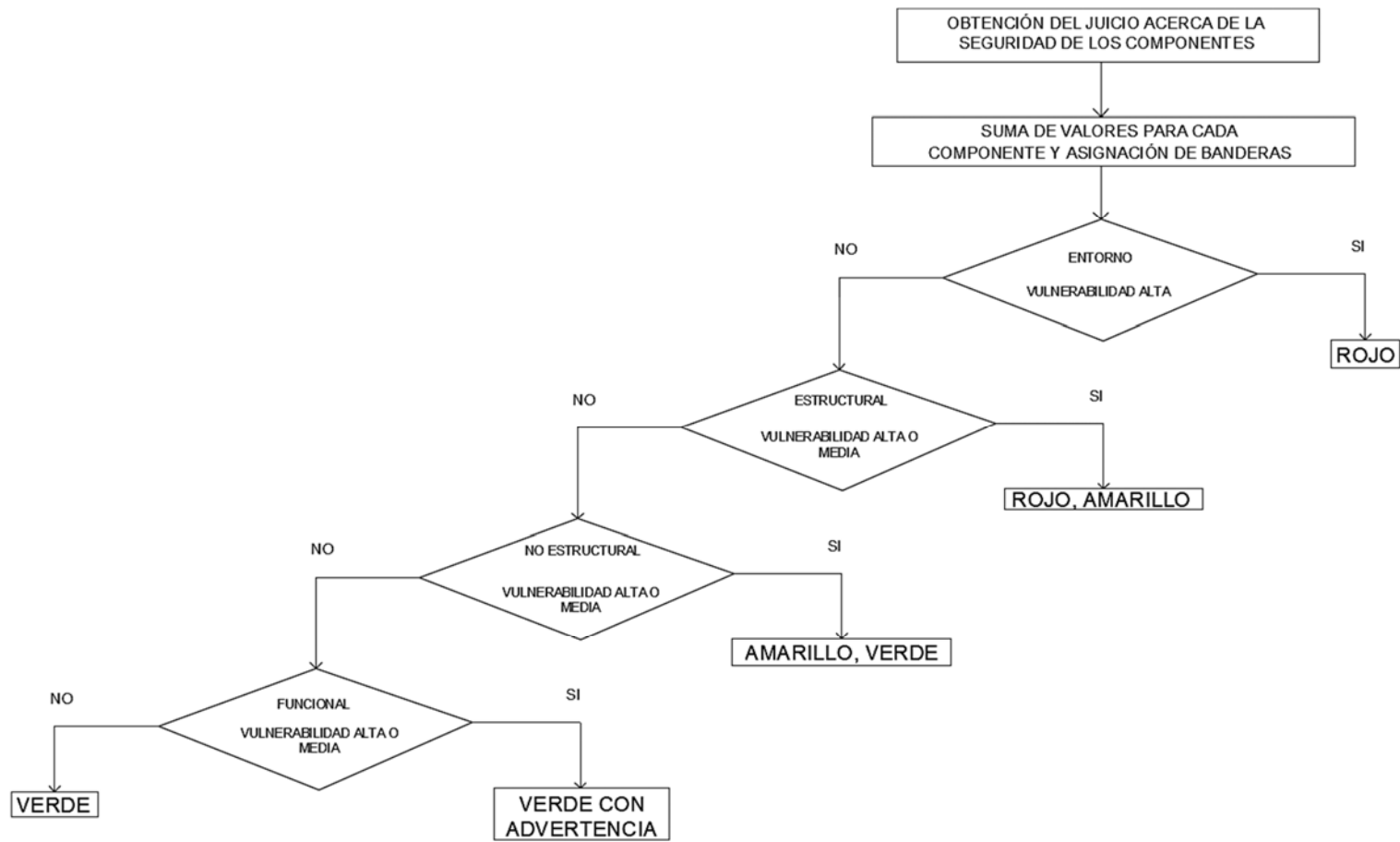


Figura 55. Flujograma para la obtención del juicio de la seguridad de las inspecciones.

En el flujograma mostrado en la figura anterior, la obtención del juicio acerca del estado de la estructura se obtendrá de la siguiente forma:

- Se deberá verificar el nivel de vulnerabilidad de cada uno de los componentes, en el orden mostrado (entorno, estructural, no estructural y funcional).
- El primer valor de las sentencias condicionales indica el componente evaluado, mientras que el segundo indica el valor lógico que representará uno o varios estados de vulnerabilidad del componente evaluado. Si se llegase a cumplir con el valor lógico, se deberá proceder al lado derecho del flujograma y establecer el estado de seguridad de la edificación como una de las alternativas que se presenten. Por ejemplo: si al inicio del análisis se evalúa el componente “Entorno” y se verifica que su nivel de vulnerabilidad es alto, se deberá establecer para la edificación una bandera roja. Si, por el contrario, su nivel de vulnerabilidad es medio o bajo, se deberá proceder al análisis del siguiente componente “Estructural” y evaluar la condición lógica (verificar el nivel de vulnerabilidad) para proceder de manera similar a la expuesta en un inicio para el componente “Entorno”. Este proceso se deberá repetir de forma sistemática hasta llegar al componente funcional. Los niveles de vulnerabilidad se definirán de acuerdo a lo establecido en el índice de vulnerabilidad.
- El estado de seguridad de la edificación, será establecido por un color de bandera, al cual se le deberá añadir una breve explicación del porque se le esta asignando dicho estado de seguridad y deberá estar relacionada directamente con el componente analizado. De esta forma si durante el análisis se le determina a la edificación una bandera roja, debido a la situación riesgosa encontrada al

evaluar el componente “Entorno”, se deberá explicar que factores determinan dicha situación riesgosa, los cuales podrían ser:

- Se encontró en las cercanías de la edificación la existencia de un talud o ladera inestable que pueda derrumbarse y caer sobre la edificación.
- La edificación se encuentra sobre una ladera inestable y corre el riesgo de derrumbarse.
- Existe alguna amenaza externa que puede desprenderse o caer sobre la edificación o alguna de las personas que transiten en las cercanías.

Por último, se deberá hacer de conocimiento del estado de la edificación al encargado de la misma al finalizar la evaluación y explicarle él porque del juicio establecido, de la forma en que se describió en el párrafo anterior.

CAPITULO V:

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se presentan las conclusiones del presente estudio y las recomendaciones que se generan a cara que la metodología descrita pueda ser implementada.

Se realizan algunas recomendaciones relacionadas con: la uniformización de los criterios a considerar para la aplicación de la metodología.

5.2 CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se propone una metodología para la gestión de información de estudios de vulnerabilidad estructural en edificaciones en áreas urbanas, adaptada al entorno y necesidades del país.
- La propuesta elaborada incluye el estudio y la revisión de los aspectos o características comunes de las tipologías constructivas propias del país, que pueden ser utilizadas para evaluar la vulnerabilidad mediante inspecciones visuales.
- El planteamiento del índice de vulnerabilidad y la metodología propuestos están sustentados en la revisión y el análisis de distintas metodologías elaboradas y utilizadas en varios países.
- El proceso de sistematización para la toma de datos se logra mediante la utilización de formularios específicos para cada tipología constructiva descritos en los formularios anexos, en los cuales se plasman todos los parámetros a evaluar y la propuesta de evaluación numérica.
- La evaluación estructural de las edificaciones se basa en la calificación de ciertos parámetros que pueden utilizarse para definir el estado de vulnerabilidad en que se encuentra la estructura. Dichos parámetros están asociados a las tipologías, su sistema constructivo y el estado de conservación de la misma. Adicionalmente, se evalúan otros componentes que definen el nivel de servicio de las edificaciones y los niveles de seguridad que estas ofrecen a sus ocupantes o a las personas que se encuentren en su entorno.

- Los parámetros evaluados y su asignación numérica son utilizados en esta propuesta para establecer un índice de vulnerabilidad correspondiéndole un color de bandera a partir del estado de la edificación.

5.3 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que previo a la utilización de la metodología se realicen capacitaciones para generar los criterios suficientes en campo y de esta forma obtener resultados más coherentes en las evaluaciones.
- La revisión del aspecto geotécnico en esta propuesta se trató de manera superficial, se recomienda la investigación y realización de estudios que permitan establecer de forma más apropiada la evaluación de dicho parámetro.
- La metodología está desarrollada para ser implementada en edificaciones en general. Sin embargo, es recomendable que en el caso de hospitales y escuelas se utilicen las metodologías específicas que ya han sido trabajadas por otros organismos, como lo es la metodología propuesta por la OEA la cual se basa en la metodología de Hirosawa para hospitales y centros de salud, y para el caso de centros escolares, se recomienda la metodología propuesta por la UNESCO denominada VISUS.
- Si se desea mejorar el proceso de visualización e interpretación de la información, esta metodología puede ser sistematizada digitalizando el formulario creado y generando un sistema informático que se apoye en programas de recopilación de información y bases de datos.

BIBLIOGRAFIA

ASIA y MOP. (1997). Norma especial para diseño y construcción de viviendas: Tipos de estructuras consideradas. San Salvador: Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos.

AIS (2001). *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismoresistente de viviendas de mampostería*. La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Bogotá, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Astorga, A., & Rivera, P. (2009). Patologías en las Edificaciones. *Centro de Investigación en Gestión integral de Riesgos*. Venezuela.

Caicedo, C., Canas, J. A., Barbat, A., Roca, A., Goula, X., & Maña, F. (1992). *Vulnerabilidad sísmica de edificios existentes, aplicación a Cataluña. Congreso Iberoamericano sobre Técnicas Aplicadas a la Gestión de Emergencias para la Reducción de Desastres Naturales, 1* (pp. 359-65). Universidad Politécnica, España.

C. McCormac, Jack y F. Csernak, J. (2015). Diseño de estructuras de acero (5ª Edición). México: Alfaomega grupo editor, S.A. de C.V.

Chavarría Lanzas, D.A. y Gómez Pizano, D. (2001). Estudio piloto de vulnerabilidad sísmica en viviendas de 1 y 2 pisos del barrio cuarto de legua en el cono cañaveralejo (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad del valle. Colombia.

Caicedo, C., Canas, J. A., Barbat, A., Roca, A., Goula, X., & Maña, F. (1992). *Vulnerabilidad sísmica de edificios existentes, aplicación a Cataluña. Congreso*

Iberoamericano sobre Técnicas Aplicadas a la Gestión de Emergencias para la Reducción de Desastres Naturales, 1 (pp. 359-65). España. Universidad Politécnica.

Córdoba, K. (2006). Diagnostico preliminar de la vulnerabilidad para establecimientos de salud en el Perú. Perú.

Cuevas, S. (2014). Evaluación de vulnerabilidad sísmica urbana basada en tipologías constructivas y disposición urbana de la edificación. Aplicación en la ciudad de Lorca, región de Murcia. Universidad politécnica de Madrid. Madrid, España. 73-92pp.

Decreto No. 33 de 1998.Reglamento de construcciones sismoresistentes, NSR-98. Publicada en la Gaceta, Diario Oficial No.133 del 9 de enero de 1998. Colombia.

Feriche, M. (2012). Daños causados en construcciones de Lorca por la serie sísmica de 2011. Editorial universidad de Almería. España

Fernández, C., & Santana, B. (1991). *Bases para la evaluación de la vulnerabilidad Sísmica en estructuras existentes*. In *Seminario de Ingeniería Estructural*, 5 (pp. 163-72). Universidad de Costa Rica. Oficina de Publicaciones, Costa Rica.

Fernández, O. (2011). *Evaluación de la Vulnerabilidad Estructural en Edificaciones*. Conferencia llevada a cabo en el Centro de Peritaje del Consejo Departamental de Lima. Colegio de Ingenieros del Perú. Lima, Perú.

Guevara, L. T. (2012). Configuraciones urbanas contemporáneas en zonas sísmicas. Editorial Sidetur. Facultad de arquitectura y urbanismo. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

H. Nilson, A. (2001). Diseño de estructuras de concreto (12ª Edición). Colombia: McGrawhill interamericana, S.A.

Hugo, D. F. P. M. J., & Delgadillo, H. (2010). Metodología para el estudio de la vulnerabilidad estructural de edificaciones. *Facultad de Ingeniería*, (19).

Villafañe, J. L. A., & Rodríguez, N. M. (2011). *Estudio de la vulnerabilidad sísmica usando el método del Índice de Vulnerabilidad en viviendas construidas en el barrio La Paz Barranquilla-Colombia*. Novena Conferencia de Latino América y el Caribe, Ingeniería para un Planeta más Inteligente, Innovación, Información, Herramientas Computacionales y Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible. Medellín, Colombia.

Lanzas, D. A. C., & Pizano, D. G (2001). *Estudio piloto de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de 1 y 2 pisos del barrio cuarto de legua en el Coño de Cañaveralejo* (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.

Maldonado Rondón, E., & Chio Cho, G. (2012). *Índice de vulnerabilidad estructural ante los efectos de remoción en masa en edificaciones de mampostería basado en conjuntos difusos*. *Revista ingeniería de construcción*,27(1), 23-39. Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Medina, A. (2013) Evaluación del índice de vulnerabilidad estructural de edificios del centro de Bogotá utilizando el método de índice de vulnerabilidad. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 12-18pp, 27-53pp.

Mena Hernández, U. (2002). Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas. (Memoria de Tesis de Doctorado en Ingeniería sísmica y dinámica estructural). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

Montero, B., Zutter, P. D., Dietze, R., Funes, L. E., Kohler, A., Fajardo, D., ... & Acosta, A. (1993). *Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado* (No. E14 58). OEA, Washington, DC (EUA).

Moreno, D. y Delgadillo, J. (2006). Metodología para el estudio de la vulnerabilidad estructural de edificaciones. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Organización Panamericana de la Salud (Washington). Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencias, Coordinación del Socorro en Casos de Desastre, & Pan American Health Organization. (2000). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. Pan American Health Org.

Piñeiro Martínez de Lecea, R., Gutiérrez Jiménez, J. P., & Asenjo Monjín, V. (2008). Procesos patológicos frecuentes en edificación: casos de estudio. España.

Quiroga Medina, A. M. (2013). *Evaluación de la vulnerabilidad estructural de edificios del centro de Bogotá utilizando el método del índice de vulnerabilidad*. (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Romana, M. (2010). Metodología de inspección técnica de edificios [Material de clase]. Ingeniería Civil Forense, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Rondón, E. M., Cho, G. C., & Araujo, I. G. (2010). Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos. *Ingeniería y Universidad*, 11(2).


Rondón, E. Chio G. (2011). Índice de vulnerabilidad estructural ante los efectos de remoción en masa en edificaciones de mampostería basado en conjuntos difusos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Santander, Colombia.


Sánchez, T. A. (1995). Diseño y construcción de estructuras de mampostería. México. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). feb. 1995. México, DF MX.


Safina, M. Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. *Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. Universidad Politécnica de Cataluña. España.


ANEXOS


7.1 Formulario para la inspección de edificaciones


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						FORMULARIO DE INSPECCION PARA LA EVALUACION DE LA SEGURIDAD EN EDIFICACIONES			
ASPECTOS GENERALES									
UBICACIÓN									
Dirección									
Ciudad		Municipio		Departamento					
INFORMACION DE CONTACTO									
Titular						Telefono			
Encargado						Telefono			
INFORMACION DEL INMUEBLE									
Número de niveles		Número de sótanos		Area en planta					
Información acerca de reformas que haya tenido el edificio									
Información acerca de cambios en el uso de espacios									
Propiedad									
<input type="radio"/> Privada					<input type="radio"/> Gubernamental				
Uso									
Vivienda	<input type="radio"/>	Comercio	<input type="radio"/>	Oficina	<input type="radio"/>	Fabrica	<input type="radio"/>	Taller	<input type="radio"/>
Hotel	<input type="radio"/>	Estacionamiento	<input type="radio"/>	Bodega	<input type="radio"/>	Otros			
Croquis de ubicación									
Esquema de la edificación									
Esquema en planta					Esquema en altura				













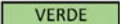
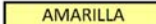

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			
FORMULARIO DE INSPECCION PARA LA EVALUACION DE LA SEGURIDAD EN EDIFICACIONES			
			
COMPONENTES DE EVALUACIÓN			
ENTORNO			
ASPECTOS DE COLINDANCIA			
Posición del edificio en la manzana			
Descripción	Valor	Descripción	Valor
Edificio de esquina	<input type="checkbox"/> 1	Edificio Intermedio o aislado	<input type="checkbox"/> 0
Separación mínima con respecto a la edificación adyacente mas cercana			
Descripción	Valor	Descripción	Valor
Menor o igual a 5 cm	<input type="checkbox"/> 1	Mayor a 5cm, Edificio aislado	<input type="checkbox"/> 0
En caso de que dicha separación sea menor o igual a 5cm, proceder a evaluar los siguientes aspectos:			
Altura de las losas de entrepiso con respecto a las de una edificación adyacente			
Descripción	Valor	Descripción	Valor
Losas a diferente altura	<input type="checkbox"/> 1	Losas a igual altura, Edificio aislado	<input type="checkbox"/> 0
Altura de la edificación con respecto a una de sus edificaciones adyacentes			
Descripción	Valor	Descripción	Valor
La edificación es mas alta que su edificación vecina	<input type="checkbox"/> 1	La edificación es igual de alta o mas baja que su edificación vecina, Edificio aislado	<input type="checkbox"/> 0
TOPOGRAFÍA DEL TERRENO			
Edificación sobre terreno inclinado			
Tipo de terreno	Valor	Tipo de terreno	Valor
Terreno inestable	<input type="checkbox"/> 5	Terraza adecuada y bien elaborada, Terreno plano	<input type="checkbox"/> 0
Taludes o laderas cercanas			
Estado de la ladera	Valor	Estado de la ladera	Valor
Terreno inestable	<input type="checkbox"/> 5	Terraza adecuada y bien elaborada, No hay taludes o laderas cerca	<input type="checkbox"/> 0
Edificación emplazada sobre un talud o masa de tierra			
Estado de la ladera	Valor	Estado de la ladera	Valor
Existe el riesgo que la masa de tierra deslice	<input type="checkbox"/> 5	El talud o masa de tierra es estable, Terreno plano sin depresiones cercanas	<input type="checkbox"/> 0
Problemas geotécnicos visibles			
Descripción	Valor	Descripción	Valor
Se detectan problemas geotécnicos visibles en el terreno de la edificación (hundimientos, erosión, entre otros.)	<input type="checkbox"/> 5	No se detecta problema geotécnico alguno en el terreno de la edificación	<input type="checkbox"/> 0
Tipo de suelo reconocido: _____			
OTROS			
Presencia de amenazas externas			
Descripción	Valor	Descripción	Valor
Presencia de amenaza externa alguna (postes, arboles, rocas, otros)	<input type="checkbox"/> 5	No se detecta amenaza alguna	<input type="checkbox"/> 0
ESTRUCTURAL			
Sistema resistente			
	Valor		Valor
Marcos		Paredes	
Concreto Reforzado	<input type="checkbox"/>	Mamposteria no reforzada	<input type="checkbox"/>
Acero	<input type="checkbox"/>	Mamposteria confinada	<input type="checkbox"/>
		Mamposteria reforzada	<input type="checkbox"/>
		Concreto reforzado	<input type="checkbox"/>
		Prefabricadas de concreto	<input type="checkbox"/>
Otros:		Sistema dual	
_____		Marcos de concreto ref. con arriostramiento de acero	<input type="checkbox"/>
		Marcos de concreto ref. con paredes de mamposteria	<input type="checkbox"/>
		Combinacion de marcos y paredes de concreto ref.	<input type="checkbox"/>

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						FORMULARIO DE INSPECCION PARA LA EVALUACION DE LA SEGURIDAD EN EDIFICACIONES					
Sistemas de entrepiso											
Concreto											
Tipo			Tipo			Tipo					
Nervada en dos direcciones	<input type="checkbox"/>		Nervada en una dirección	<input type="checkbox"/>		Losa densa	<input type="checkbox"/>				
Acero											
Tipo											
Losa de concreto colada sobre tableros de acero							<input type="checkbox"/>				
Sistema de techo											
Tipo			Tipo			Tipo					
Rigido	<input type="checkbox"/>					Flexible	<input type="checkbox"/>				
Tipo de Cubierta											
Tipo			Tipo			Tipo					
Pesada	<input type="checkbox"/>					Liviana	<input type="checkbox"/>				
Calificación del tipo de techo											
Tipo		Valor	Tipo		Valor	Tipo		Valor			
Techo flexible y cubierta pesada	<input type="checkbox"/>	4	Techo flexible y cubierta liviana, otros	<input type="checkbox"/>	0						
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA											
IRREGULARIDADES EN PLANTA											
Presencia de elementos salientes en un entepiso											
Descripción		Valor	Descripción		Valor	Descripción		Valor			
Presencia de voladizos en el entepiso con una longitud mayor o igual a 1m	<input type="checkbox"/>	4	No existen voladizos y si los hay estos poseen una longitud menor a 1m	<input type="checkbox"/>	0						
Plantas complejas y discontinuidades en diafragma de piso											
Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor		
Forma de U,L,X,S huecos >50% del área bruta	<input type="checkbox"/>	4	Planta regular huecos >50% del área bruta	<input type="checkbox"/>	4	Forma de U,L,X,S huecos <50% del área bruta	<input type="checkbox"/>	2	Planta regular sin huecos	<input type="checkbox"/>	0
Longitud											
Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor		
L>5A en caso de edificio o L>3A en caso de vivienda	<input type="checkbox"/>	4	L<5A en caso de edificio o L<3A en caso de vivienda	<input type="checkbox"/>	0	Exede los valores dichos pero posee juntas de construcción	<input type="checkbox"/>	0			
IRREGULARIDADES EN ALTURA											
Presencia de pisos débiles o flexibles											
Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor		
Piso con mayor altura que los adyacentes	<input type="checkbox"/>	4	Piso con menores elementos resistentes verticales que los demas	<input type="checkbox"/>	4	Pisos altos con columnas mas esbeltas que los mas bajos	<input type="checkbox"/>	4	Ninguno de los casos anteriores	<input type="checkbox"/>	0
Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales											
Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor		
Desplazamiento de elementos verticales z dimensión horizontal del elemento	<input type="checkbox"/>	4	Desplazamiento de elementos verticales < dimensión horizontal del elemento	<input type="checkbox"/>	2	No se presenta desplazamiento de elementos verticales	<input type="checkbox"/>	0			
Irregularidad en la distribución de masas (concentraciones de masa: piscinas, tanques, cisternas, equipos pesados, etc)											
Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor		
Existen concentraciones de masas en un nivel de la edificación	<input type="checkbox"/>	4	Existen concentraciones de masa en más de un nivel de la edificación	<input type="checkbox"/>	4	Masa uniformemente distribuida en todos los niveles	<input type="checkbox"/>	0			
ESPECÍFICOS ESTRUCTURALES											
ESTRUCTURAS DE ACERO											
Corrosión en los elementos estructurales											
Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor		
Más del 50% estan en estado de corrosión avanzado	<input type="checkbox"/>	4	Menos del 50% en estado de corrosión avanzado, Más del 50% en estado inicial de corrosión	<input type="checkbox"/>	2	Menos del 50% en estado inicial de corrosión, No se observan indicios de corrosión	<input type="checkbox"/>	0			
En caso de encontrar elementos en estado de corrosión, proceder a evaluar el siguiente aspecto:											

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR								
FORMULARIO DE INSPECCION PARA LA EVALUACION DE LA SEGURIDAD EN EDIFICACIONES								
								
Mayor estado de corrosión detectado en:								
Elemento	Valor	Elemento	Valor	Elemento	Valor	Elemento	Valor	
Columnas	<input type="checkbox"/> 4	Vigas	<input type="checkbox"/> 2	Arriostramientos	<input type="checkbox"/> 2	Conexiones, Placas de losas	<input type="checkbox"/> 1	
Evaluación de los elementos que componen los marcos de la estructura								
se observan:								
Descripción						Valor		
O Fallas por pandeo local del alma o del patín en columnas						<input type="checkbox"/>	4	
O Fallas por pandeo local del alma o del patín en vigas						<input type="checkbox"/>	2	
O Daños severos en conexiones						<input type="checkbox"/>	2	
O Existencia de daños en placas de fundación						<input type="checkbox"/>	2	
O Deficiente soldadura en conexiones						<input type="checkbox"/>	2	
ESTRUCTURAS DE CONCRETO								
Presencia de elementos con baja ductilidad								
Descripción		Valor	Descripción		Valor	Descripción		Valor
Presencia de columnas cortas a causa de restricciones geométricas		<input type="checkbox"/> 4	Presencia de columnas que no poseen juntas de dilatación con componentes no estructurales		<input type="checkbox"/> 4	No se detecta la presencia de columnas cortas o la posibilidad que se generen		<input type="checkbox"/> 0
Orientación de la inercia de los elementos verticales								
Descripción		Valor	Descripción		Valor	Descripción		Valor
La mayor dimensión de la columna se encuentra de forma tal que el menor momento de inercia se da en la dirección débil de la planta		<input type="checkbox"/> 4	La mayor dimensión de la columna se encuentra de forma tal que el mayor momento de inercia se da en la dirección débil de la planta		<input type="checkbox"/> 0	Las columnas son cuadradas o circulares con inercia similar en ambas direcciones		<input type="checkbox"/> 0
Sistemas no paralelos								
Descripción		Valor	Descripción		Valor	Descripción		Valor
Los muros en ambas direcciones no están correctamente alineados con los ejes ortogonales principales		<input type="checkbox"/> 4	Los muros en una dirección no están correctamente alineados con el eje ortogonal principal		<input type="checkbox"/> 2	Los muros están correctamente alineados con los ejes ortogonales principales		<input type="checkbox"/> 0
Grietas en elementos								
se observan:								
Descripción						Valor		
Grietas que atraviesan la sección del concreto estructural en elementos:								
- Verticales						<input type="checkbox"/>	4	
- Horizontales						<input type="checkbox"/>	3	
Grietas a nivel del repello en elementos:								
- Verticales						<input type="checkbox"/>	2	
- Horizontales						<input type="checkbox"/>	2	
ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA								
Humedades en paredes								
Descripción		Valor	Descripción		Valor	Descripción		Valor
Humedad excesiva o indicios de esta en su parte baja		<input type="checkbox"/> 4	No se presentan indicios de humedad y no están debidamente protegidas en su parte baja		<input type="checkbox"/> 2	No se presentan indicios de humedad y están debidamente protegidas en su parte baja		<input type="checkbox"/> 0
Grietas en paredes								
se observan:								
Descripción						Valor		
O Fracturas de la pared o parte de ella, fuera del plano de la misma						<input type="checkbox"/>	4	
O Fracturas de la pared o parte de ella, a lo largo del plano de la misma						<input type="checkbox"/>	4	
O Grietas diagonales visibles en forma de X						<input type="checkbox"/>	4	
O Grietas diagonales visibles escalonadas						<input type="checkbox"/>	4	
O Grietas leves verticales a lo largo de las juntas						<input type="checkbox"/>	2	
O Grietas leves horizontales a lo largo de las juntas						<input type="checkbox"/>	2	
O Grietas leves con forma aleatoria en los extremos de aberturas						<input type="checkbox"/>	2	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						FORMULARIO DE INSPECCION PARA LA EVALUACION DE LA SEGURIDAD EN EDIFICACIONES				
Sistemas no paralelos										
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor
Los muros en ambas direcciones no están correctamente alineados con los ejes ortogonales principales		<input type="checkbox"/> 4		Los muros en una dirección no están correctamente alineados con el eje ortogonal principal		<input type="checkbox"/> 2		Los muros están correctamente alineados con los ejes ortogonales principales		<input type="checkbox"/> 0
OTRO TIPO DE ESTRUCTURAS										
Estado de conservación de los elementos estructurales										
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor
Mas del 50% de los elementos se encuentran en mal estado		<input type="checkbox"/> 4		El 50% de los elementos se encuentran en mal estado		<input type="checkbox"/> 2		Menos del 50% de los elementos se encuentran en mal estado		<input type="checkbox"/> 0
En caso de encontrar elementos en mal estado, proceder a evaluar el siguiente aspecto:										
Mayor deterioro detectado en:										
Elemento		Valor		Elemento		Valor		Elemento		Valor
Columnas		<input type="checkbox"/> 4		Paredes estructurales		<input type="checkbox"/> 2		Vigas		<input type="checkbox"/> 2
								Diafragmas de entrepiso		<input type="checkbox"/> 1
NO ESTRUCTURAL										
ELEMENTOS QUE PUEDAN CAER DE LA LOSA SUPERIOR										
Cielo falso		Luminarias		Ventilador		Tuberías		Aire acondicionado y otros		
Cielo falso		Cielo falso		Cielo falso		Cielo falso		Cielo falso		Cielo falso
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor
Conexión ortogonal		<input type="checkbox"/> 4		Conexión con ángulo > de 45°		<input type="checkbox"/> 2		Conexión con ángulo ≤45°		<input type="checkbox"/> 0
Luminarias										
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor
Conexión inadecuada al cielo falso		<input type="checkbox"/> 4		Bien sujeta al cielo falso		<input type="checkbox"/> 0				
Ventiladores (sujetos a techos o a entrepisos)										
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor
Longitud de cola hace oscilar significativamente		<input type="checkbox"/> 4		Longitud adecuada, no oscila		<input type="checkbox"/> 0				
Tuberías en mal estado										
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor
Existe la posibilidad de que se desconecten		<input type="checkbox"/> 4		Todas se encuentran en buen estado		<input type="checkbox"/> 0				
Equipos de aire acondicionado y otros										
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor
Anclaje deteriorado o inadecuado		<input type="checkbox"/> 4		Anclaje bien elaborado y sin deterioro		<input type="checkbox"/> 0				
ELEMENTOS DIVISORIOS										
Mampostería		Tabla Yeso		Madera		Tabla roca		Otros		
Pared divisoria de mampostería, tabla yeso, madera, tabla roca.										
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor
Conexión del elemento en mal estado y permite el desplazamiento del elemento		<input type="checkbox"/> 4		conexión del elemento seguro y no permite desplazamiento alguno		<input type="checkbox"/> 0				
EQUIPOS, MOBILIARIOS Y MASAS DE AGUA										
Equipos eléctricos, de comunicaciones o electromecánicos (refrigeradoras, cocinas, servidores)		Masas de agua (piscinas, tanques elevados, cisternas o depósitos)		Mobiliarios de gran tamaño		Masas de algun otro tipo (objetos guardados, papelería, archiveros, entre otros)				
Equipos eléctricos, de comunicaciones o electromecánicos (refrigeradoras, cocinas, servidores)										
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor
Cuando existan estos elementos y no se encuentren correctamente anclados y puedan caer o deslizarse		<input type="checkbox"/> 4		Los elementos se encuentran correctamente anclados al piso o algún elemento de soporte		<input type="checkbox"/> 0				
Mobiliario de gran tamaño										
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor
Cuando existan estos elementos y no se encuentren correctamente anclados y puedan caer o deslizarse		<input type="checkbox"/> 4		Los elementos se encuentran correctamente anclados a las paredes, losas de entrepiso o algún elemento de soporte		<input type="checkbox"/> 0				

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				FORMULARIO DE INSPECCION PARA LA EVALUACION DE LA SEGURIDAD EN EDIFICACIONES							
Masas de agua (piscinas, tanques de agua)											
Descripción		Valor		Descripción		Valor					
No se encuentra correctamente colocado y existe el riesgo de que pueda salirse o que pueda soltarse o deslizar y golpear una estructura		<input type="checkbox"/> 4		Estos elementos se encuentran asegurados de forma adecuada		<input type="checkbox"/> 0					
Masas de algun otro tipo											
Descripción		Valor		Descripción		Valor					
Cuando existan estos elementos y no se encuentren aislados en un area adecuada o correctamente anclados y puedan caer o deslizarse		<input type="checkbox"/> 4		Los elementos se encuentran correctamente aislados o anclados a las paredes, losas de entepiso o algún elemento de soporte		<input type="checkbox"/> 0					
ELEMENTOS SOBRE EL TECHO											
Equipos de aires acondicionados, tanques de agua, barandas, rótulos, antenas, entre otros		0		Pretilos de bloque o ladrillo, tejas o elementos de fachada		0					
Equipos de aires acondicionados, tanques de agua, barandas, rótulos, antenas											
Descripción		Valor		Descripción		Valor					
Se encuentran este tipo de elementos y no presentan un anclaje adecuado o este es inexistente		<input type="checkbox"/> 4		El anclaje de los elementos es adecuado y no existe la posibilidad de que presente fallas, No hay presencia de tales elementos		<input type="checkbox"/> 0					
Pretilos de bloque o ladrillo, tejas o elementos de fachada											
Descripción		Valor		Descripción		Valor					
Existe el riesgo de que alguno de estos elementos se desprenda y caiga al piso y dañe a los peatones u ocupantes del lugar		<input type="checkbox"/> 4		Los elementos se encuentran anclados adecuadamente y las personas no corren el riesgo de ser dañados, No hay presencia de tales elementos		<input type="checkbox"/> 0					
VENTANERIA											
Celosía		0		Placas de vidrio		0		Otros 0			
Celosía											
Descripción		Valor		Descripción		Valor					
Vidrios sueltos o flojos con la posibilidad de que caigan sobre las personas		<input type="checkbox"/> 4		Ventaneria en buen estado		<input type="checkbox"/> 0					
Placas de vidrio											
Descripción		Valor		Descripción		Valor					
No poseen juntas adecuadas entre sí o la pared, Las placas no son de vidrio plastificado		<input type="checkbox"/> 4		Juntas adecuadas, Placas de vidrio plastificado		<input type="checkbox"/> 0					
FUNCIONAL											
Accesos											
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor	
Solamente existe un acceso		<input type="checkbox"/> 4		Existe más de un acceso pero se encuentran distribuidos de forma inadecuada		<input type="checkbox"/> 2		Existe más de un acceso y se encuentran adecuadamente distribuidos		<input type="checkbox"/> 0	
Vías de circulación											
Descripción		Valor		Descripción		Valor		Descripción		Valor	
No hay ruta de evacuación y vías de circulación no son seguras		<input type="checkbox"/> 4		No hay ruta de evacuación y las vías de circulación son seguras		<input type="checkbox"/> 2		Existe una o mas rutas de evacuación y las vías de circulación son seguras		<input type="checkbox"/> 0	
Señalizaciones											
Descripción		Valor		Descripción		Valor					
No existe señalización hacia las rutas de evacuación y si las hay no estan colocadas adecuadamente		<input type="checkbox"/> 2		Existe señalización adecuada y ésta se encuentra debidamente colocada, Las salidas son claramente visibles desde cualquier punto al interior de la misma		<input type="checkbox"/> 0					
Zonas Seguras											
Descripción		Valor		Descripción		Valor					
No existe zona segura cercana y si la hay, representa un riesgo para las personas		<input type="checkbox"/> 4		Existe zona segura cercana y no representa riesgo alguno		<input type="checkbox"/> 0					
Distribución de las áreas internas											
Descripción		Valor		Descripción		Valor					
Dificulta a los ocupantes el desalojo de la misma		<input type="checkbox"/> 4		Facilita a los ocupantes el desalojo de la edificación		<input type="checkbox"/> 0					

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
FORMULARIO DE INSPECCION PARA LA EVALUACION DE LA SEGURIDAD EN EDIFICACIONES				
				
NIVEL DE VULNERABILIDAD (COMPONENTES)				
COMPONENTES	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	BAJO	MEDIO	ALTO	
ENTORNO	0-2	3-4	5-24	
ESTRUCTURAL (ACERO)	0-12	13-35	36-46	
ESTRUCTURAL (CONCRETO)	0-13	14-42	43-51	
ESTRUCTURAL (MAMPOSTERIA)	0-15	16-48	49-58	
ESTRUCTURAL (OTROS)	0-9	10-26	27-36	
NO ESTRUCTURAL	0-14	15-42	43-56	
FUNCIONAL	0-6	7-13	14-18	
NIVEL DE VULNERABILIDAD (GLOBAL)				
INDICE GLOBAL	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	BAJO	MEDIO	ALTO	
ACERO	0-42	43-115	116-144	
CONCRETO	0-44	45-119	120-149	
MAMPOSTERIA	0-46	47-124	125-156	
OTROS	0-39	40-107	108-134	
INDICE DE VULNERABILIDAD DE COMPONENTES				
Componente	Puntuación	Bandera		
		Bajo	Medio	Alto
Entorno	=====	<input type="radio"/> 	<input type="radio"/> 	<input type="radio"/> 
Estructural	=====	<input type="radio"/> 	<input type="radio"/> 	<input type="radio"/> 
No Estructural	=====	<input type="radio"/> 	<input type="radio"/> 	<input type="radio"/> 
Funcional	=====	<input type="radio"/> 	<input type="radio"/> 	<input type="radio"/> 
INDICE DE VULNERABILIDAD GLOBAL				
Puntuación				
Indice de Vulnerabilidad Global: =====				
ESTADO DE SEGURIDAD DE LA EDIFICACION				
COLOR DE BANDERA				
<input type="radio"/>  VERDE	<input type="radio"/>  AMARILLA	<input type="radio"/>  ROJA		
Observaciones: _____				

Recomendaciones: _____				

