



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Posgrado
Maestría en Ciencias en Estructuras

**DETERMINACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS CORRELACIONADAS AL RIESGO SÍSMICO EN
ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Ing. Marco Antonio García Díaz

Asesorado por el Ing. MSc. Víctor Manuel López Juárez

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS CORRELACIONADAS AL RIESGO SÍSMICO EN
ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. MARCO ANTONIO GARCÍA DÍAZ

ASESORADO POR EL ING. MSC. VÍCTOR MANUEL LÓPEZ JUÁREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN ESTRUCTURAS

GUATEMALA, MAYO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdoba Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Alvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Francisco Eduardo Arrecis Sosa
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DETERMINACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS CORRELACIONADAS AL RIESGO SÍSMICO EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 21 de noviembre de 2019.

Ing. Marco Antonio García Díaz

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS CORRELACIONADAS AL RIESGO SÍSMICO EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por **Marco Antonio García Díaz**, que pertenece al programa de Maestría en ciencias en Estructuras después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, mayo de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, mayo de 2022

LNG.EEP.OI.410.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"DETERMINACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS CORRELACIONADAS AL RIESGO SÍSMICO EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA"

presentado por **Marco Antonio García Díaz** correspondiente al programa de **Maestría en ciencias en Estructuras**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, 18 de abril 2022

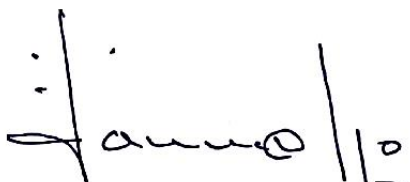
Msc. Ing. Edgar Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Por este medio informo a usted, que, como COORDINADOR, he revisado y aprobado la siguiente
TÉSIS DE GRADUACIÓN del alumno:

Carné:	100021096
Alumno:	Marco Antonio García Díaz
Maestría:	Estructuras
Título de la Investigación:	DETERMINACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS CORRELACIONADAS AL RIESGO SÍSMICO EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA.

En este sentido, extendiendo el Visto Bueno correspondiente, para el cumplimiento de requisitos de la Escuela de Estudios de Postgrado, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sin otro particular



Msc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador Área Estructuras
Escuela de Estudios Postgrados
Facultad de Ingeniería

LUGAR Y FECHA 06 DE MARZO DEL 2022

MSc. Ing Edgar Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Por este medio informo a usted, que, como ASESOR, he revisado y aprobado la siguiente **TÉSIS DE GRADUACIÓN** del (la) alumno (a):

Carné: 100021096
Alumno: ING. MARCO ANTONIO GARCÍA DÍAZ
Maestría: Estructuras
Título de la Investigación: DETERMINACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS CORRELACIONADAS AL RIESGO SÍSMICO EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

En este sentido, extendiendo el Visto Bueno correspondiente, para el cumplimiento de requisitos de la Escuela de Estudios de Postgrado, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Asimismo, se hace constar que el estudiante cumplió con el pago de los honorarios profesionales de asesoría de dicha tesis de graduación.

Sin otro particular

Msc. Ing. Civil Víctor Manuel López Juárez

Asesor

Víctor Manuel López Juárez
INGENIERO CIVIL, M. S.
Col. 2,393
(sello)

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser una guía y protección a lo largo de mi vida y carrera profesional
Mis padres	Por enseñarme, con ejemplo de honradez y honestidad.
Mi esposa	Por ser mi apoyo incondicional y compañera de vida.
Mis hijos	Por motivarme a ser un ejemplo para sus vidas.
Mis hermanos	Por apoyarme y saber que puedo contar con ellos en cualquier momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi alma mater y darme la oportunidad de desarrollarme académica y profesionalmente.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme realizar mis estudios, así como dejar un legado en futuras generaciones.
Mis compañeros y mentores	Especialmente al Ing. Hugo Montenegro e Ing. Armando Fuentes, por apoyarme y motivarme a culminar mis estudios de posgrado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. PATOLOGÍAS EN EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA	1
1.1. Sistemas estructurales básicos	1
1.1.1. Sistema E1- Estructura de marcos simples	1
1.1.2. Sistema E2-Estructura de muros (estructura tipo cajón).....	1
1.1.3. Sistema E3- Estructura combinada	1
1.1.4. Sistema E4- Sistema dual.....	2
1.1.5. Sistema E5- Péndulo invertido.....	2
1.2. Generalidades de mampostería reforzada	2
1.2.1. Elementos de mampostería reforzada.....	3
1.2.1.1. Levantado de block.....	3
1.2.1.2. Refuerzo con mochetas y soleras.....	5
1.3. Patologías en mampostería confinada	8
1.3.1. Punto de vista funcional.....	10
1.3.2. Punto de vista material	10
1.4. Clasificación de patologías o lesiones	11
1.5. Causas de las patologías o lesiones	12

1.6.	Medición de fisuras y grietas	15
2.	MANIFESTACIONES MECÁNICAS EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: EL LENGUAJE DE LAS GRIETAS	19
2.1.	Tipología de las grietas	19
2.2.	Grietas debido a movimientos del suelo.....	22
2.3.	Grietas debido a movimientos sísmicos	27
2.4.	Sistema de clasificación de grietas	30
2.4.1.	Grietas tipo N Y R	32
2.4.2.	Grietas tipo S.....	45
3.	RIESGO SÍSMICO Y VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	49
3.1.	Situación sísmica de Guatemala	49
3.1.1.	Situación sísmica local (Ciudad de Guatemala)	51
3.2.	Vulnerabilidad estructural.....	52
3.3.	Métodos para evaluar vulnerabilidad en mampostería reforzada	55
3.3.1.	Método del índice de vulnerabilidad	55
3.3.2.	Método del AGIES.....	57
3.3.3.	Método FEMA-RVS	62
4.	PROPUESTA DE MÉTODO DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y PATOLOGÍAS CORRELACIONADAS AL RIESGO SÍSMICO	67
4.1.	Generalidades de la evaluación	67
4.2.	Propuesta de formulario de evaluación	69
4.2.1.	Identificación de la edificación.....	70
4.2.2.	Fotografías de identificación de la edificación	71
4.2.3.	Amenazas sísmicas	72

4.2.3.1.	Categoría ocupacional	73
4.2.3.2.	Índice de sismicidad.....	74
4.2.3.3.	Nivel de protección sísmica (NPS).....	76
4.2.4.	Amenazas geotécnicas.....	77
4.2.5.	Deficiencias en calidad de mampostería, mortero, cimentación y refuerzo confinante	79
4.2.5.1.	Estado actual de los bloques	79
4.2.5.2.	Estado actual del mortero	80
4.2.5.3.	Cimentación y refuerzo	81
4.2.6.	Esbeltez y alargamiento	84
4.2.7.	Redundancia y distribución de paredes.....	89
4.2.8.	Mala configuración en planta.....	91
4.2.9.	Irregularidades en elevación y discontinuidad vertical	100
4.2.10.	Identificación de lesiones.....	104
5.	DIVULGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE HERRAMIENTA ERI.....	109
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	119
	CONCLUSIONES	135
	RECOMENDACIONES	137
	REFERENCIAS	139
	ANEXOS	147

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de block	4
2.	Elementos de una pared de mampostería	6
3.	Refuerzo Interbloque	7
4.	Condiciones básicas para la calidad de la edificación.....	8
5.	Testigo de yeso	16
6.	Fisurómetro de regleta	17
7.	Fisurómetro con retícula.....	17
8.	Deformómetro	18
9.	Grietas según el material	19
10.	Grietas por asentamiento	20
11.	Grietas debido a empuje	21
12.	Grietas debido a acciones mecánicas.....	21
13.	Asentamiento diferencial y esfuerzos	22
14.	Equilibrio de fuerzas por asentamiento	23
15.	Distorsión del muro	23
16.	Esfuerzos principales	24
17.	Esfuerzos de tensión y compresión a 45 grados.....	24
18.	Grietas perpendiculares al esfuerzo de tensión	25
19.	Grietas en esquinas de aberturas	25
20.	Grietas a cuarenta y cinco grados por asentamiento	26
21.	Comportamiento de muros ante sismos.....	27
22.	Grieta en forma de X	28
23.	Uso de mochetas y soleras intermedias.....	28

24.	Muro de block dañado por sismo	29
25.	Muro de block con mochetas deficientes	29
26.	Sistema de clasificación de grietas	30
27.	Grieta exterior NVTC-1	32
28.	Grieta exterior NVTC-2	33
29.	Grieta exterior RVTC-1	34
30.	Grieta exterior RVTC-2	35
31.	Grieta exterior NDTC	36
32.	Grieta exterior RDTC	37
33.	Grieta exterior NHSC	38
34.	Grieta exterior RHSC	39
35.	Grieta exterior NVCC	40
36.	Grieta interior NDCC	41
37.	Grieta interior NHCC	42
38.	Grieta interior NHTC	43
39.	Grieta interior en esquina NVSC	44
40.	Grieta exterior tipo SDTC	45
41.	Grieta SHSC	46
42.	Esquema de placas tectónicas en Centroamérica y Suramérica	49
43.	Zona de subducción	50
44.	Zona de fallas de transurrencia	51
45.	Procedimiento de evaluación según AGIES	62
46.	Parte del formulario de evaluación RVS- nivel 2	66
47.	Mapa de zonificación sísmica de Guatemala	75
48.	Potencial de falla de ladera	78
49.	Ejemplo de plano de localización de mochetas principales y proyección de mochetas secundarias	82
50.	Ejemplo de ubicación correcta de soleras -sección-	82

51.	Ejemplo de comportamiento de cimentación corrida y cimentación individual	83
52.	Largo y ancho de la edificación	85
53.	Esbeltez en la edificación	85
54.	Edificación esbelta y estructura con irregularidad	86
55.	Edificación con nivel débil y asimetría de elementos resistentes	87
56.	Edificaciones esbeltas y altura mayor a 3 niveles	87
57.	Edificación con pocos elementos resistentes y altura mayor a tres niveles	88
58.	Distribución de muros.....	90
59.	Relación área de vacíos y área envolvente.....	92
60.	Casos básicos de distribución de paredes exteriores	93
61.	Casos realistas de distribución de paredes exteriores	94
62.	Irregularidades en planta según FEMA P-154.....	95
63.	Irregularidad en planta: casa en esquina	96
64.	Irregularidad en planta: casa en esquina, otros ejemplos	96
65.	Irregularidad en planta: estructuras tipo túnel	97
66.	Junta sísmica en edificaciones.....	98
67.	Configuración en planta separando edificaciones	98
68.	Parte de formulario: configuración en planta.....	99
69.	Irregularidades en elevación	101
70.	<i>Sloping site</i> - terreno inclinado (FEMA).....	101
71.	Nivel blando o débil (FEMA).....	102
72.	<i>Setback</i> - retraso fuera del plano (FEMA)	102
73.	<i>Short pier</i> – muro corto (FEMA)	103
74.	<i>Split levels</i> - grada en niveles (Fema)	103
75.	Parte de formulario- mala configuración en elevación.....	104
76.	Formulario ERI, página 1	106
77.	Formulario ERI, página 2	106

78.	Diagrama de proceso de evaluación.....	107
79.	Invitación a la capacitación	110
80.	Aspecto general de la capacitación	110
81.	Registro de participantes a la capacitación.....	111
82.	Desarrollo de la capacitación	111
83.	Semestre que cursan los evaluadores.....	112
84.	Información inicial de la aplicación ERI.....	113
85.	Información complementaria de la aplicación ERI	113
86.	Amenazas geotécnicas de la aplicación ERI y ponderación	114
87.	Amenazas sísmicas de la aplicación ERI.....	114
88.	Deficiencias generales en la aplicación ERI y ponderación	115
89.	Cálculo de esbeltez y alargamiento en la aplicación ERI.....	116
90.	Redundancia y distribución en la aplicación ERI y ponderación	117
91.	Configuración estructural en la aplicación ERI y ponderación	117
92.	Lesiones (patologías) en la aplicación ERI y ponderación.....	118
93.	Localización de las evaluaciones- nivel macro	119
94.	Localización de las evaluaciones- Ciudad Capital	120
95.	Resultados de amenazas sísmicas de evaluaciones	120
96.	Resultados de amenazas geotécnicas	121
97.	Resultados de deficiencias generales.....	122
98.	Resultados de las dimensiones de las edificaciones	122
99.	Resultados de la relación de alargamiento y esbeltez	123
100.	Resultados de estructuras con ejes paralelos y más de 3 niveles	124
101.	Resultados de paredes en direcciones ortogonales	124
102.	Resultados de configuración estructural	125
103.	Resultado de las calificaciones de vulnerabilidad	126
104.	Resultado de las evaluaciones, porcentaje.....	126
105.	Descripción de las patologías	127
106.	Patología para calificación ERI = 42.5	129

107.	Patología para calificación ERI = 45.....	129
108.	Patología para ERI = 55.....	130
109.	Patología para ERI = 60.....	130
110.	Gráfico de dispersión, todas las evaluaciones	131
111.	Gráfico de dispersión, evaluaciones con patologías	132

TABLAS

I.	Resistencia de block	5
II.	Causas de las patologías en edificación	13
III.	Causas y síntomas comunes en evaluación patológica	14
IV.	Nomenclatura para el sentido del movimiento del suelo	31
V.	Nomenclatura para la orientación de la grieta en pared.....	31
VI.	Nomenclatura para el tipo de esfuerzo.....	31
VII.	Nomenclatura para el tipo de rasgo	32
VIII.	Nomenclatura grieta NVTC-1	33
IX.	Nomenclatura grieta NVTC-2.....	34
X.	Nomenclatura grieta RVTC-1.....	35
XI.	Nomenclatura grieta RVTC-2.....	36
XII.	Nomenclatura grieta NDTC	37
XIII.	Nomenclatura grieta RDTC	38
XIV.	Nomenclatura grieta NHSC.....	39
XV.	Nomenclatura grieta RHSC	40
XVI.	Nomenclatura grieta NVCC.....	41
XVII.	Nomenclatura grieta NDCC.....	42
XVIII.	Nomenclatura grieta NHCC.....	43
XIX.	Nomenclatura grieta NHCC.....	44
XX.	Nomenclatura grieta NVSC	45
XXI.	Nomenclatura grieta SDTC	46

XXII.	Nomenclatura grieta SHSC.....	47
XXIII.	Escala numérica del índice de vulnerabilidad	56
XXIV.	Criterios de evaluación de vulnerabilidad.....	58
XXV.	Ponderación de criterios, aspectos 1 al 3	60
XXVI.	Ponderación de criterios, aspectos 4 al 7	61
XXVII.	Resultados de la evaluación	61
XXVIII.	Parte inicial de formulario de evaluación RVS- nivel 1.....	63
XXIX.	Parte final de formulario de evaluación RVS- nivel 1	64
XXX.	Carátula del formulario de evaluación ERI.....	70
XXXI.	Parte de formulario de evaluación: identificación.....	71
XXXII.	Parte de formulario de evaluación: fotografías de identificación	72
XXXIII.	Parte de formulario: amenazas sísmicas	73
XXXIV.	Datos de amenaza sísmica para Guatemala	76
XXXV.	Nivel de protección sísmica	76
XXXVI.	Parte de formulario: ponderación NPS	77
XXXVII.	Parte de formulario, ponderación: amenazas geotécnicas	79
XXXVIII.	Resistencia promedio de block de pómez en San Marcos	80
XXXIX.	Parte del formulario ERI: deficiencia.....	84
XL.	Parte de formulario: esbeltez y alargamiento.....	89
XLI.	Parte de formulario: redundancia y distribución de paredes	90
XLII.	Parte de formulario: cuadrícula para planta y distribución de muros	91
XLIII.	Características irregulares en planta	92
XLIV.	Características irregulares en elevación	100
XLV.	Parte de formulario, ubicación y forma de lesiones	105

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
U	Causa geotécnica no definida
E	Costo de las pérdidas esperadas
P	Deslizamiento de tierras, jalón
H3	Diafragma discontinuo
H2	Diafragma irregular
DT	Doble tabique central
G	Fisura
H1-B	Giro extremo del diafragma, irregularidad horizontal
H1-A	Giro mayor de diafragma, irregularidad horizontal
C	Grietas a compresión
D	Grietas diagonales, peligrosidad sísmica
H	Grietas horizontales
T	Grietas por tensión
V	Grietas verticales
N	Movimiento del suelo normal
R	Movimiento inverso
S	Movimiento por acción de sismos
P _f	Punteo final
UT	Un tabique central

GLOSARIO

AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica de Guatemala.
Asentamiento	Deformación vertical del terreno debido a las 0020 cargas aplicadas en la estructura.
Amenaza	Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno o de que ocurra algo.
Confinamiento	Acción de confinar o limitar.
Deformómetro	Instrumento que sirve para medir la deformación longitudinal entre dos puntos conocidos.
Discontinuidad	Interrupción de la uniformidad o continuidad.
Eflorescencia	Es el depósito de sales en la superficie del muro, asociados con humedad. Comúnmente se conoce como salitre.
ERI	Evaluación rápida inicial.
Esbeltez	Es cuando la relación entre la sección transversal de un elemento y su longitud es pequeña o menor a cierto valor definido.

Extensómetro	Instrumento de medición que mide la extensión o alargamiento longitudinal de una probeta.
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i> (Agencia federal para el manejo de emergencias) de los Estados Unidos.
Fisura	Abertura con ancho mayor a un milímetro, la cual afecta solo la superficie del material donde se presenta.
Grieta	Abertura profunda mayor a un milímetro, la cual normalmente afecta todo el espesor del material donde se presenta.
Higrotérmicas	Condiciones de humedad y temperatura.
Licuefacción	Es cuando un suelo pasa de estado sólido a líquido debido a la saturación del agua, normalmente sujeto a acción de sismo.
Mampostería	Es un sistema que consiste en bloques o elementos mampuestos, generalmente confinados o reforzados para resistir cargas.
Mochetas	Elemento constructivo que se usa para limitar o confinar la mampostería de manera vertical.

Nomenclatura	Sistema de nombres empleados de forma técnica, generalmente representados por letras o símbolos.
NPS	Nivel de protección sísmica.
NSE	Norma de seguridad estructural.
Patología	Manifestación de falla, daño o lesión en las edificaciones o construcciones.
Redundancia	Existencia de muros, columnas o ejes resistentes en cada dirección ortogonal.
Retícula	Conjunto de líneas o elementos dispuestos en forma vertical y horizontal.
Riesgo sísmico	Probabilidad de ocurrencia de un sismo, debido a la ubicación geográfica. Definida también en cómo la relación de amenaza sísmica por vulnerabilidad.
RVS	<i>Visual Rapid Assessment</i> (evaluación rápida visual).
<i>Set back</i>	Retroceso o retraso fuera del plano.
<i>Short pier</i>	Muro corto.
Sismicidad	Medida de la actividad sísmica en un lugar.
<i>Sloping site</i>	Terreno inclinado.

Soleras	Elementos constructivos de refuerzo horizontal para confinar la mampostería.
<i>Split levels</i>	Niveles escalonados.
Subducción	Proceso en el que una placa tectónica se hunde bajo otra placa.
Tabique	Muro que tiene como función delimitar un espacio, sin función estructural o sismo resistente.
Testigo	Probeta de yeso para medir una fisura o grieta.
Tipología	Modelos o tipos que se usan para hacer una clasificación.
Vulnerabilidad	Predisposición de una estructura de sufrir daño ante un evento sísmico. Es el grado de daño de una estructura ante eventos sísmicos.

RESUMEN

En la ciudad de Guatemala, a partir del gran desastre nacional generado por el terremoto de 1976, la construcción tradicional de adobe y bajareque cambió radicalmente a la construcción de vivienda de mampostería confinada de bloques de concreto. Desafortunadamente, este método constructivo y su crecimiento en todo el país, se hizo sin fundamentos teóricos ni respaldo técnico, convirtiéndose en un sistema en la mayoría de las ocasiones de construcción empírica, aumentando la vulnerabilidad estructural debido a la mala configuración y errores constructivos comunes, descritos en este documento. Sin embargo, ante el buen desempeño del sistema estructural y a pesar de las deficiencias en configuración, materiales y procesos constructivos, este sistema clasificado como tipo cajón o bien de muros de carga, ha demostrado en su mayoría un buen comportamiento sísmico resistente, pero mostrando manifestaciones como fisuras, grietas y otros antes y después de eventos sísmicos importantes.

Frecuentemente, en el sistema de mampostería reforzada se tienen algunas manifestaciones o lesiones, definidas también en la presente investigación como patologías. Estas son manifestaciones del deterioro, falta de mantenimiento, malos procesos constructivos y otros; los cuales en la mayoría de las ocasiones se manifiestan mediante fisuras, grietas, humedades y otros.

En la presente investigación se busca correlacionar dichas patologías y la vulnerabilidad estructural, mediante un instrumento de evaluación llamado Evaluación Rápida Inicial (ERI), la cual, mediante una aplicación para teléfonos inteligentes se puso en proceso para evaluar dicha relación en más de trescientas edificaciones de mampostería reforzada en la ciudad de Guatemala.

OBJETIVOS

General

Determinar qué patologías se correlacionan con el riesgo sísmico en estructuras de mampostería reforzada en la ciudad de Guatemala.

Específicos

- Describir qué patologías se manifiestan en las estructuras de mampostería reforzada en la ciudad de Guatemala, así como posibles causas.
- Comparar de forma teórica los distintos procedimientos e instrumentos de evaluación patológica de estructuras de mampostería, en la ciudad de Guatemala.
- Determinar las variables relacionadas al riesgo sísmico y vulnerabilidad estructural, así como un instrumento de ponderación.
- Correlacionar el instrumento de validación entre las manifestaciones patológicas y el riesgo sísmico en estructuras de mampostería.

HIPÓTESIS

Las patologías que se manifiestan en las edificaciones de mampostería reforzada en la ciudad de Guatemala se correlacionan con el riesgo sísmico.

Las variables por considerar son las manifestaciones patológicas, y relacionarlas con riesgo sísmico de la estructura y su correspondiente vulnerabilidad estructural.

Las más frecuentes a evaluar serían las de origen mecánico, es decir: grietas, fisuras y deformaciones; las cuales son manifestaciones comunes en estructuras de mampostería reforzada.

INTRODUCCIÓN

El propósito de esta investigación es determinar qué patologías o manifestaciones están correlacionadas con el riesgo sísmico en estructuras de mampostería reforzada en la ciudad de Guatemala. Frecuentemente se confunden las manifestaciones que representan un peligro y aumentan la vulnerabilidad antes sismo de las edificaciones, con patologías o manifestaciones no estructurales, las cuales no serían significativas al momento de un evento sísmico.

La palabra patología, por su origen etimológico, procede de los vocablos griegos *pathos*, el cual significa enfermedades y *logos*, que significa estudio; es decir, la evaluación patológica de una estructura corresponde a evaluar los daños que tiene la misma, resultado de enfermedades de distinto origen, las cuales son una muestra de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones, así como del riesgo sísmico.

En Guatemala, no existe una metodología vigente para este tipo de evaluaciones. Este problema se agrava ante la falta de especialización para el diagnóstico de las distintas manifestaciones. Por lo anterior, se pretende generar interés en este tipo de evaluaciones, así como formar un antecedente para documentos relacionados a la intervención, reparación, restauración o rehabilitación de las estructuras, según el grado de daño que presente la edificación. La normativa vigente de diseño estructural, la cual no es de carácter obligatoria, corresponde a la Norma de Seguridad Estructural de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), y está desarrollada principalmente para edificaciones nuevas, por lo que la responsabilidad en la

evaluación de una estructura antigua recae principalmente en la experiencia del evaluador.

Será beneficioso entonces, establecer el procedimiento general y documentos auxiliares de evaluación de las patologías indicadoras de riesgo sísmico, pues implica una estandarización de criterios y motiva a la especialización en ingeniería forense, lo cual; por ser tan complejo, tiene distintos enfoques, debido a que cada profesional en base a la propia experiencia puede darle a la evaluación de las edificaciones y de sus elementos estructurales, diferente nivel de vulnerabilidad.

El diseño de la investigación es correlativo, pues busca relacionar qué manifestaciones patológicas son indicadores del riesgo sísmico, separándolas de las manifestaciones arquitectónicas o no estructurales.

En el capítulo uno, se muestran los conceptos generales de la patología de la edificación, clasificándolas según su origen, las cuales pueden aparecer por estos motivos: el primero sería por defectos constructivos; productos de un mal diseño, mala configuración estructural, materiales deficientes o errores en la ejecución. El segundo motivo es por daños, resultado de la ocurrencia de algún fenómeno natural, uso inadecuado o cambio de uso de la edificación; y el tercero es el deterioro, la cual puede verse afectado debido al tiempo, clima, exposición o contacto con sustancias químicas, fuego, ambientes dañinos u otros.

En el segundo capítulo, se tratarán los síntomas de estas patologías, tales como fisuras, grietas, deformaciones, humedades, manchas, corrosión, erosión, desprendimientos, entre otros.

En el tercer capítulo se plantean los lineamientos generales y las variables de riesgo sísmico y vulnerabilidad estructural.

En el cuarto capítulo presenta una revisión y adaptación de los procedimientos existentes para evaluación patológica de estructuras, poniendo énfasis en la evaluación de patologías indicadoras de riesgo sísmico estructural para edificaciones de mampostería. Se espera definir y aplicar la metodología en estructuras reales y definir si determinadas patologías son indicadores de riesgo sísmico.

En el último capítulo se dan los resultados de esta evaluación, correlacionando las manifestaciones patológicas con riesgo sísmico y vulnerabilidad estructural.

1. PATOLOGÍAS EN EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA

1.1. Sistemas estructurales básicos

De acuerdo con las Norma de Seguridad Estructural para Guatemala NSE 3: Diseño Estructural de Edificaciones, las estructuras pueden clasificarse en.

1.1.1. Sistema E1- Estructura de marcos simples

Es un sistema integrado por la unión de vigas y columnas, que soportan tanto la carga vertical, así como las cargas horizontales (sismo y viento). Deben estar unidos entre sí por losas que realizan la función de diafragmas. El material de los marcos puede ser concreto reforzado, acero estructural o incluso madera. (AGIES, 2018c, p. 1)

1.1.2. Sistema E2-Estructura de muros (estructura tipo cajón)

Es un sistema sostenido por muros de carga conectados con losas actuando como diafragmas. Los muros soportan tanto la carga vertical, así como también la carga horizontal.

1.1.3. Sistema E3- Estructura combinada

Es un sistema que combina el E1 y el E2, conectados por diafragmas horizontales. La ventaja del sistema es que el sismo puede ser resistido por los dos elementos (muros y marcos) en función a su rigidez. En ocasiones, los

marcos pueden excluirse del sistema que resiste el sismo y únicamente resistir la carga vertical.

1.1.4. Sistema E4- Sistema dual

“Es un sistema E3 con dos líneas de defensa: Muros con capacidad sismo resistente y los marcos con un 25 % de capacidad adicional” (AGIES, 2018c, p. 2).

1.1.5. Sistema E5- Péndulo invertido

Sistemas con masas concentradas en la parte superior, por ejemplo, tanques elevados y estructuras de gasolinerías.

Esta investigación analiza el sistema constructivo de mampostería de bloques de concreto confinada por mochetas y soleras, que corresponde al sistema E-2 (estructura tipo cajón); el cual, en la mayoría de las ocasiones es conocida como construcción tradicional, de levantado de block, de muros de carga o simplemente de mampostería reforzada, tal como se le denominará en este documento.

1.2. Generalidades de mampostería reforzada

En Guatemala es común la construcción de edificaciones mediante el uso y empleo de la mampostería reforzada, debido a las características de resistencia y a la trabajabilidad del material. Sin embargo, por su facilidad constructiva, también es común la construcción empírica de este sistema estructural; la cual no se presenta en otros sistemas (por ejemplo, marcos), en donde la supervisión,

cálculo y diseño de los elementos requiere el conocimiento que un profesional de la ingeniería adquiere en años de estudio.

1.2.1. Elementos de mampostería reforzada

Según la Cartilla de Diseño Estructural de Mampostería Reforzada para Albañiles y Constructores de AGIES (2015a), la mampostería reforzada es la construcción con levantado de block y reforzado con mochetas y soleras.

1.2.1.1. Levantado de block

De acuerdo con AGIES (2015a), “el block (bloque de concreto) es el material más utilizado en Guatemala para construir viviendas” (p. 19). Estos elementos, así como sus valores de resistencia están indicados en la norma COGUANOR NTG 41054.

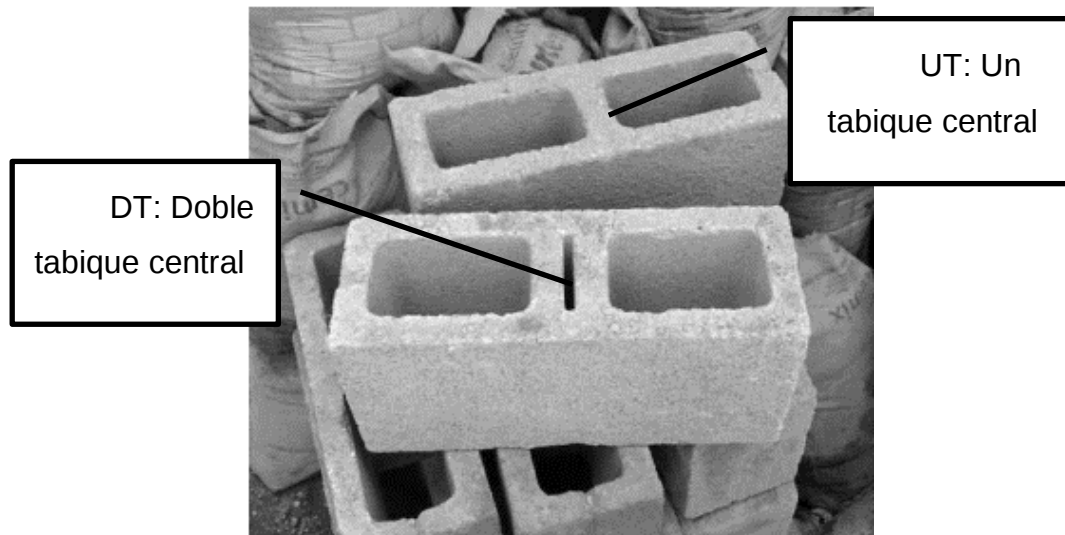
Según AGIES (2014):

Existen dos tipos de block de dos celdas, cuyas variantes son:

- Block tipo UT (Un tabique central)
- Block tipo DT (Dos tabiques centrales)

Prácticamente, todos los blocks que se fabrican de forma artesanal en Guatemala, son de tipo DT, con el objetivo de no fabricar mitades de block, ya que los este tipo de elementos puede partirse a la mitad. (p. 32)

Figura 1. Tipos de block



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AGIES (2014). *Manual de diseño sismo-resistente simplificado mampostería de block de concreto para Guatemala*.

Según AGIES (2014) “los autores del manual favorecemos el block DT que, con su doble tabique, estamos convencidos que se comporta mejor, especialmente con los blocks de resistencias menores...es más fácil hacer funcionar bien un block DT que un block UT” (p. 35).

La propiedad que deben cumplir todas las unidades de block es su resistencia. Existen dos tipo de resistencia, según sea calculada sobre el área neta (el área del block sin las celdas) o sobre el área bruta (largo por ancho del block). “Si el área neta no llega al 50 % del área bruta, el block no sirve porque las celdas serían muy grandes y el grueso de las paredes de block se volvería muy delgado” (AGIES, 2014, p. 36).

La resistencia con que se debe fabricar los blocks está especificada en la norma COGUANOR NTG 41054, que para identificarlos y distribuirlos indica

mediante distintos colores del sello del fabricante como indicador de su resistencia.

La norma NTG 41054 solo reconoce bloques clase A,B,C. Sin embargo las industrias comercializan una cuarta clase de block que tiene el 75 % de la resistencia del bloque clase C denominado clase D. La norma no distingue entre las dos configuraciones llamadas UT Y DT pero para el diseño y práctica constructiva, AGIES ha considerado que es útil distinguirlos y separarlos en este manual. (AGIES, 2014, p. 36)

Tabla I. **Resistencia de block**

Cuadro de resistencias y pesos aproximados			Área neta	Área bruta	Block DT		Block UT	
Clase	Color	Capacidad de carga	Resistencia mínima (Kg/Cm ²)	Resistencia mínima (Kg/Cm ²)	Peso (Lb) Block De 14	Peso (Lb) Block De 19	Peso (Lb) Block De 14	Peso (Lb) Block De 19
Clase A	Azul	Superior	140	75	32 a 35	37 a 41	28 a 30	34 a 37
Clase B	Rojo	Alta	100	50	27 a 31	33 a 36	25 a 27	30 a 33
Clase C	Verde	Media	66	35	24 a 27	29 a 33	21 a 23	25 a 29
Clase D	Negro	Baja	50	25	21 a 23	24 a 28	18 a 20	21 a 24

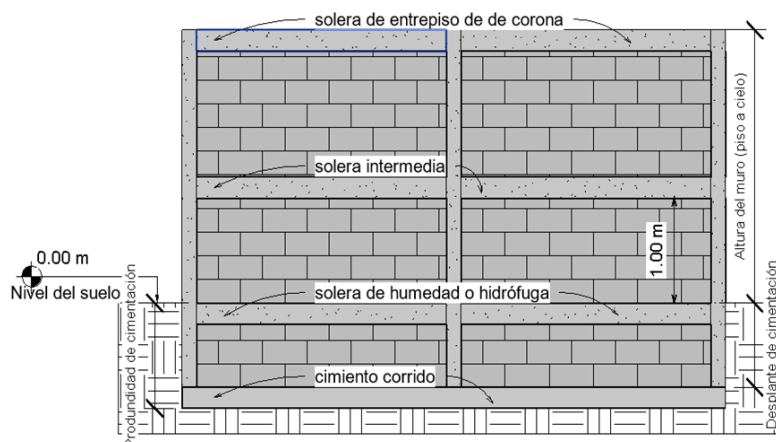
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AGIES (2014). *Manual de diseño sismo-resistente simplificado mampostería de block de concreto para Guatemala.*

1.2.1.2. Refuerzo con mochetas y soleras

Los refuerzos que limitan las estructuras de mampostería se clasifican de la siguiente manera:

- Mochetas principales: son elementos verticales que enmarcan la mampostería. Regularmente se colocan en esquinas o intersecciones. En nuestro medio son conocidas como “columnas” al tener un refuerzo de cuatro varillas longitudinales, lo cual es un término mal utilizado pues las columnas son elementos que forman parte de un marco estructural (sistema E1) y que reciben las cargas transmitidas por las vigas.
- Soleras: son elementos horizontales que limitan el levantado, y según su elevación puede ser de humedad, intermedia o solera final.
- Mochetas intermedias: son elementos verticales que ayudan a reducir el espaciamiento entre las principales, además disminuye el tamaño de la grieta en diagonal, característica de la acción de sismo. Podrían ser sustituidas por pines fundidos dentro de las celdas de los bloques.

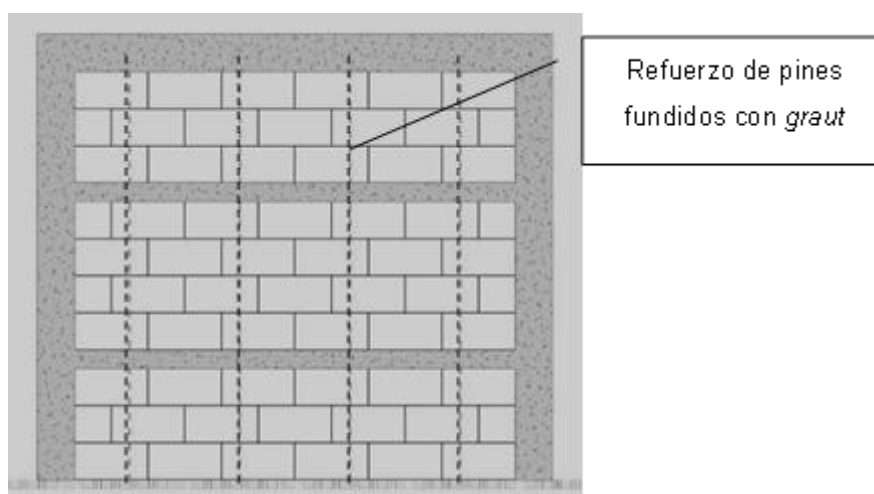
Figura 2. **Elementos de una pared de mampostería**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AGIES (2019). *Manual de evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería reforzada y no reforzada.*

A este sistema confinado (limitado) por refuerzos verticales y horizontales se le denominará en este documento de forma invariable como mampostería confinada o mampostería reforzada. En ocasiones, y especialmente cuando la mampostería es de ladrillo, puede reforzarse internamente mediante pines fundidos con concreto fluido, conocido como *graut*. A este refuerzo se le conoce como refuerzo interbloque.

Figura 3. **Refuerzo interbloque**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AGIES (2019). *Manual de evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería reforzada y no reforzada*.

Según Monzón (2014), a partir del terremoto de 1976 en Guatemala, por la destrucción masiva de estructuras de adobe y bajareque, hay un proceso gradual de sustitución de técnicas y sistemas constructivos antiguos hacia mampostería de block con refuerzo. Por eso es común observar este tipo de edificaciones, en donde sobresale la retícula formada por mochetas y soleras.

Sin embargo, como este tipo de construcción es empírica y ante la idea que el sistema es noble capaz de resistir las solicitaciones verticales y horizontales;

tiende a excederse en el uso de este y a pensar que puede prestarse a criterio del constructor. Sin embargo, por experiencia reciente en el terremoto del año 2012, el cual impactó principalmente el departamento de San Marcos, se puso en manifiesto que la estructura debe cumplir con algunos criterios básicos de configuración estructural, así como debe construirse con materiales certificados.

1.3. Patologías en mampostería confinada

En el documento *Manual de Patología de Edificación*, los autores indican que las construcciones en general tienen la característica de ser un proceso en el que el producto final, o sea el edificio, se va elaborando en el mismo lugar en donde será utilizado (López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño y Ubeda, 2004). La gestión de calidad se vuelve muy compleja, pues la estructura de mampostería confinada como producto final combina materiales fabricados fuera de obra, como los bloques, acero de refuerzo y otros, con materiales fabricados en obra, como el concreto o mortero de pega.

Figura 4. **Condiciones básicas para la calidad de la edificación**

FUNCIONALIDAD	SEGURIDAD	HABITABILIDAD
• Utilización de funciones previstas • Accesibilidad • Acceso a servicios	• Seguridad estructural • Seguridad antes eventos (incendio, sismo, otros)	• Gestión de residuos y medio ambiente • Ahorro de energía • Aspectos funcionales

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño y Ubeda (2004). *Manual de patología de edificación*.

Los fallos que, en cuanto a la calidad, pueda producirse en cualquier tramo del proceso, desde la concepción y diseño del producto por su embarcación o construcción y acabando con el uso y mantenimiento del mismo, tienen influencia, en diferente medida, sobre el resultado del funcionamiento de su vida útil. (López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño y Ubeda, 2004, p. 14)

Según lo anterior, para evaluar la calidad de las edificaciones, se procede al estudio patológico. La palabra patología viene de los vocablos *pathos*, que significa enfermedad y *logos* que significa estudio. La adaptación del vocablo a la construcción sería la manifestación de falla, daño o lesión en las edificaciones o construcciones; o bien puede definirse como “el estudio de los procesos degenerativos tipificados en la alteración de los materiales y elementos constructivos” (López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño y Ubeda, 2004, p. 16).

Para justificar la adaptación del término clínico patología a las edificaciones, se hace referencia a un autor, el cual afirma que patología no es el conjunto de daños, fallos o lesiones del edificio. Un edificio no tiene patologías sino daños, fallos, lesiones, u otras cosas análogas, como anomalías, deficiencias, vicios y cosas así (Lasheras, 2006).

Sin embargo, en la mayoría de los documentos consultados en las referencias bibliográficas, se utiliza el término patología o patología de la edificación para definir los problemas y manifestaciones en edificaciones. En la presente investigación se utilizará el término clínico patología adaptado a las distintas manifestaciones (daños, lesiones, fallas) y al conjunto de ellos que se presentan en edificaciones de mampostería reforzada.

Por otra parte, en el artículo *Algunos conceptos básicos en patología de la edificación*, de Lasheras (2006), se define que el problema patológico puede expresarse según los siguientes puntos de vista.

1.3.1. Punto de vista funcional

Desde el punto de vista funcional los problemas patológicos se refieren a los fallos o al colapso de la edificación, los cuales se describe a continuación:

- Los fallos: los cuales también pueden denominarse las fallas o simplemente fallas, se definen como la pérdida de las prestaciones del edificio. Estos fallos deben ser parciales. Según Lasheras (2006), algunos fallos frecuentes son:
 - De accesibilidad
 - De estabilidad
 - De estanquidad
 - De instalaciones
- El colapso: es la pérdida de las prestaciones, pero en este caso sería para toda la edificación.

1.3.2. Punto de vista material

Según Lasheras (2006), desde el punto de vista material los problemas patológicos se clasifican como defectos y lesiones, los cuales se describen según lo siguiente.

- Los defectos: son faltas a la calidad desde su origen, antes del uso de la edificación. Por ejemplo: falta de planos de un proyecto, mal proceso constructivo, mala calidad de los materiales, entre otros. Estos defectos se originan por:
 - Insuficiencias (de materiales, de planificación, controles y otros)
 - Agresiones (fuentes externas que podría dañar a la edificación)

- Las lesiones: al igual que los defectos, son faltas a la calidad; la diferencia es el momento en el que se presenta, pues las lesiones se manifiestan después del inicio de uso de la edificación. Las lesiones se definen por los siguientes parámetros básicos:
 - Tipo
 - Ubicación
 - Forma
 - Intensidad
 - Extensión
 - Cronología

1.4. Clasificación de patologías o lesiones

Según Enciclopedia Broto (2000) “las lesiones son cada una de las manifestaciones de un problema constructivo, es decir el síntoma final del proceso patológico” (p. 32).

Es importante conocer, como punto de partida del estudio, los tipos de lesiones que existen, ya que en muchas ocasiones pueden ser de distinto origen, pero se confunden entre sí. También es conveniente aislar las lesiones primarias,

que surgen en primer lugar, de las lesiones secundarias que aparecen como consecuencia de las primeras.

Según Enciclopedia Broto (2000), las lesiones pueden clasificarse en:

- Lesiones físicas: producidas por fenómenos como humedad, erosión y suciedad.
- Lesiones mecánicas: pueden ser deformaciones, grietas, fisuras, desprendimiento y erosiones mecánicas. En esta investigación, este tipo de patologías son las que se relacionan con vulnerabilidad estructural y riesgo sísmico en edificaciones.
- Lesiones químicas: su origen suele ser la presencia de sales y ácidos. Se subdividen en: Eflorescencias, oxidación y corrosión, organismos y erosiones.

Enciclopedia Broto (2000), establece que en un proceso patológico:

El primer trabajo fundamental es la realización del estudio histórico del mismo para determinar la época de construcción, estilo arquitectónico y tipología utilizada, fases en que se ha realizado, sistemas de construcción, modificaciones, materiales y dosificaciones utilizadas, origen y fuente de dichos materiales. (p. 39)

1.5. Causas de las patologías o lesiones

De acuerdo con del Río (2003), las causas que pueden motivar a la evaluación patológica en una estructura son:

- Errores de diseño
- Errores de cálculo
- Errores de ejecución
- Baja calidad de los materiales
- Problemas de durabilidad (degradación de los materiales)
- Uso incorrecto de la edificación
- Acciones imprevisibles como terremotos, fuego y otros
- Remodelación o cambio de uso de la edificación

La siguiente tabla muestra la causa principal de patologías de distinto tipo en edificación, sobresaliendo como causas principales la mala planificación y ejecución.

Tabla II. Causas de las patologías en edificación

País	Número de casos	Mala Planificación	Mala Ejecución	Mala calidad de materiales	Falta de mantenimiento	Causas naturales
Brasil	527	18 %	52 %	7 %	13 %	0 %
Alemania	1570	40 %	29 %	15 %	9 %	7 %
Bélgica	3000	49 %	24 %	12 %	8 %	7 %
Dinamarca	601	37 %	22 %	25 %	9 %	7 %
Francia	10000	37 %	51 %	5 %	7 %	0 %
R. Unido	510	49 %	29 %	11 %	10 %	1 %
Rumania	832	38 %	20 %	23 %	11 %	8 %
España	586	41 %	31 %	13 %	11 %	3 %

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de del Río (2003). *Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación.*

Además, tal como puede observarse en la siguiente tabla, el síntoma fundamental para distintas causas es la fisuración o el agrietamiento:

Tabla III. **Causas y síntomas comunes en evaluación patológica**

Causa principal	Principales síntomas observados		
	Fisuras	Fragmentación	Entumecimiento
1. Defectos de Ejecución y construcción	X		
2. Retracción durante el fraguado	X		
3. Efectos Térmicos (interna y externa)	X	X	
4. Absorción de agua por el concreto	X		
5. Corrosión de armaduras	X	X	
6. Reacciones químicas	X	X	X
7. Ataque de agentes atmosféricos	X	X	
8. Acciones de impacto, sismo, fuego	X	X	
9. Erosión (Abrasión)	X	X	
10. Mal detallado de refuerzo	X	X	
11. Errores de diseño y cálculo estructural	X	X	

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de del Río (2003). *Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación.*

El alcance de esta investigación es el de relacionar las manifestaciones en materiales conocidas como lesiones; y en específico, las lesiones mecánicas que dan como resultado fisuras y grietas las cuales se presentan posterior al inicio de uso de las edificaciones de mampostería reforzada. Cabe destacar que, para ser acorde con las distintas bibliografías consultadas, se utiliza la palabra patologías como sinónimo de lesiones, especialmente las que se manifiestan en forma de fisuras o grietas.

A continuación, se define la diferencia entre fisuras y grietas:

- Fisuras: aberturas con ancho inferior a un milímetro y que afectan solo a la superficie del material o del elemento constructivo. Se manifiesta únicamente en el acabado superficial aplicado.
- Grietas: son aberturas de más de un milímetro, afectando todo el espesor del material o elemento constructivo.

En relación con las fisuras y grietas, “la mayoría de las veces su origen y desarrollo son totalmente distintos, a pesar de que la sintomatología siempre sea bastante parecida” (Enciclopedia Broto, 2000, p. 136).

1.6. Medición de fisuras y grietas

Según el artículo *Proceso de diagnóstico de la patología de las cimentaciones*, Basset (2016) menciona que el estudio completo de las grietas y fisuras consta de tres partes:

- La descripción y determinación de su forma y dimensiones
- La representación gráfica de la ubicación, mediante mapas o croquis
- El control de su progresión

Además, en el mismo documento se afirma que “es muy importante realizar el seguimiento es decir, un control de su progresión. Se pueden utilizar varios instrumentos: Testigos, regletas, fisurómetros, pie de rey, dilatómetros, extensómetros” (Basset, 2016, p. 4).

Todos los instrumentos mencionados en el párrafo anterior forman parte de los ensayos no destructivos para la evaluación. López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño y Ubeda (2004), “los ensayos no destructivos pueden aportarnos datos suficientes, o bien indicarnos dónde y qué tipo de ensayos destructivos debemos realizar” (p. 69).

A continuación se ejemplifican algunos de ellos:

- Testigos: solo proporcionan indicaciones a nivel cualitativo (rompen si la grieta se abre) pero no informan de la magnitud de los movimientos ni de

su naturaleza. Para comprobar la fisuración del testigo, es conveniente el uso de lupas que nos ayudan a apreciar las pequeñas fisuras. Los testigos consisten en pequeñas tiras de yeso fresco (o de un material similar), el cual se coloca sobre la grieta, alizando la superficie y anotando la fecha y hora de la colocación.

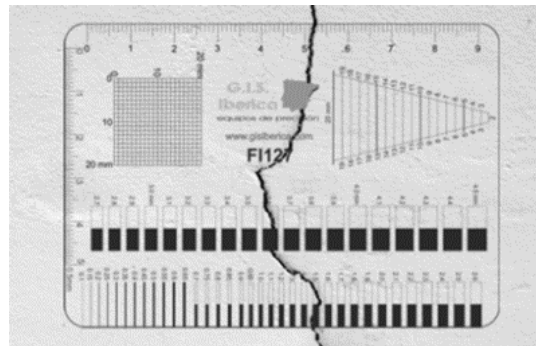
Figura 5. **Testigo de yeso**



Fuente: Hurtado (2020). *Reparar grietas y fisuras en paredes*. Consulta el 20 de octubre de 2021. Recuperado de <https://quelepasaamicasa.com/patologias/grietas-y-fisuras/>.

- Regletas, o fisurómetros de regleta: únicamente se colocan sobre la grieta para saber la medida. Regularmente son fabricados en acrílico.

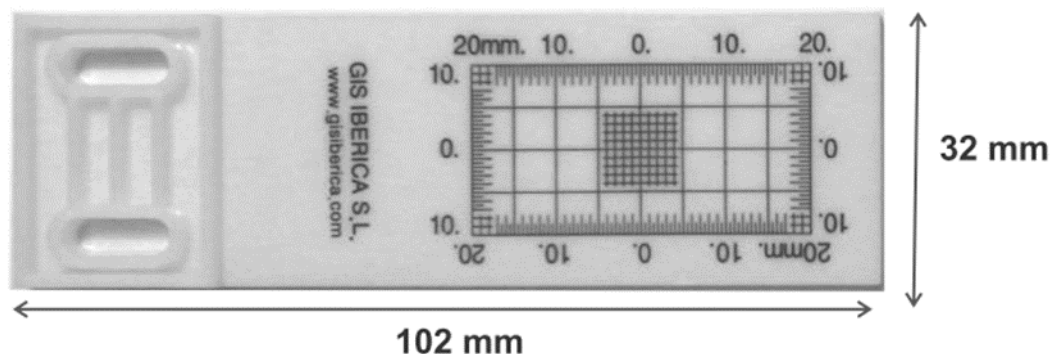
Figura 6. **Fisurómetro de regleta**



Fuente: G.I.S.Ibérica. (2018). *Fisurometros*. Consultado el 20 de octubre de 2019. Recuperado de <http://www.gisiberica.com/fisurometros/FI127.html>.

- Los fisurómetros: permiten medir el ancho de las grietas con precisión de 0.1 mm. Son unas regletas que tienen un diseño para el seguimiento de las fisuras. Se fijan a la grieta en dirección perpendicular a la misma, tomando mediciones periódicas para saber si la grieta ha aumentado.

Figura 7. **Fisurómetro con retícula**



Fuente: G.I.S.Ibérica. (2018). *Fisurometros*. Consultado el 20 de octubre de 2019. Recuperado de <http://www.gisiberica.com/fisurometros/FI127.html>.

- El deformómetro o dilatómetro: el cual es un aparato que consta de un extensómetro que se fija en los bordes de la fisura.

Figura 8. **Deformómetro**



Fuente: G.I.S.Ibérica. (2018). *Fisurometros*. Consultado el 20 de octubre de 2019. Recuperado de <http://www.gisiberica.com/fisurometros/FI127.html>.

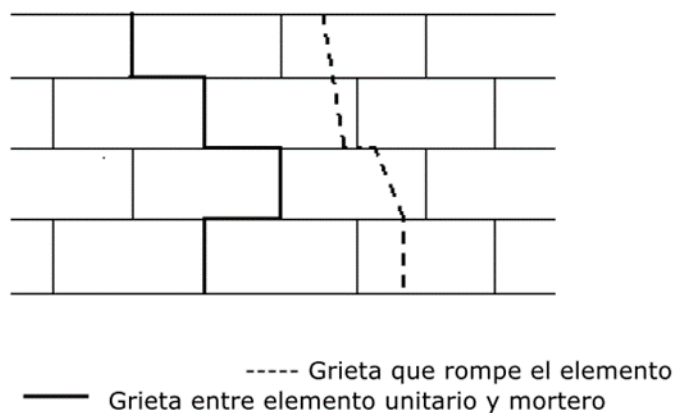
2. MANIFESTACIONES MECÁNICAS EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: EL LENGUAJE DE LAS GRIETAS

2.1. Tipología de las grietas

Las posibles formas de aparición de las grietas o fisuras, se pueden clasificar según lo siguiente:

- Según el material: siguiendo una trayectoria lineal (rompiendo el elemento mampuesto) o mediante una trayectoria que transcurre entre el mortero de pega y el elemento de mampostería.

Figura 9. Grietas según el material



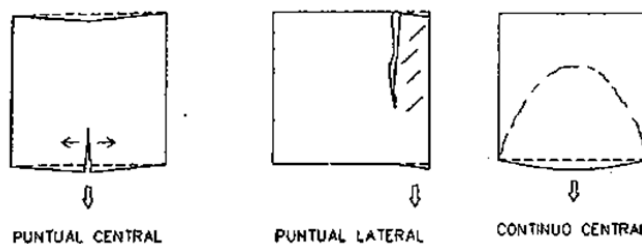
Fuente: Monjo y Maldonado (2004). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*.

- Según la causa
 - Causas directas, tales como acciones mecánicas, elementos en contacto, deformación de losas, asientos diferenciales, y acciones higrotérmicas.
 - Causas indirectas, como deficiencias del proyecto, uniones constructivas, tabiques débiles, fallas en juntas de dilatación.
- Según su movilidad: lo cual se revierte si la grieta cambia su longitud constantemente o si se queda estática, del mismo tamaño en la que se generó.

Según Monjo y Maldonado (2004), “las grietas son normales o perpendiculares al esfuerzo que las provoca” (p. 29). Se pueden enumerar las siguientes causas de agrietamiento:

- Por asentamiento: el cual puede ser puntual o continuo, tal como se muestra en la figura.

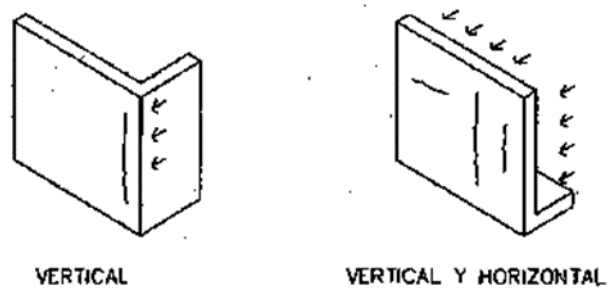
Figura 10. Grietas por asentamiento



Fuente: Monjo y Maldonado (2004). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*.

- Por empuje: el cual puede ser empuje de tierra, o de elementos como losas u otros elementos.

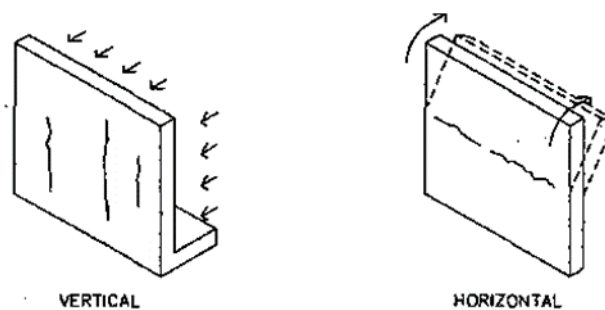
Figura 11. **Grietas debido a empuje**



Fuente: Monjo y Maldonado (2004). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*.

- Por acciones mecánicas: como empujes, rotación o pandeo.

Figura 12. **Grietas debido a acciones mecánicas**



Fuente: Monjo y Maldonado (2004). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*.

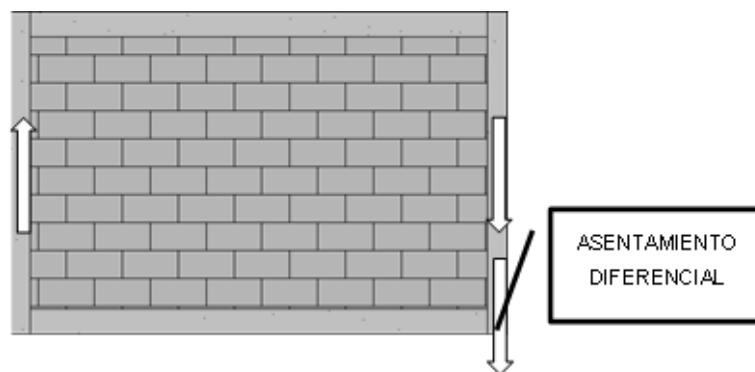
2.2. Grietas debido a movimientos del suelo

Según Monjo y Maldonado (2004) , establece que los asentamientos "son los que se producen de forma generalizada en todos los puntos de cimentación del edificio" (p. 47). También menciona que un asentamiento consiste en un movimiento de descenso del plano de apoyo ya que el suelo se deforma bajo carga deformación que, salvo en casos de suelos con características especiales, se estabiliza al cabo de un tiempo si no aumentan las cargas. Por esto todos los edificios se asientan en mayor medida en sus primeros años.

Así también, los autores Monjo y Maldonado (2004), presentan el proceso general de la aparición de grietas, la cual se describe a continuación:

- Primero: se da un asentamiento en el extremo inferior derecho del muro.
- Segundo: se forma una fuerza en el refuerzo vertical (mocheta) del lado derecho. En la mocheta izquierda se genera otra fuerza, intentando impedir el movimiento.

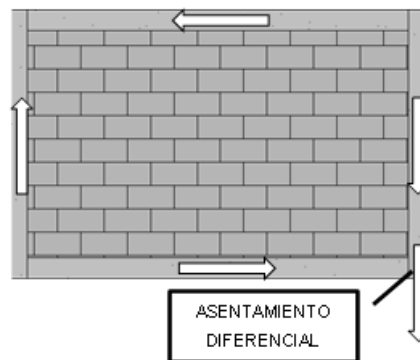
Figura 13. **Asentamiento diferencial y esfuerzos**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Monjo y Maldonado (2004). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*.

- Tercero: se genera una rotación derivada del par de fuerzas del paso anterior. La rotación sería en el sentido de las agujas del reloj. Para que la estructura esté en equilibrio, se generan fuerzas en las soleras intentando girar en sentido contrario a las agujas del reloj.

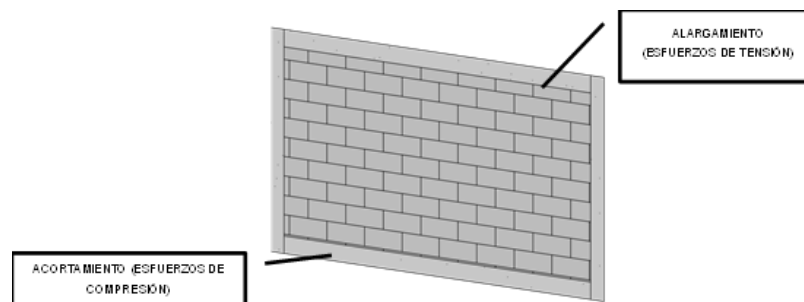
Figura 14. **Equilibrio de fuerzas por asentamiento**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Monjo y Maldonado (2004). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*.

- Cuarto: se presenta una distorsión por el efecto de las fuerzas.

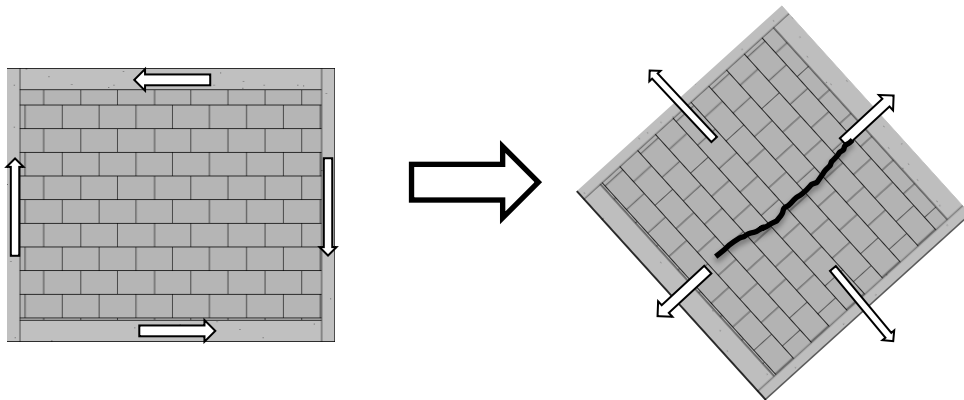
Figura 15. **Distorsión del muro**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Monjo y Maldonado (2004). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*.

- Quinto: los esfuerzos en el perímetro del muro, se traduce a esfuerzos principales oblicuos, inclinados a cuarenta y cinco grados con respecto a la horizontal.

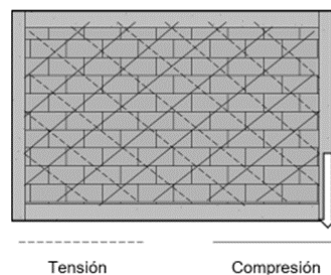
Figura 16. **Esfuerzos principales**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Monjo y Maldonado (2004). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*.

- Sexto: se generan esfuerzos de tensión y compresión a cuarenta y cinco grados.

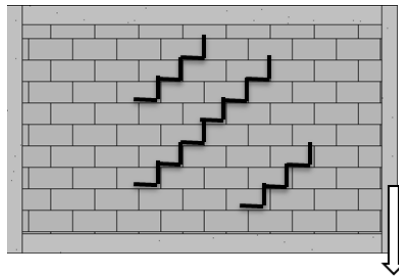
Figura 17. **Esfuerzos de tensión y compresión a 45 grados**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Monjo y Maldonado (2004). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*.

- Séptimo: los bloques de concreto tienen más resistencia a compresión, por lo que las grietas iniciales son perpendiculares al esfuerzo no resistido, que es el esfuerzo de tensión. En muchas ocasiones, las grietas se forman en las juntas del mortero de pega y el block, pues presentan menor resistencia y se ven afectadas por la adherencia.

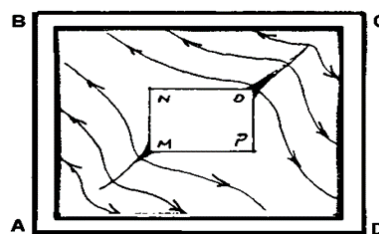
Figura 18. **Grietas perpendiculares al esfuerzo de tensión**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Monjo y Maldonado (2004). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*.

Según López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño, y Ubeda (2004), cuando existen aberturas como ventanas o puertas, se genera una concentración de esfuerzos en las esquinas.

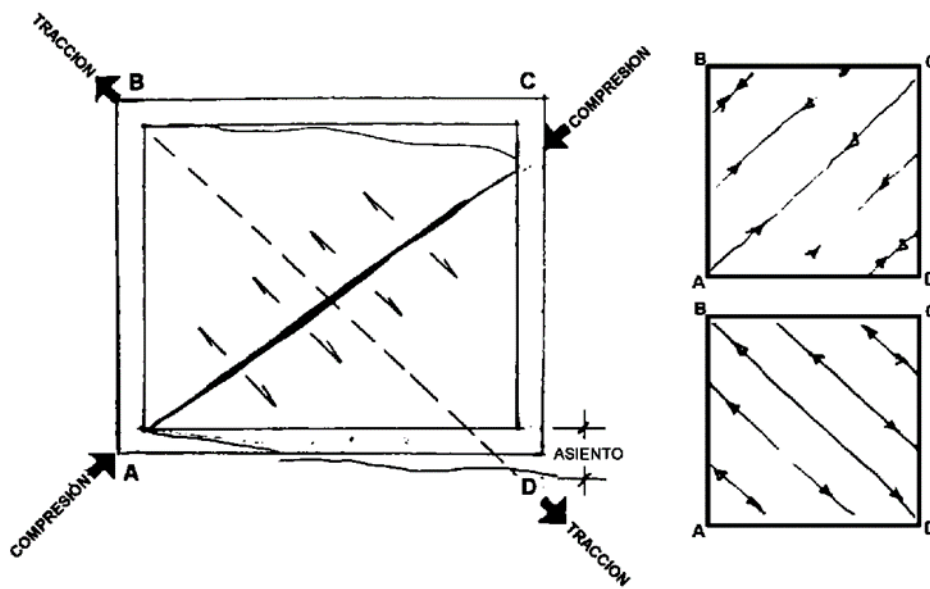
Figura 19. **Grietas en esquinas de aberturas**



Fuente: López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño, y Ubeda (2004). *Manual de patología de edificación*.

Otra forma práctica de entender las grietas a cuarenta y cinco grados es la que establecen López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño y Ubeda (2004), en donde toma en consideración la siguiente figura, para un asentamiento diferencial en el punto inferior derecho, denotado con la letra D.

Figura 20. **Grietas a cuarenta y cinco grados por asentamiento**



Fuente: López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño y Ubeda (2004). *Manual de patología de edificación*.

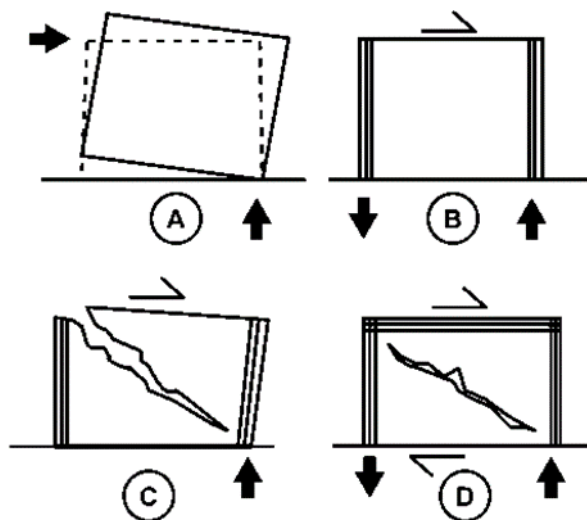
En la representación de la figura imaginemos que se da un asentamiento según la línea CD, por lo que se deforman alejándose los puntos B y D, y acercándose los puntos A y C, y aparece la fisura o grieta inclinada AC. Todas las fibras imaginarias paralelas AC esta comprimidas y más comprimidas cuanto más se acercan a la diagonal. (López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño y Ubeda, 2004, p. 31)

2.3. Grietas debido a movimientos sísmicos

Para entender la importancia del confinamiento de los muros de mampostería, AGIES (2015a) en el documento *cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores*, muestra un muro ante la acción de cargas horizontales, de la siguiente manera:

- El muro se voltea ante la acción sísmica, al no tener mochetas ni soleras.
- Se colocan mochetas en los extremos, y el muro tiene cierta resistencia y ya no se voltea.
- Si se aumenta la fuerza, el muro presenta una rajadura a 45 grados, típica de la acción sísmica.
- Si se coloca una solera de corona, ésta queda encerrada y confinada.

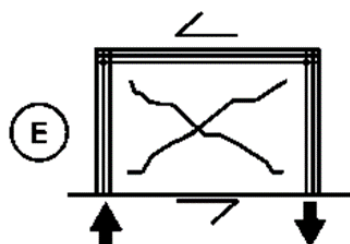
Figura 21. **Comportamiento de muros ante sismos**



Fuente: AGIES (2015a). *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores*.

Además del confinamiento de los elementos de mampostería, la calidad de las unidades de block es fundamental para resistir. “Sí se da un sismo muy fuerte, la pared, aunque esté confinada, todavía se agrieta como en la figura en forma de X” (AGIES, 2015, p. 28).

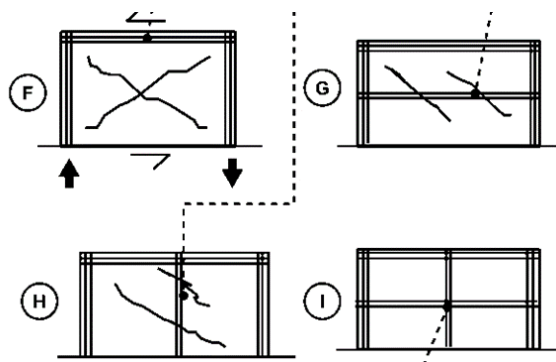
Figura 22. **Grieta en forma de X**



Fuente: AGIES (2015a). *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores.*

Entonces, para evitar que la pared se quiebre, se deben colocar mochetas y soleras intermedias, lo que hace que las grietas se reduzcan, así.

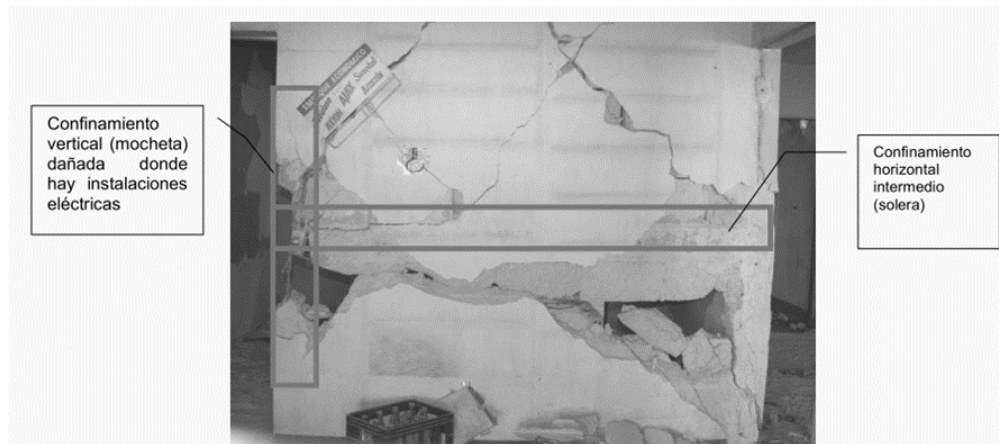
Figura 23. **Uso de mochetas y soleras intermedias**



Fuente: AGIES (2015a). *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores.*

Por lo anterior, se debe atender a los daños estructurales en mampostería confinada debido a los sismos, daños que pueden apreciarse a continuación:

Figura 24. Muro de block dañado por sismo



Fuente: Monzón, Ligorría, Yon, Flores y Gil (2013). *Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012.*

Figura 25. Muro de block con mochetas deficientes

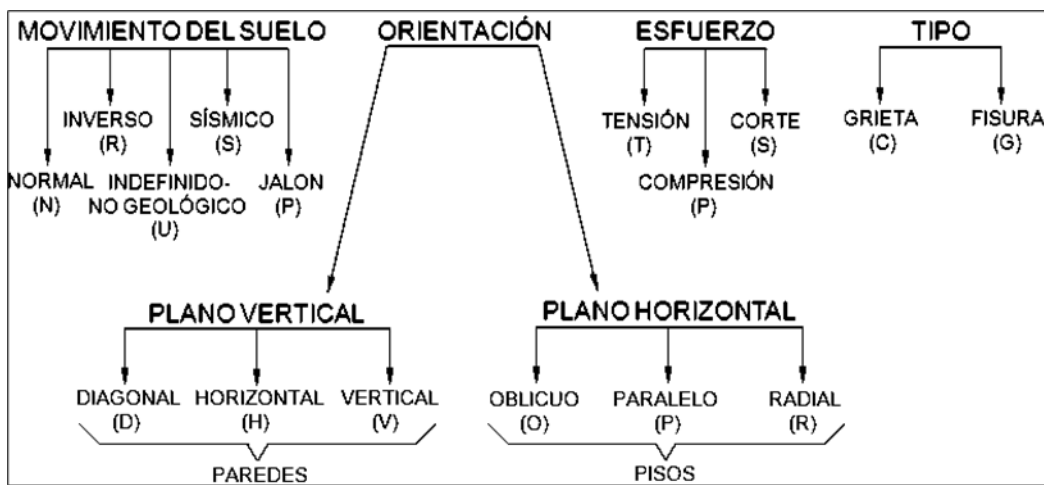


Fuente: Monzón, Ligorría, Yon, Flores y Gil (2013). *Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012.*

2.4. Sistema de clasificación de grietas

En el documento *El lenguaje de las grietas*, Osorio (s.f), propone un sistema de clasificación de grietas, el cual se utilizará en la presente investigación. Este sistema de clasificación servirá para la evaluación de lesiones que se realizará con el instrumento de evaluación, poniendo énfasis en las grietas relacionadas al sismo.

Figura 26. Sistema de clasificación de grietas



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

En las siguientes tablas, se muestra la descripción de cada una de las variables (movimiento del suelo, orientación, tipo de esfuerzo y tipo de rasgo):

Tabla IV. **Nomenclatura para el sentido del movimiento del suelo**

Nomenclatura	Descripción del movimiento
N	Normal. Corresponde al asentamiento del suelo
R	Inverso. Como por ejemplo el caso de incremento por suelos expansivos
P	Deslizamiento de tierras. Viene del vocablo inglés Pull Aparts
S	Los tres movimientos (N,R,P) debido a la acción de sismos.

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Tabla V. **Nomenclatura para la orientación de la grieta en pared**

Nomenclatura	Descripción del movimiento
V	Grietas verticales. Orientadas perpendiculares a la cimentación
D	Grietas diagonales. Orientadas en algún ángulo
H	Grietas horizontales, paralelas a la cimentación

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Tabla VI. **Nomenclatura para el tipo de esfuerzo**

Nomenclatura	Descripción del movimiento
T	Grietas por tensión, se encuentran con separaciones abiertas
S	Grietas por corte, con separaciones muy estrechas o cerradas, acompañadas por un desplazamiento lateral superficial. La letra S es por su vocablo en inglés Shear.
C	Grietas a compresión, generalmente se encuentran cerradas y presentan abombamiento

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Tabla VII. **Nomenclatura para el tipo de rasgo**

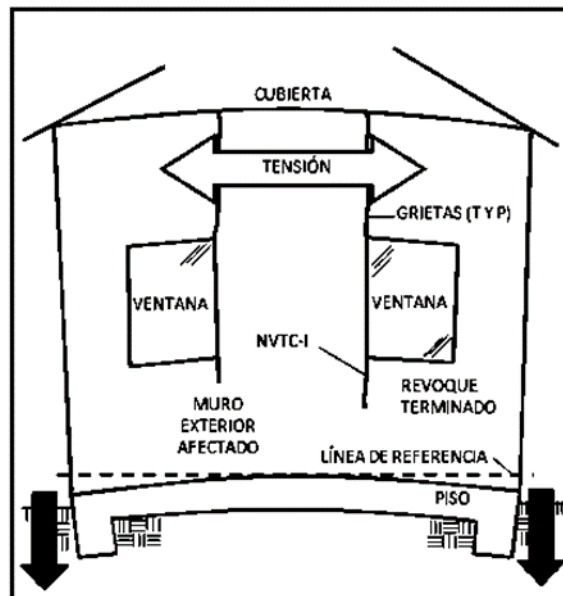
Nomenclatura	Descripción del movimiento
C	Grietas. La C es por su vocablo en inglés Crack
G	Fisuras. La letra G es por su vocablo en inglés Gap, que significa brecha o espacio.
U	Causa geotécnica no definida. La letra U es por su vocablo en inglés Undefined

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

2.4.1. Grietas tipo N y R

A continuación, se presentan distintos modelos de grietas normales (N) e inversas (R), así como variantes según el sistema de clasificación descrito.

Figura 27. **Grieta exterior NVTC-1**



Fuente: Osorio (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

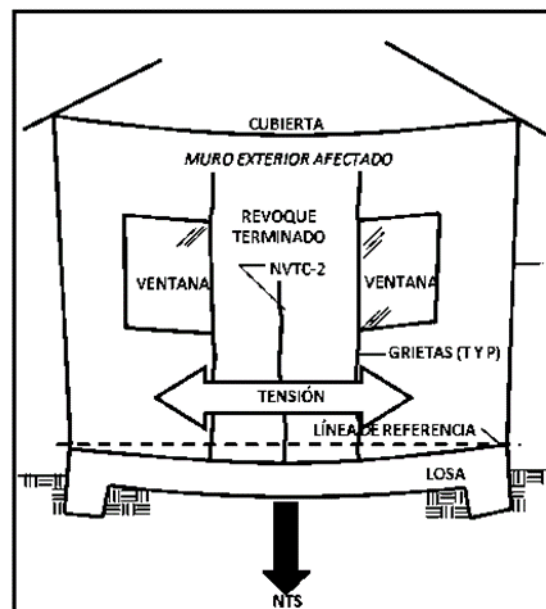
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla VIII. **Nomenclatura grieta NVTC-1**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	N (normal)- asentamiento en esquinas
Orientación de la grieta	V (vertical)
Tipo de esfuerzo	T (tensión)
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 28. **Grieta exterior NVTC-2**



Fuente: Osorio (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

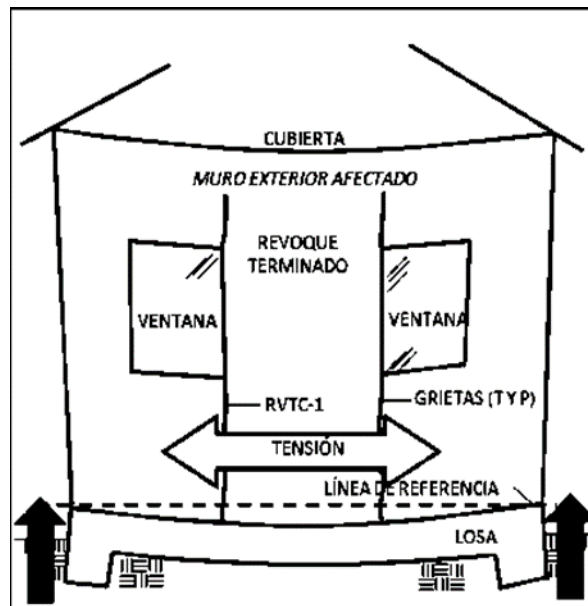
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla IX. **Nomenclatura grieta NVTC-2**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	N (normal)- asentamiento al centro
Orientación de la grieta	V (vertical)
Tipo de esfuerzo	T (tensión)
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 29. **Grieta exterior RVTC-1**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

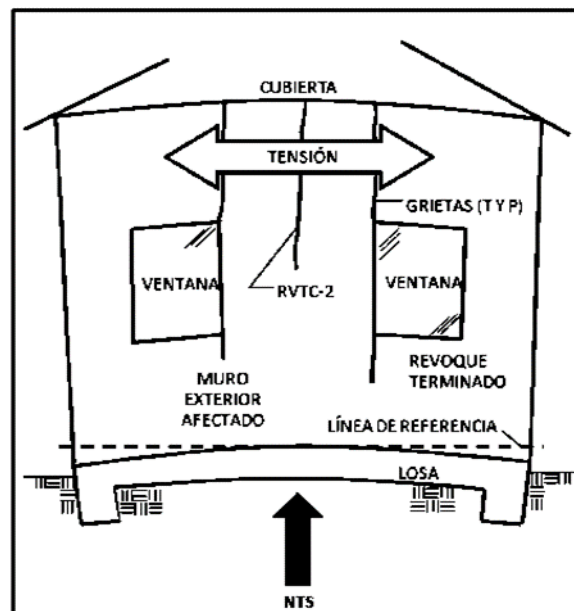
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla X. **Nomenclatura grieta RVTC-1**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	R (inverso)-levantamiento en las esquinas
Orientación de la grieta	V (vertical)
Tipo de esfuerzo	T (tensión)
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 30. **Grieta exterior RVTC-2**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

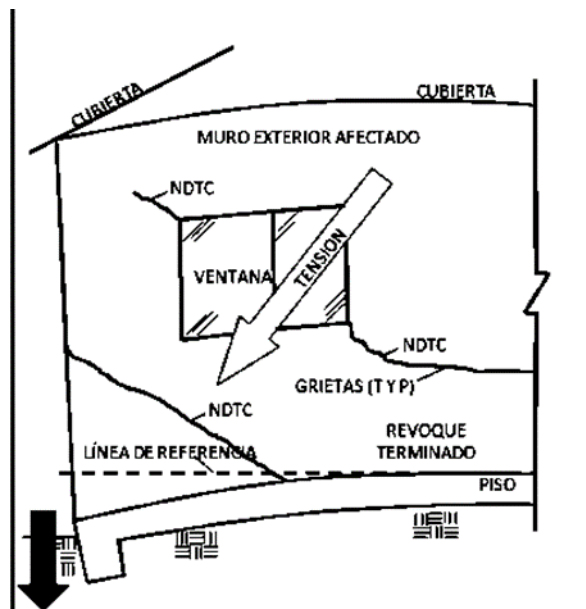
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XI. **Nomenclatura grieta RVTC-2**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	R (inverso)-levantamiento al centro
Orientación de la grieta	V (vertical)
Tipo de esfuerzo	T (tensión)
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 31. **Grieta exterior NDTC**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

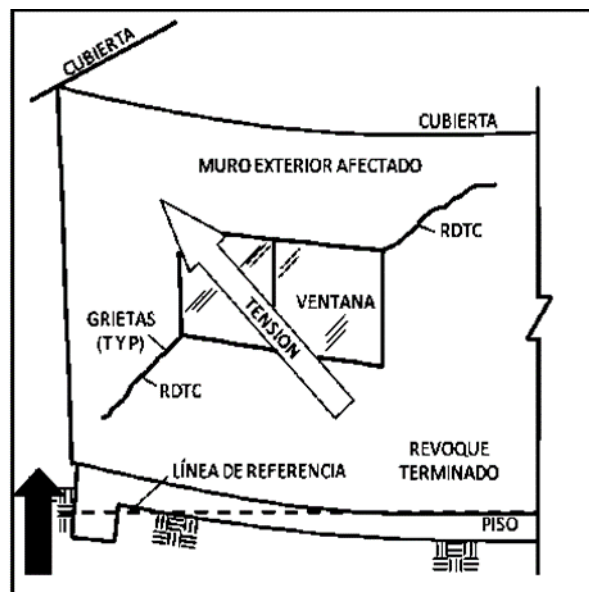
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XII. **Nomenclatura grieta NDTC**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	N (normal)- asentamiento en una esquina
Orientación de la grieta	D (diagonal)
Tipo de esfuerzo	T (tensión)
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 32. **Grieta exterior RDTC**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

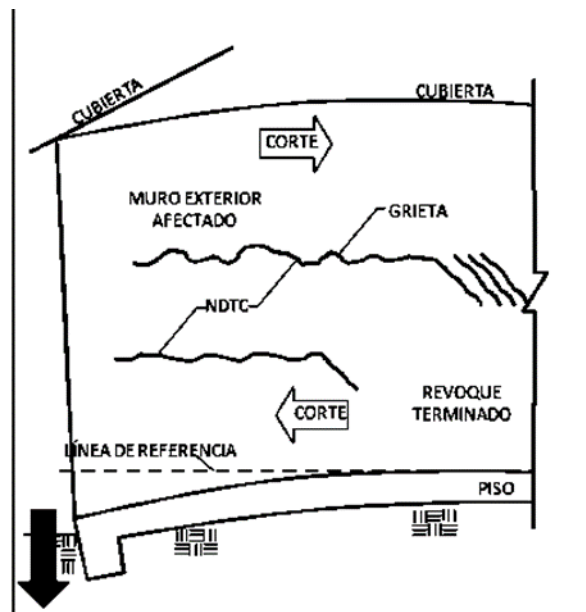
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XIII. **Nomenclatura grieta RDTC**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	R (inverso)- levantamiento en una esquina
Orientación de la grieta	D (diagonal)
Tipo de esfuerzo	T (tensión)
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 33. **Grieta exterior NHSC**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

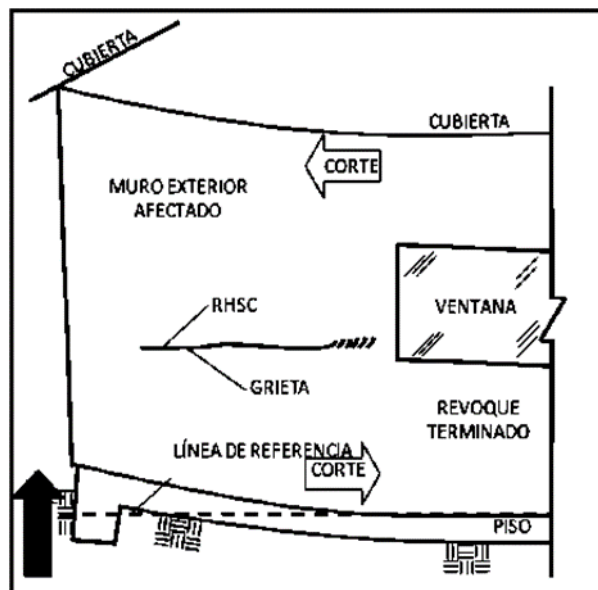
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XIV. **Nomenclatura grieta NHSC**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	N (normal)- asentamiento en una esquina
Orientación de la grieta	H (horizontal)
Tipo de esfuerzo	S (corte)- del vocablo inglés SHEAR
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 34. **Grieta exterior RHSC**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

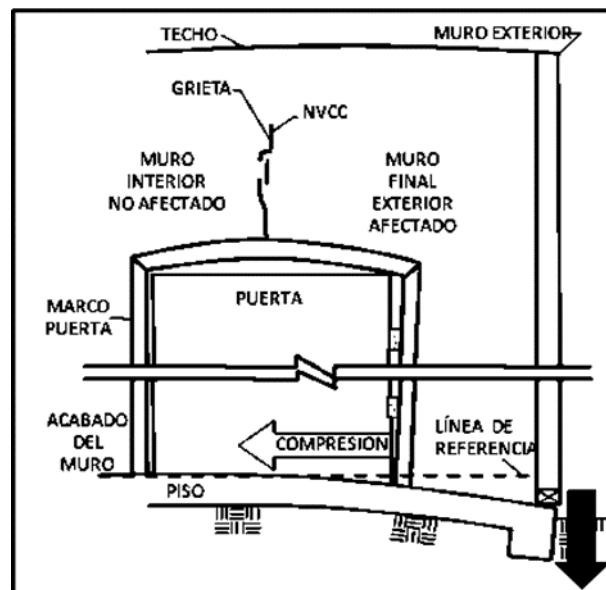
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XV. **Nomenclatura grieta RHSC**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	R (inversa)- levantamiento en una esquina
Orientación de la grieta	H (horizontal)
Tipo de esfuerzo	S (corte)- del vocablo inglés SHEAR
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 35. **Grieta exterior NVCC**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

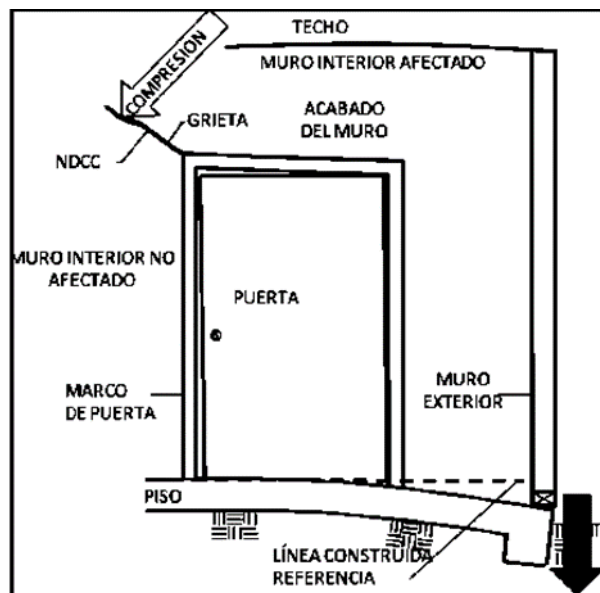
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XVI. **Nomenclatura grieta NVCC**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	N (normal)- asentamiento en una esquina
Orientación de la grieta	V (horizontal)
Tipo de esfuerzo	C (Compresión)
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 36. **Grieta interior NDCC**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

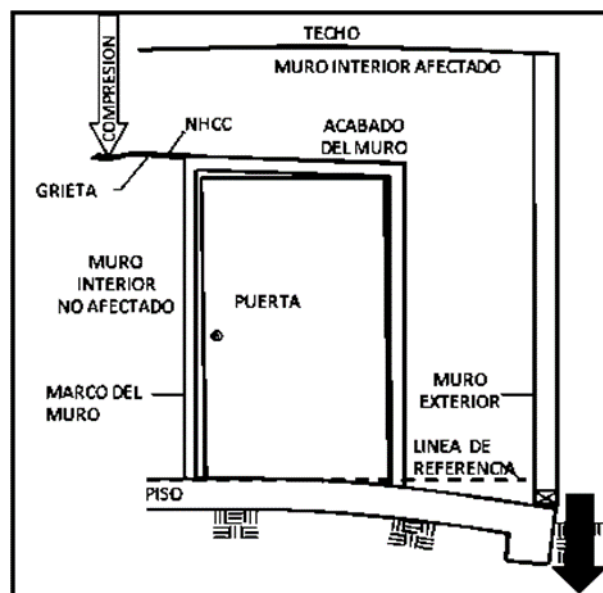
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XVII. **Nomenclatura grieta NDCC**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	N (normal)- asentamiento en una esquina
Orientación de la grieta	D (diagonal)
Tipo de esfuerzo	C (Compresión)
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 37. **Grieta interior NHCC**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

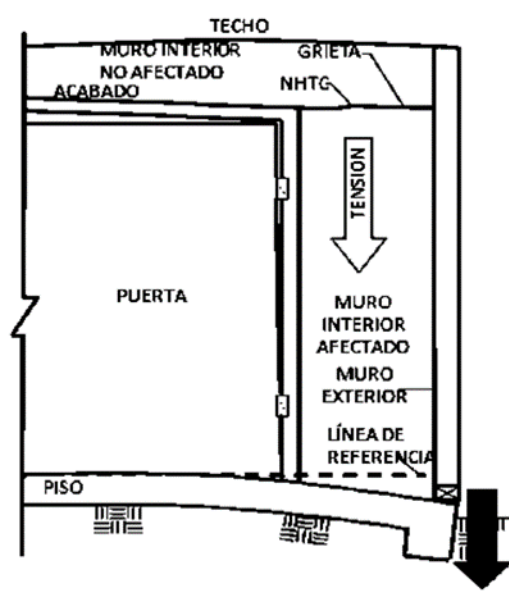
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XVIII. **Nomenclatura grieta NHCC**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	N (normal)- asentamiento en una esquina
Orientación de la grieta	H (horizontal)
Tipo de esfuerzo	C (Compresión)
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 38. **Grieta interior NHTC**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

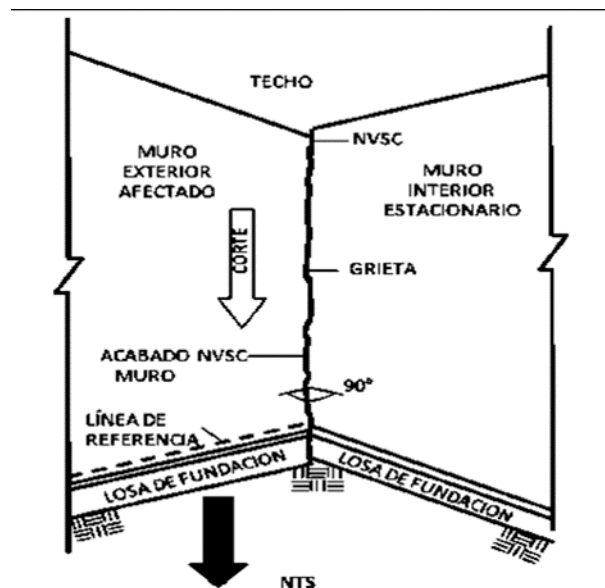
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XIX. **Nomenclatura grieta NHCC**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	N (normal)- asentamiento en una esquina
Orientación de la grieta	H (horizontal)
Tipo de esfuerzo	T (tensión)
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 39. **Grieta interior en esquina NVSC**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XX. **Nomenclatura grieta NVSC**

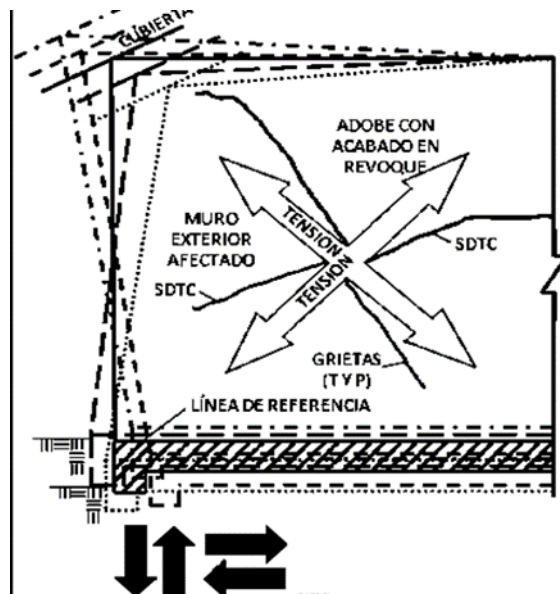
Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	N (normal)- asentamiento en una esquina
Orientación de la grieta	V (vertical)
Tipo de esfuerzo	S (corte)- del vocablo inglés <i>shear</i>
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

2.4.2. Grietas tipo S

Se presentan distintos modelos de grietas, las cuales surgen inmediatamente después de eventos sísmicos importantes.

Figura 40. **Grieta exterior tipo SDTC**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

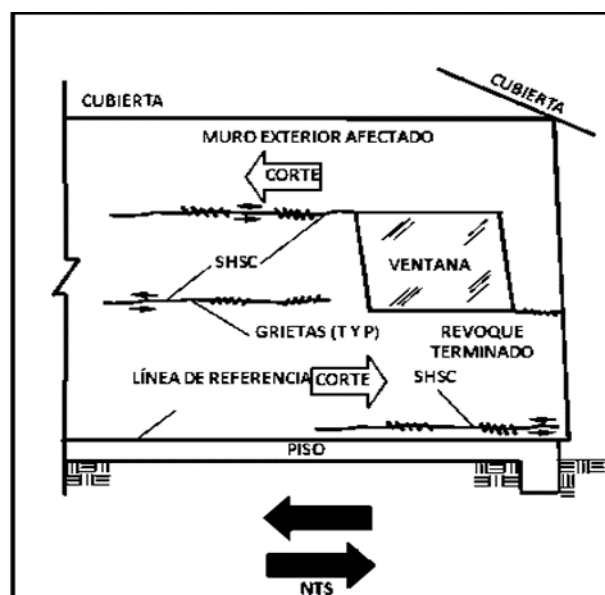
En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XXI. **Nomenclatura grieta SDTC**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	S (sísmico)
Orientación de la grieta	D (diagonal)
Tipo de esfuerzo	T (tensión)
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

Figura 41. **Grieta SHSC**



Fuente: Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

En la figura anterior la nomenclatura de la grieta se define a continuación:

Tabla XXII. **Nomenclatura grieta SHSC**

Descripción	Nomenclatura
Movimiento del suelo	S (sísmico)
Orientación de la grieta	H (horizontal)
Tipo de esfuerzo	S (corte)- del vocablo inglés <i>shear</i>
Tipo de rasgo	C (grieta)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Osorio. (s.f.). *El lenguaje de las grietas*.

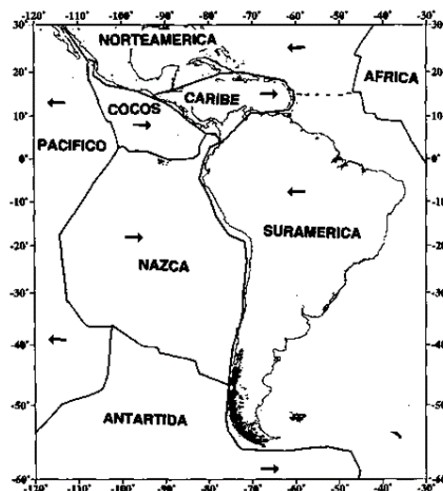
3. RIESGO SÍSMICO Y VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

3.1. Situación sísmica de Guatemala

Guatemala, por su posición geográfica, es un país de alta sismicidad al encontrarse en la unión de tres placas tectónicas: Norteamérica, Caribe y Cocos. Según Monzón (1996), en el documento *La construcción y el uso del terreno en Guatemala -su vulnerabilidad sísmica*, indica que el país tiene principalmente tres fuentes sismogénicas:

- Los sismos locales, que se originan corteza continental sobre la zona de subducción y la zona de transcurrencia.

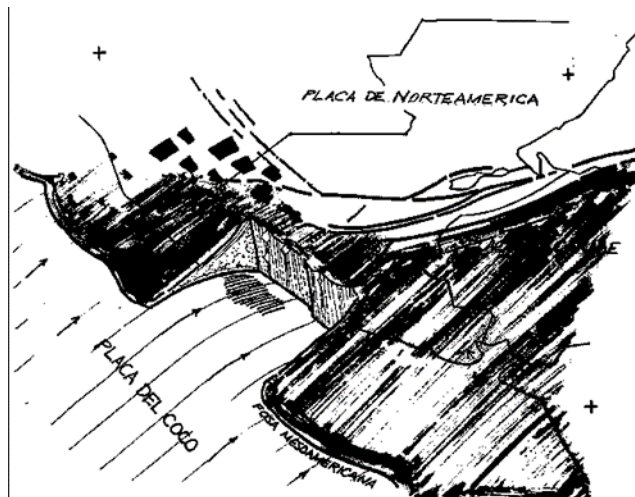
Figura 42. Esquema de placas tectónicas en Centroamérica y Suramérica



Fuente: Udías, (1998). *Introducción: Sismicidad y sismotectónica de América Central y del Sur*.

- La zona de subducción, que genera sismos de magnitud pequeña e intermedia a cierta profundidad, como los terremotos de 1773 y 1902. Según Monzón, Ligorria, Yon, Flores y Gil (2013), “cuando se refieren al contexto sismo tectónico guatemalteco, indican que la mayor parte de la liberación de momento sísmico se da en eventos de mecanismo normal, que ocurren a una profundidad intermedia en la placa subducente” (p. 20).

Figura 43. **Zona de subducción**

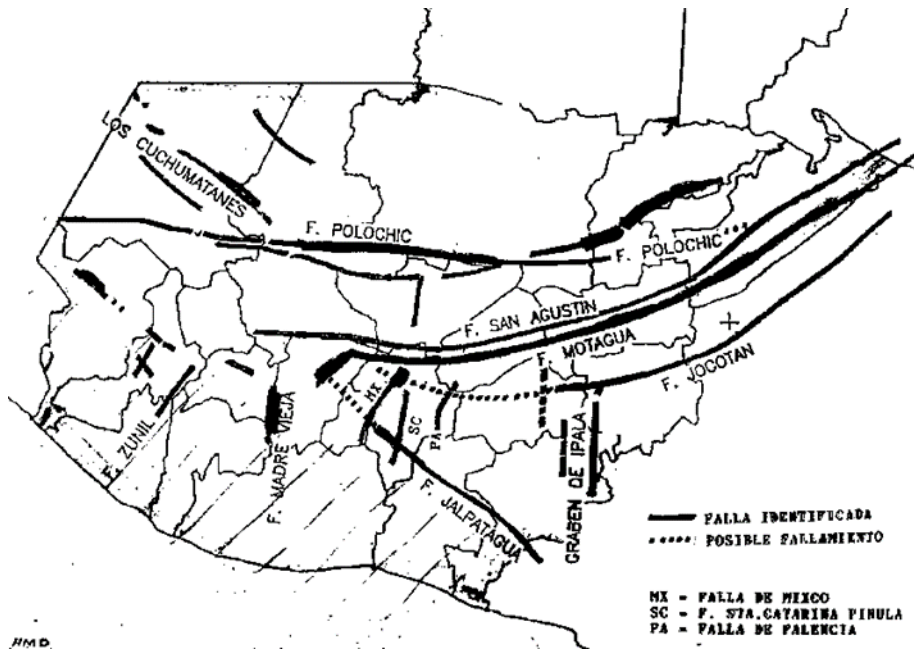


Fuente: Monzón. (2009). *Cálculo de cargas sísmicas para diseño de estructuras en Guatemala*.

- La zona de fallas de transurrencia, la cual atraviesa la franja central de Guatemala y genera sismos superficiales como los terremotos de 1816 y 1976. Según Udías (1998), en Guatemala la actividad de la falla del pacífico (que afecta a México) se une a la de la falla de Motagua, que forma el límite norte de la placa del Caribe, extendiéndose hacia el este. El autor también afirma que: “Esta falla se prolonga hasta el arco de las Pequeñas Antillas. Su carácter predominante de desgarre sinestroso

adquiere en la zona oriental una componente de falla inversa” (Udías, 1998, p. 16).

Figura 44. Zona de fallas de transcurrencia



Fuente: Monzón. (2009). *Cálculo de cargas sísmicas para diseño de estructuras en Guatemala*.

3.1.1. Situación sísmica local (ciudad de Guatemala)

Para el caso específico de la ciudad de Guatemala, aún falta por realizar un estudio o investigación con relación a su microzonificación sísmica; sin embargo, se pueden mencionar las siguientes amenazas que condicionan el valle de Guatemala y las regiones adyacentes:

- Ubicación geográfica de la edificación: según Monzón (1996), el peligro sísmico se magnifica para los desarrollos urbanos que se localización

sobre penínsulas, camellones, espinazos y cuchillas de terreno rodeadas por barrancos por dos y tres lados, la vibración sísmica suele magnificarse en estas espeltas masas no confinadas de suelo, incrementando notoriamente, tanto el riesgo de derrumbe, como el daño a las edificaciones construidas sobre los camellones.

- Ruptura y fisuración del terreno: el valle de Guatemala contiene fallas superficiales geológicamente activas. En el caso de que una de estas fallas sufra una ruptura, se produce un desplazamiento del terreno que causa daños a las estructuras a través del sismo. Además, el riesgo se aumenta debido a la naturaleza pasiva de algunas fisuras, para la cual su localización no siempre es recurrente y son difíciles de identificar. En el valle de Guatemala, encontrar zonas libres de este peligro debe verse con pesimismo.

3.2. Vulnerabilidad estructural

La vulnerabilidad sísmica o riesgo sísmico es la predisposición de una estructura de sufrir un daño ante la ocurrencia de un evento sísmico (Guillén, 2005).

Es común encontrar la siguiente relación:

$$Riesgo = Amenaza \times Vulnerabilidad \quad (Ec. 1)$$

Tratando de forma más específica el riesgo sísmico.

Según Yépez y Canas (1995), enmarca el riesgo sísmico en los siguientes conceptos:

- La peligrosidad o amenaza sísmica (A), que representa la probabilidad de ocurrencia de un sismo.
- La vulnerabilidad sísmica estructural (V), definida como el grado de daño de una estructura ante eventos sísmicos.
- El riesgo sísmico específico (R), que representa la probabilidad de que una estructura sufra daños ante sismos. (p. 37)

Es decir, el riesgo sísmico específico es el producto de amenaza sísmica por vulnerabilidad:

$$R = A * V \quad (\text{Ec. 2})$$

Como complemento a lo anterior, puede especificarse el concepto de riesgo sísmico (R), que se define como el grado esperado de pérdidas sufridas (E) por estructuras en riesgo, tales como “los costos directos por los elementos estructurales, no estructurales y los costos indirectos que pudieran presentarse como consecuencia de los daños directos. Tales costos indirectos pueden ser, psicológicos, sociales, de producción, de ventas, entre otros” (Yépez y Canas, 1995, p. 38).

Según lo anterior, puede observarse que para mitigar o disminuir el riesgo sísmico, debe disminuirse la peligrosidad o amenaza (A), la vulnerabilidad (V) o el costo (E). Cabe destacar que la peligrosidad o amenaza no puede ser disminuida, debido a que no puede reducirse la probabilidad de ocurrencia de

eventos sísmicos; por lo que no hay otra opción que trabajar en reducir la vulnerabilidad o el costo relacionado al daño de las estructuras.

En el inicio del presente capítulo, pudo establecerse que la amenaza sísmica en Guatemala es alta, debido a su ubicación geográfica. Por lo tanto, se debe evaluar las características y circunstancias de las estructuras de mampostería, para poder encontrar su relación con riesgo sísmico. Es decir, el factor que se puede controlar es la vulnerabilidad estructural, la cual, entre otros aspectos está relacionada con:

- Amenazas geotécnicas del sitio
- Configuración estructural
- Sistema estructural sismo resistente

Según AGIES (2018d), se presentan algunos parámetros de vulnerabilidad, que son los factores que se deberán considerar en la evaluación de estructuras de mampostería reforzada, siendo estos:

- Irregularidad en planta:
 - Esquinas entrantes en formas irregulares
 - Relación largo/ancho
 - Asimetría en el sistema sismorresistente
 - Arriostamiento inadecuado en al menos una dirección
 - Poca redundancia estructural
 - Distribución irregular de masas
 - Diafragmas con aberturas excesivas

- Irregularidad en elevación
 - Formas irregulares
 - Piso suave
 - Columnas con rigideces muy diferentes en un mismo nivel (laderas)
 - Columnas cortas
 - Interrupción de la trayectoria de fuerzas
 - Pisos superiores salientes
 - Concentraciones de masa en el piso superior
 - Viga fuerte-columna débil
- Poca separación entre edificios adyacentes
- Detallado inadecuado en sujeción de elementos no estructurales

3.3. Métodos para evaluar vulnerabilidad en mampostería reforzada

Para el caso específico de las edificaciones en mampostería reforzada, la vulnerabilidad estructural puede ser evaluada a través de los siguientes métodos.

3.3.1. Método del índice de vulnerabilidad

Según Yépez y Canas (1995), el método del índice de vulnerabilidad se comienza a desarrollar en Italia, con motivos de los estudios después de eventos sísmicos importantes. A partir de la aplicación inicial del método, se obtiene una importante base de datos sobre daños en edificios para diferentes intensidades de sismos.

El método establece una clasificación denominada índice de vulnerabilidad, el cual considera el valor del índice según lo siguiente:

- Tipo y organización del sistema resistente
- Calidad del sistema resistente. Tipología estructural
- Resistencia sísmica, el cual se basa en el coeficiente sísmico (C)
- Posición del edificio y de la cimentación
- Diafragmas horizontales
- Configuración en planta
- Configuración en elevación
- Espaciamientos máximos entre muros
- Tipos de cubierta
- Elementos no estructurales
- Estado de conservación de la estructura

Una vez obtenidas las calificaciones (A, B, C o D) de los once parámetros descritos anteriormente, se puede asignar un valor numérico, de acuerdo con la escala propuesta por Benedetti, Benzoni y Parisi (1988), mientras que el valor numérico del índice de vulnerabilidad se realiza mediante la sumatoria del producto de cada uno de los parámetros (K_{iA} , K_{iB} , K_{iC} , K_{iD}) y su peso o importancia (W_i), como se muestra a continuación:

Tabla XXIII. **Escala numérica del índice de vulnerabilidad**

No.	Parámetro	K_{iA}	K_{iB}	K_{iC}	K_{iD}	Peso W_i
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	Posición edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Diafragmas 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

Continuación tabla XXIII.

9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.0
10	Elementos no estructurales	0	5	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.0

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Yépez y Canas (1995). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería.*

3.3.2. Método del AGIES

Según AGIES (2019):

Debido a la complejidad que surge de evaluaciones detalladas, el manual opta por una inspección rápida que permite depender de aspectos físicos de la estructura, cálculos simples, sin realizar procedimientos complejos como ensayos de laboratorio. La evaluación analiza ocho aspectos básicos de la edificación para determinar su vulnerabilidad. (pp. 1-2)

Estos aspectos, se definen a continuación:

- Amenazas geotécnicas del sitio: como potencial de licuefacción; lo cual es cuando el nivel freático se presenta cerca de la superficie, y podría licuarse con suelo arenoso, provocando inestabilidad en el soporte de la estructura. También son amenazas las fallas en ladera y fallas locales.
- Elementos de la mampostería: las mochetas, soleras, refuerzo interbloque, confinamiento de los muros, calidad de los materiales; especialmente de las unidades de block.

- Elementos estructurales: cubiertas de lámina o losa, así como el complemento para el sistema combinado, el cual serían vigas y columnas. También debe evaluarse la cimentación, sea aislada o cimentación corrida.
- Configuración estructural: debe evaluarse la simetría de la estructura, tanto en planta como en elevación. También es importante la continuidad vertical y los voladizos, escaleras y otros.
- Sistema sismo resistente: se evalúa la redundancia, distribución, cantidad y longitud de los elementos resistentes en cada dirección ortogonal.
- Remodelación y rehabilitación: debe evaluarse cambios de uso, modificaciones a la estructura (sean arquitectónicos o estructurales).
- Estado actual de la edificación: debe buscarse manifestaciones patológicas en los bloques, morteros de pega y paredes completas.

Tabla XXIV. **Criterios de evaluación de vulnerabilidad**

Capítulo	Generalidad	Aspecto por evaluar
2. Amenazas geotécnicas del sitio		
2.1	Licuefacción	
2.2	Falla de ladera	
2.3	Fallas locales	
3. Mampostería reforzada y no reforzada		
3.1	Elementos mampuestos	
3.2	Mochetas principales	
3.3	Soleras principales	
3.4	Refuerzo complementario vertical	
3.5	Refuerzo complementario horizontal	

Continuación tabla XXIV.

4. Elementos estructurales	
4.1	Sistema de cubierta
4.2	Vigas
4.3	Columnas aisladas
4.4	Cimiento corrido
5. Configuración estructural	
5.1	Edificación esbelta
5.2	Edificación alargada
5.3	Plana irregular
5.4	Discontinuidad vertical
5.5	Distancia entre ejes
5.6	Cantidad de niveles
5.7	Altura de pisos
5.8	Escaleras y descansos
5.9	Voladizos
6. Sistema sismo resistente	
6.1	Redundancia
6.2	Distribución de muros
6.3	Columnas cortas
6.4	Junta sísmica
7. Remodelación y rehabilitación	
7.1	Remodelación
7.2	Rehabilitación
8. Estado actual	
8.1	Bloque
8.2	Morteros de pega
8.3	Paredes de Mampostería

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AGIES (2019). *Manual de evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería reforzada y no reforzada.*

Para cada uno de los criterios anteriores, se tienen los siguientes resultados:

- C (cumple), se realiza la selección cuando las observaciones coinciden con lo estipulado en el manual.

- NC (no cumple), se realiza esta selección cuando las observaciones no coinciden con lo descrito en el manual.
- D (desconocido), cuando no es posible revisar el enunciado y el evaluador está inseguro si cumple o no.

Cada uno de estos aspectos recibe una ponderación de menos uno (-1) a uno (1). Los valores de 0 a 1, representan atributos positivos y los de 0 a -1 afectan negativamente la vulnerabilidad. La magnitud de cada ponderación depende del nivel de influencia sobre el comportamiento total de la edificación.

Tabla XXV. **Ponderación de criterios, aspectos 1 al 3**

Generalidad	Aspecto por evaluar	Cumple	No cumple	Desconocido
Amenazas geotécnicas del sitio				
	Licuefacción	-	Vulnerable	-
	Falla de ladera	-	Vulnerable	-
	Fallas locales	-	Vulnerable	-
Mampostería reforzada y no reforzada				
	Elementos mampuestos	1	0	0
	Mochetas principales	1	0	0.75
	Soleras principales	1	0	0.75
	Refuerzo			
	Complementario	0.25	0	0.125
	Vertical			
	Refuerzo			
	Complementario	0.25	0	0.125
	Horizontal			
Elementos estructurales				
	Sistema de cubierta	0	-0.25	-
	Vigas	0	-0.75	-
	Columnas aisladas	0	-0.5	-
	Cimiento corrido	0	-0.25	-

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AGIES (2019). *Manual de evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería reforzada y no reforzada.*

Tabla XXVI. **Ponderación de criterios, aspectos 4 al 7**

Generalidad	Aspecto por evaluar	Cumple	No cumple	Desconocido
Sistema sismo resistente				
	Redundancia	0.25	-1	-
	Distribución de muros	0.25	-1	-
	Columnas cortas	0	-0.25	-
	Juntas sísmicas	0	-0.5	-
Remodelación y rehabilitación				
	Remodelación	-1	0	-
	Rehabilitación	1	0	-
Estado actual				
	Bloque	-	-0.5	-
	Morteros de pega	-	-0.5	-
	Paredes de mampostería	-	-1	-
Configuración estructural				
	Edificación esbelta	0	-1	-
	Edificación alargada	0	-1	-
	Planta irregular	0	-0.5	-
	Discontinuidad vertical	0.25	-1	-
	Distancia entre ejes	0	-0.25	-
	Cantidad de niveles	0	-1	-
	Altura de pisos	0	-0.5	-
	Escaleras y descansos	0	-0.25	-
	Voladizos	0	-0.25	-

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AGIES (2019). *Manual de evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería reforzada y no reforzada.*

Se puede observar que hay tres aspectos que no reciben ponderación numérica, sino que dictamina a la estructura como vulnerable. Estos aspectos son: las amenazas geotécnicas del sitio, que pueden ser licuefacción, falla de ladera y cercanía a fallas locales. Al completar el listado de verificación, el resultado de la sumatoria puede ser:

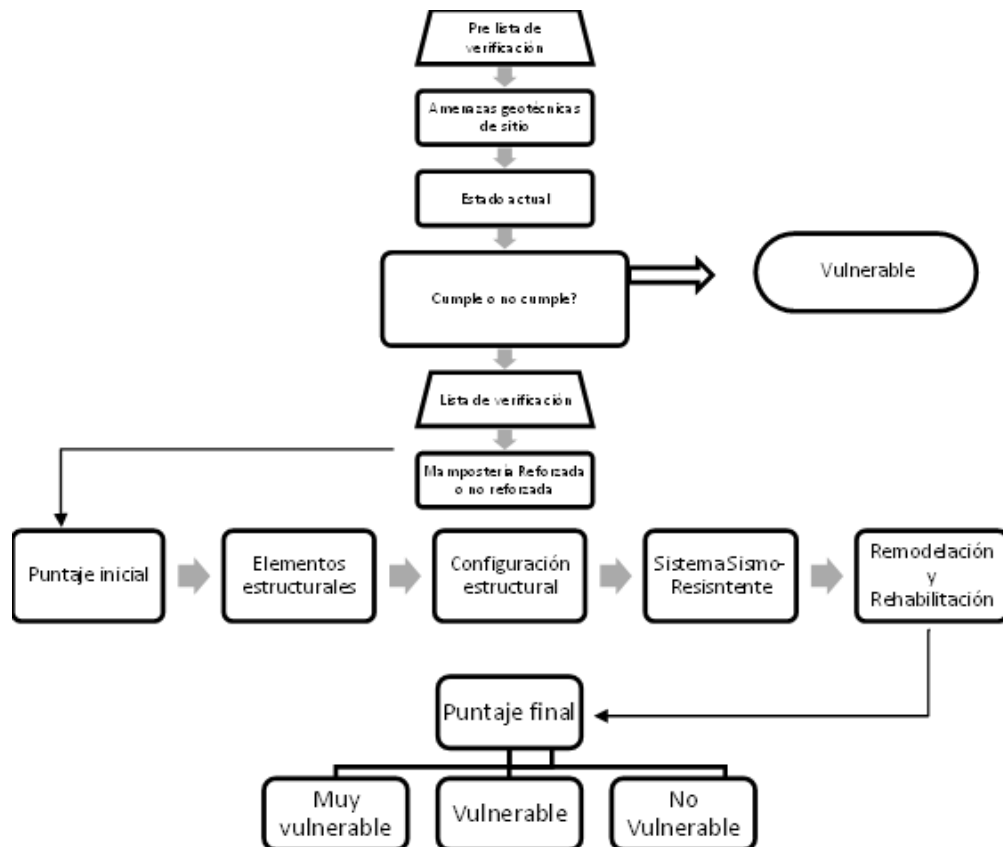
Tabla XXVII. **Resultados de la evaluación**

Puntaje final	Resultado
$P_f < 1$	Muy Vulnerable
$1 < P_f < 2$	Vulnerable
$P_f > 2$	No Vulnerable

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AGIES (2019). *Manual de evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería reforzada y no reforzada.*

De acuerdo con AGIES (2019), el procedimiento de evaluación se muestra en el siguiente diagrama:

Figura 45. **Procedimiento de evaluación según AGIES**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AGIES (2019). *Manual de evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería reforzada y no reforzada.*

3.3.3. Método FEMA-RVS

El método RVS, que por sus siglas en inglés corresponde a evaluación rápida visual (*rapid visual screening*) es un método desarrollado por la Agencia

Federal de manejo de emergencia (FEMA), en el documento *FEMA P-154-Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook* (FEMA, 2015).

El método establece dos formularios con información de vulnerabilidad potencial. En cada formulario se ingresa información en función de la persona que realiza la evaluación y del nivel de evaluación que se requiere.

Tabla XXVIII. **Parte inicial de formulario de evaluación RVS- nivel 1**

PHOTOGRAPH	Address: _____ _____ Zip: _____ Other identifiers: _____ Building Name: _____ Use: _____ Latitude: _____ Longitude: _____ Ss: _____ S ₁ : _____ Screener(s): _____ Date/Time: _____
	No. Stories: Above Grade: _____ Below Grade: _____ Year Built: _____ EST Total Floor Area (sq.ft.): _____ Code Year: _____ Additions: ☐ None ☐ Yes, Year(s) Built: _____
	Occupancy: Assembly Commercial Emer. Services ☐ Historic ☐ Shelter Industrial Office School ☐ Government Utility Warehouse Residential, #Units: _____
	Soil Type: ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E ☐ F ☐ DNK Hard Avg Dense Stiff Soft Poor If DNK, assume type D. Rock Rock Soil Soil Soil Soil
SKETCH	Geologic Hazards: Liquefaction: Yes/No/DNK Landslide: Yes/No/DNK Surf. Rupt.: Yes/No/DNK Adjacency: ☐ Pounding ☐ Falling Hazards from Taller Adjacent Building Irregularities: ☐ Vertical (type/severity) _____ ☐ Plan (type) _____ Exterior Falling ☐ Unbraced Chimneys ☐ Heavy Cladding or Heavy Veneer Hazards: ☐ Parapets ☐ Appendages ☐ Other: _____

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de FEMA (2015). *FEMA-154: Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook*.

Tabla XXIX. Parte final de formulario de evaluación RVS- nivel 1

FEMA BUILDING TYPE	Do not know	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)
Basic Score		3.6	3.2	2.9	2.1	2.0	2.6	2.0	1.7	1.5	2.00	1.2	1.6	1.4	1.7
Severe Vertical Irregularity V_b		-1.2	-1.2	-1.2	-1.0	-1.0	-1.1	-1	-0.8	-0.9	-1.0	-0.7	-1.0	-0.9	-0.9
Moderate Vertical Irregularity		-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.4	-0.6	-0.5	-0.5
Plan Irregularity, $P_{1.1}$		-1.1	-1.0	-1.0	-0.8	-0.7	-0.9	-0.7	-0.6	-0.6	-0.8	-0.5	-0.7	-0.6	-0.7
Pre-Code		-1.1	-1.0	-0.9	-0.6	-0.6	-0.8	-0.6	-0.2	-0.4	-0.7	-0.1	-0.5	-0.3	-0.5
Post-Benchmark		1.6	1.9	2.2	1.4	1.4	1.1	1.9	NA	1.9	2.1	NA	2.0	2.4	2.1
Soil Type A or B			0.3	0.5	0.4	0.6	0.1	0.6	0.5	0.4	0.5	0.3	0.6	0.4	0.5
Soil Type E (1-3 stories)		0.2	0.2	0.1	-0.2	-0.4	0.2	-0.1	-0.4	0.0	0.0	-0.2	-0.3	-0.1	-0.1
Soil Type E (> 3 stories)		-0.3	-0.6	-0.9	-0.6	-0.6	NA	-0.6	-0.4	-0.5	-0.7	-0.3	NA	-0.4	-0.5
Minimum Score, S_{MEN}		1.1	0.9	0.7	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
FINAL LEVEL 1 SCORE, $S_{11} \geq S_{MEN}$															
EXTENT OF REVIEW Exterior: ☐ Partial ☐ All ☐ Aerial Interior: ☐ None ☐ V ☐ Entered Drawing Reviewed ☐ YES ☐ NO Soil Type: _____ Geologic H Source: _____ Contact Person: _____					OTHER HAZARDS Are There Hazards That Trigger A Detailed Structural Evaluation? ☐ Pounding potential (unless $S >$ Cut-off if Known) ☐ Falling from taller (adjacent building) ☐ d ☐ d Geologic hazard F Significant damage on to The structural system					ACTION REQUIRED Detailed Structural Evaluation Required? ☐ Yes, unknown FEMA building type or other building ☐ Yes, score less than cut-off ☐ Yes, other hazards present ☐ No Detailed Nonstructural Evaluation Recommended? (check one) ☐ Yes, nonstructural hazards identified that should be evaluated ☐ No, nonstructural hazards may require mitigation, but detailed evaluation is not ☐ No, no nonstructural hazards identified ☐ DNK					
LEVEL 2 SCREENING PERFORMED? ☐ Yes, Final Level 2 Score, $S_{1.2}$ _____ No															

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de FEMA (2015). *FEMA-154: Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook.*

El método establece una calificación mínima en base al sistema estructural, así como a cada uno de los siguientes factores:

- Irregularidad en elevación
- Irregularidad en planta
- Código sísmico según año en el que fue construido
- Tipo de suelo

Esto se complementa por una clasificación mínima, considerando los peores casos en la evaluación de las estructuras.

Según FEMA (2015), se puede hacer un segundo nivel de evaluación rápida inicial, la cual es opcional y debe ser desarrollada por un profesional de las estructuras. Dentro de las variables a considerar se encuentran:

- Corrección del primer nivel de la evaluación
- Evaluación de irregularidades en elevación y variables adicionales como columnas cortas, piso débil u otros
- Evaluación de las irregularidades en planta, irregularidad torsional, sistemas no paralelos
- Redundancia estructural
- Separación ante otras estructuras
- Muros de cerramiento a dos aguas (*gable walls*)

Figura 46. Parte del formulario de evaluación RVS- nivel 2

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
 FEMA P-154 Data Collection Form
 Optional Level 2 data collector to be performed by a civil or structural engineering professional, architect, or graduate student with background in seismic evaluation or design of buildings.

Level 2 (optional)
 HIGH Seismicity

Bldg Name: NCHS- portable Final level 1 Score $S_{L1} = 1.8$ (do not consider S_{min})
 Screener: T. Baker Level 1 irregularity m Vertical Irregularity $V_{L1} = 0$ Plan Irregularity $P_{L1} = 0$
 Date/Time: 9/2/13 10am ADJUSTED BASELINE SCORE: $S' = (S_{L1} - V_{L1} - P_{L1}) = 1.8$
 STRUCTURAL MODIFIERS TO ADD TO ADJUSTED BASELINE SCORE

STRUCTURAL MODIFIERS TO ADD TO ADJUSTED BASELINE SCORE

Topic	Statement (if statement is true, circle the "Yes" modifier, otherwise cross out the modifier)	YES	Subtotals
Vertical	Sloping W1 building: There is at least a full story grade change from one side of the building to the other	-1.2	
Irregularity, V_{L2}	Site Non-W1 building: There is at least a full story grade change from one side of the building to the other.	-0.3	
	W1 building cripple wall: An unbraced cripple wall is visible in the crawl space.	-0.6	
	W1 house over garage: Underneath an occupied story, there is a garage opening without a steel moment frame, and there is less than 8' of wall on the same line (for multiple occupied floors above, use 16' of wall minimum).	-1.2	
	Weak And/or Soft Story W1a building open front: There are openings at the ground story (such as for parking) over at least 50 % of the Length of the building.	-1.2	
(Circle one maximum)	Non-W1 building: Length of lateral system at any story is less than 50 % of that at story above or height of any Story is more than 2.0 times the height of the story above.	-0.9	
	Non-W1 building: Length of lateral system at story is between 50 % and 75 % of that at story above or height Of any story is between 1.3 and 2.0 times the height of the story above.	-0.5	
	Vertical elements of the lateral system at an upper story are outboard of those at the story below causing the Diaphragm to cantilever at the offset.	-1.0	
	Setback Vertical elements of the lateral system at upper stories are inboard of those at lower stories.	-0.5	
Short Column/ Pier	There is an in-plane offset of the lateral elements that is greater than the length of the elements.	-0.3	
	C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: At least 20 % of columns (or piers) along a column line in the lateral system have height/depth ratios less than 50 % of the normal height/depth ratio at that level.	-0.5	
	C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: The column depth (or pier width) is less than one half of the depth of the spandrel, or there are infill walls or adjacent floors that shorten the column.	-0.5	
Split Level	There is a split level at one of the floor levels or at the roof.	-0.5	
Other	There is another observable severe vertical irregularity that obviously affects the building's seismic performance.	-1.0	

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de FEMA (2015). *FEMA-154: Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook.*

4. PROPUESTA DE MÉTODO DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y PATOLOGÍAS CORRELACIONADAS AL RIESGO SÍSMICO

4.1. Generalidades de la evaluación

Para plantear el método de evaluación en edificaciones de mampostería reforzada en la ciudad de Guatemala y correlacionarse con las lesiones (fisuras y grietas) a través de un proceso de evaluación patológica (evaluación de lesiones).

Según Enciclopedia Broto (2000), el cual establece que el proceso de evaluación se trata de:

- Detectar la lesión, aunque se entiende que el estudio o evaluación patológica se inicia porque aparece alguna manifestación.
- Identificar la lesión, especialmente su origen, para así establecer los pasos a seguir.
- Aislar la lesión con el objeto de hacer el seguimiento adecuado para cada caso. (p. 39)

Según del Río (2003):

Antes de plantear en profundidad una sistemática para el diagnóstico de estructuras es fundamental investigar el estado de la estructura existente.

Antes de entrar en la descripción de la metodología de diagnóstico propuesta, conviene efectuar dos consideraciones:

- En primer lugar la investigación no se debe detener en un punto intermedio, sin haber analizado todas las posibles causas; muy comúnmente el origen del problema es precisamente la conjunción de varios agentes.
- En segundo lugar, la experiencia es en patología una herramienta tan valiosa como difícil de transmitir; causas difíciles de determinar la primera vez que se presentan serán fácilmente detectadas en posteriores casos semejantes. (p. 11)

De acuerdo con Río (2003):

El proceso de diagnóstico inicia con una etapa que condiciona la estrategia del resto de la evaluación en la que se recoge información, la cual cubre los siguientes aspectos:

- Examen visual y determinación inicial de los daños.
- Recopilación de información general sobre la obra. En esta información se incluyeN años de antigüedad, usos, daños previos, e intervenciones. De ser posible deberá completarse con obtener la planificación inicial de la construcción.
- Recopilación de la información relativa a los daños. Regularmente se realiza mediante un croquis que revele la situación y daños, complementando con un reporte fotográfico.
- Localización de posibles errores graves. (p. 12)

En una segunda etapa, inicia la fase de diagnóstico. Regularmente se realizan las siguientes actividades:

- Revisión general del sistema estructural, analizando estabilidad, rigidez, sistema sismo resistente, configuración estructural entre otros.
- Determinación de zonas afectadas y de los esfuerzos necesarios para producir los daños observados.

4.2. Propuesta de formulario de evaluación

El formulario de evaluación, llamado Evaluación rápida inicial [ERI], se propone con el objetivo de simplificar y correlacionar las distintas manifestaciones que se presentan en estructuras de mampostería reforzada para la ciudad de Guatemala; el cual también podría ser aplicado para el resto del país. Según las evaluaciones y ponderación de la vulnerabilidad estructural que se obtuvo de las referencias de esta investigación, puede desarrollarse el contenido del formulario de evaluación y proceso de evaluación, así como su ponderación.

El proceso o instrumento ERI tiene como objetivo, a diferencia de los métodos revisados en el capítulo anterior, el realizar la evaluación patológica de forma gráfica, práctica y con una ponderación que indique el grado de vulnerabilidad de la edificación de mampostería reforzada. Cabe destacar que, el objetivo de la ponderación de cada uno de los aspectos relacionados a la mampostería reforzada puede realizarse en una escala numérica en donde sea fácil su interpretación. Se propone una escala de 0 a 100, en donde 0 será la escala con menor vulnerabilidad estructural y 100 será la calificación para mayor vulnerabilidad. Este proceso se propone para la ciudad de Guatemala, en donde las condiciones de riesgo sísmico son altas.

El contenido de la herramienta se muestra a continuación:

Tabla XXX. **Carátula del formulario de evaluación ERI**

FORMULARIO DE EVALUACIÓN RÁPIDA INICIAL DE RIESGO SÍSMICO (ERI) TESIS DE INVESTIGACIÓN, MAESTRÍA EN ESTRUCTURAS, USAC. AUTOR: MARCO ANTONIO GARCÍA DÍAZ DETERMINACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS CORRELACIONADAS AL RIESGO SÍSMICO EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA
--

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

4.2.1. Identificación de la edificación

- Dirección: según propietario de la edificación o nomenclatura municipal visible.
- Referencias de la ubicación: según personas de la comunidad o criterio del evaluador. El objetivo es facilitar la identificación de la edificación.
- Nombre de la edificación: puede ser nombre comercial o nombre asignado por el evaluador.
- Latitud, Longitud: según ubicación GPS del teléfono utilizado en el desarrollo de la evaluación.
- Evaluador: persona responsable de llenar el formulario ERI.

Tabla XXXI. **Parte de formulario de evaluación: identificación**

<i>Identificación de la edificación</i>	
Dirección:	_____
Referencias de la ubicación:	_____
Nombre de la edificación:	_____
Latitud, Longitud:	_____ Evaluador: _____

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

4.2.2. Fotografías de identificación de la edificación

- Fotografías de la edificación: para identificarla, debe ser fotografía de la fachada, la cual forma parte de la evaluación.
- Captura de pantalla de la ubicación en GPS: el objetivo es identificar la edificación a nivel macro, por lo menos dentro de la manzana, bloque, cuadra o conjunto habitacional.

Tabla XXXII. **Parte de formulario de evaluación: Fotografías de identificación**

<i>Fotografías de identificación y localización de la edificación</i>	
FOTOGRAFÍA DE LA FACHADA	CAPTURA DE PANTALLA DE LOCALIZACIÓN

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

4.2.3. Amenazas sísmicas

Debe de identificarse la categoría de obra (uso de la edificación), índice de sismicidad y nivel de protección sísmica según documentos de la norma Normas de Seguridad Estructural para Guatemala NSE 2: demandas estructurales y condiciones de sitio.

Tabla XXXIII. **Parte de formulario: amenazas sísmicas**

Amenazas Sísmicas				
Categoría Ocupacional (AGIES NSE 1, 3.1)				
Cat I- Utilitaria	Cat II- Ordinaria	Cat III- Importante	Cat IV- Escencial	
Indice de sismicidad (AGIES NSE 2, 4.5.1)				
Io	Scr	S1r		
Nivel de protección sísmica (AGIES NSE2, 4.2.2-1)				
E	D	C	B	A
10	7.5	5	2.5	0

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Según anterior, se definen las siguientes variables y partes del formulario de evaluación inicial, para la categoría de evaluación Amenazas Sísmicas:

4.2.3.1. Categoría ocupacional

Según AGIES (2018a):

Las obras se clasifican en categorías ocupacionales según el impacto económico que pueda implicar la falla o cese de funciones de la obra.

- Categoría I: Obras utilitarias. Son las que no albergan personas y no tienen instalaciones de estar, por ejemplo, bodegas o instalaciones agrícolas o industriales
- Categoría II: Obras Ordinarias. Son las que tienen una carga de ocupación de menos de 300 personas, por ejemplo, construcciones habitacionales, locales de negocios entre otros.

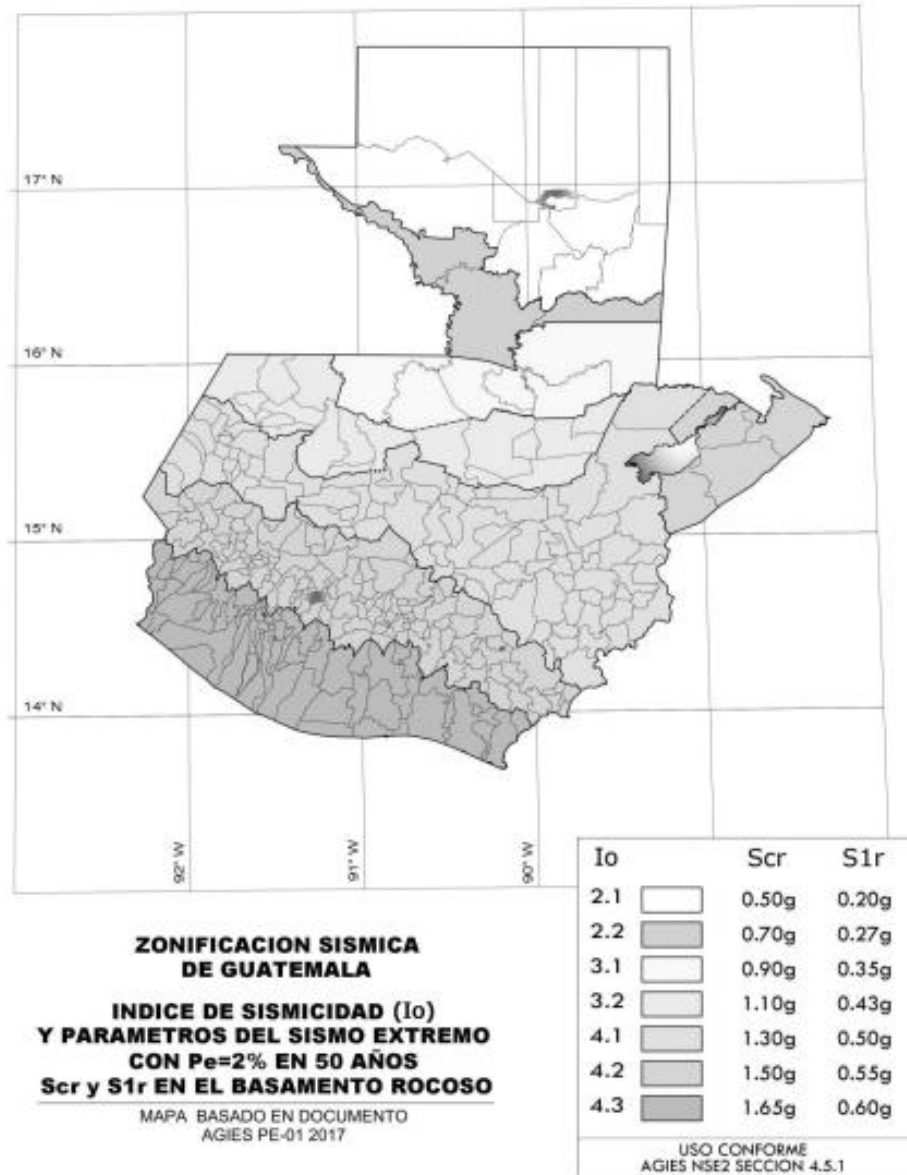
- Categoría III: Obras Importantes. Albergan a gran cantidad de personas y prestan servicios importantes. Por ejemplo, edificaciones gubernamentales, prisiones, museos, instalaciones de salud no esenciales, entre otros.
- Categoría IV: Obras esenciales. Las que deben permanecer en operación continua durante y después de un evento sísmico de gran magnitud. Por ejemplo, hospitales, estaciones de bomberos, policía y comunicaciones, entre otros. (pp. 3-1)

Para clasificaciones múltiples, las unidades estructurales se clasificarán en la categoría más alta requerida por su función más crítica. En caso de que la clasificación sea categoría II, pero pueda nominalmente albergar a más de 300 personas, entonces será reclasificada como categoría III.

4.2.3.2. Índice de sismicidad

Según las macrozonas en las que se divide el territorio de Guatemala, según la siguiente imagen:

Figura 47. Mapa de zonificación sísmica de Guatemala



Fuente: AGIES. (2018b). *Normas de seguridad estructural para Guatemala NSE 2: Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

Debido a que la presente investigación se enfoca en la evaluación de estructuras de mampostería en la ciudad de Guatemala, el índice de sismicidad y aceleraciones básicas de diseño serían las que se muestran a continuación.

Tabla XXXIV. **Datos de amenaza sísmica para Guatemala**

No.	Municipio	Departamento	Amenaza sísmica		
			I_o	S_{cr}	S_{1r}
78	Guatemala	Guatemala	4.2	1.50 g	0.55 g

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AGIES (2018b). *Normas de seguridad estructural para Guatemala NSE 2: Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

4.2.3.3. Nivel de protección sísmica (NPS)

Se establece como A, B, C, D o E, según la clasificación de obra y el índice de sismicidad, de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla XXXV. **Nivel de protección sísmica**

Índice de sismicidad	Clase de obra			
	Esencial	Importante	Ordinaria	Utilitaria
$I_o = 4$	E	D	D	C
$I_o = 3$	D	C	C	B
$I_o = 2$	C	B	B	A

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AGIES (2018b). *Normas de seguridad estructural para Guatemala NSE 2: Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

En el formulario se muestra la ponderación para el nivel de protección sísmica, en función del riesgo por la ubicación y uso de la edificación. La ponderación propuesta se hará para el nivel de protección sísmica, de la siguiente manera:

Tabla XXXVI. **Parte de formulario: Ponderación NPS**

Nivel de protección sísmica (AGIES NSE2, 4.2.2-1)				
E	D	C	B	A
10	7.5	5	2.5	0

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tal como puede observarse, se pondera de 0 a 10 puntos el nivel de protección, siendo una edificación utilitaria, ubicada en una zona de baja sismicidad (nivel de protección sísmica A) ponderada con 0 puntos y una obra esencial, ubicada en una zona sísmica alta, ponderada con 10 puntos; subiendo 2.5 puntos por cada nivel de protección desde A hacia E, tal como lo muestra la figura.

4.2.4. Amenazas geotécnicas

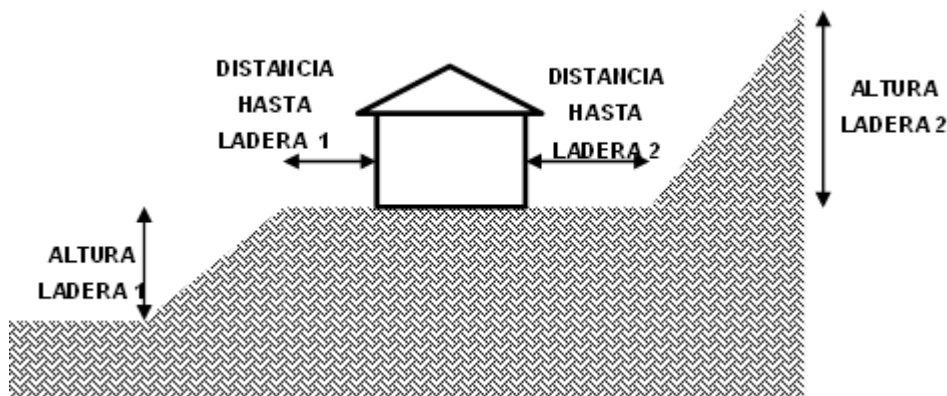
El potencial de licuefacción, para Chupina y Luna (2015):

El fenómeno de licuefacción es el proceso en el cual el suelo cambia de un estado firme a un estado viscoso tipo semilíquido, tal cual arena movediza. Esto es causado por la acumulación de presiones de poro en una carga cíclica como las cargas de sismo. En este documento se concluye que toda la parte del pacífico es susceptible a este fenómeno. (p. 125)

Según AGIES (2019), “se considera que el edificio está libre de amenazas de licuefacción si no se encuentra cerca de depósitos recientes y antiguos ríos, dunas de arena, playas y otras planicies” (pp. 2-1).

Según FEMA (2015) la falla de ladera “debe confirmarse si existe riesgo de deslizamiento o falla de ladera. Como regla empírica podría haber riesgo si la altura de la ladera es mayor que la distancia del lado de la edificación más cercano a la ladera” (p. 154).

Figura 48. **Potencial de falla de ladera**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de FEMA (2015). *FEMA P-154- Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook.*

Para falla local el evaluador de la estructura debe verificar que la construcción no se encuentra en zona de fallas activas o con antecedentes sísmicos importantes (AGIES, 2019).

Para ello, es necesario la consulta o revisión de grietas o fisuras en las fachadas de la propia edificación o edificaciones aledañas, así como entrevista inicial del propietario y vecinos del área.

Tabla XXXVII. **Parte de formulario, ponderación: Amenazas eotécnicas**

Amenazas geotécnicas del sitio					
Potencial de Licuefacción		Falla de Ladera		Falla Local	
	5		5		5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Según la tabla anterior, se pondera el riesgo potencial de licuefacción, la falla de ladera y la falla local con 5 puntos cada una, para un total de 15 puntos y un acumulado de 25 puntos en la evaluación.

4.2.5. Deficiencias en calidad de mampostería, mortero, cimentación y refuerzo confinante

Según el documento *Manual de evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería reforzada y no reforzada*, establece que una evaluación adecuada debe incluir el estado actual de la edificación (AGIES, 2019). Los aspectos a evaluar son.

4.2.5.1. Estado actual de los bloques

Uno de los factores principales del fallo de estructuras de mampostería confinada, es la deficiencia en la calidad del block. Según el documento *Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012*, los datos obtenidos en fábricas de block artesanales en la región cercana a la cabecera departamental de San Marcos, muestran no solo bajas resistencias sino una gran variación. La resistencia de los bloques de concreto liviano hechos con agregado de pómez fluctuó desde los 13 kg/cm² hasta los 32 kg/cm² medidos sobre el área bruta.

Tabla XXXVIII. **Resistencia promedio de block de pómez en San Marcos**

Resistencias promedio departamento de San Marcos/Altiplano (CF: Clima frío)								
No.	Correlativo fabricante	Municipio	Resistencia		Resistencia Promedio	Kg cemento/ unidad	Tipo de cemento	Tipo de máquina
			Kg/cm ²	Kg/cm ²				
1	Fábrica CF1	San Marcos	40	34	37.00	1.06	5000	C
2	Fábrica CF2	San Marcos	25	24	24.50	1.06	5000	C
		San Marcos	37	36	36.50	1.06	5000	C
		San Marcos	35	36	35.50	1.25	5000	C
3	Fábrica CF 3	San Marcos	31	40	35.50	1.25	5000	C
		San Marcos	34	31	32.50	1.25	CPC40	C
		San Marcos	18	17	17.50	1.06	CPC40	C
5	Fábrica CF 5	San Marcos	13	11	12.00	1.06	5000	C
6	Fábrica CF 6	San Marcos	16	16	16.00	1.06	5000	C
		San Marcos	10	14	12.00	1.06	CPC40	C
		San Marcos	12	10	11.00	1.06	5000	C
7	Fábrica CF 7	San Pedro	44	42	43.00	1.18	5000	C
8	Fábrica CF 8	San Pedro	8.00	18	13.00	1.18	4000	C

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Monzón, Ligorria, Yon, Flores y Gil, (2013).
Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012.

“La calidad de los bloques depende de su capacidad de resistir cargas, a través de su área de contacto con la siguiente hilada para considerar que un bloque se ha dañado, el área neta del mismo debe haber sido reducida” (AGIES, 2019, pp. 8-1).

También afirma que los bloques “están libres de daños superficiales causados por desprendimiento, erosión, ataques de ácido y humedad” (AGIES, 2019, p. 8-1).

4.2.5.2. Estado actual del mortero

La transferencia de carga de bloque a bloque...depende de la eficiencia del mortero de pega y compatibilidad con los demás elementos. El daño de este

afecta negativamente la estructura” (AGIES, 2019, p. 8-2). Debe verificarse que no hay desprendimiento del mortero o grietas en el mismo.

4.2.5.3. Cimentación y refuerzo

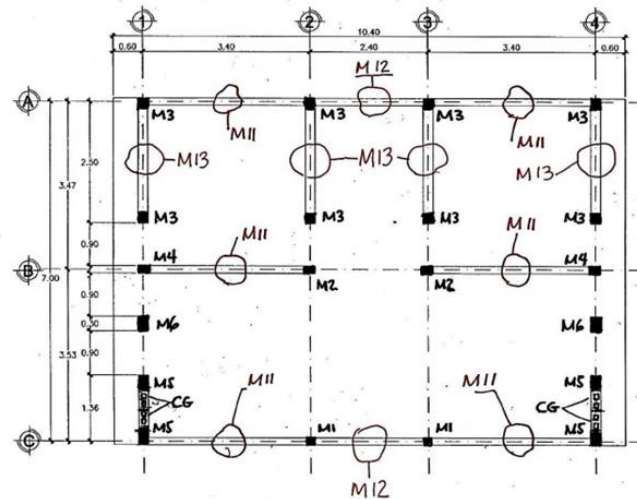
Debe revisarse que existan mochetas y soleras de confinamiento según las siguientes condiciones:

- Mochetas en esquinas e intersecciones
- La distancia máxima de refuerzo vertical (mochetas secundarias) debe ser 2 metros
- Exista evidencia de refuerzo horizontal (soleras)
- Exista evidencia de al menos una solera intermedia
- Evidencia de refuerzo en aberturas (puertas y ventanas)

Una forma bastante práctica de revisar el tipo de acero de refuerzo y ubicación de las mochetas de confinamiento es acceder a la terraza de la edificación, en donde en la mayoría de las ocasiones se encontrarán las varillas de refuerzo salidas, requerimiento de propietarios para el anclaje de los refuerzos en ampliaciones y costumbre común entre constructores.

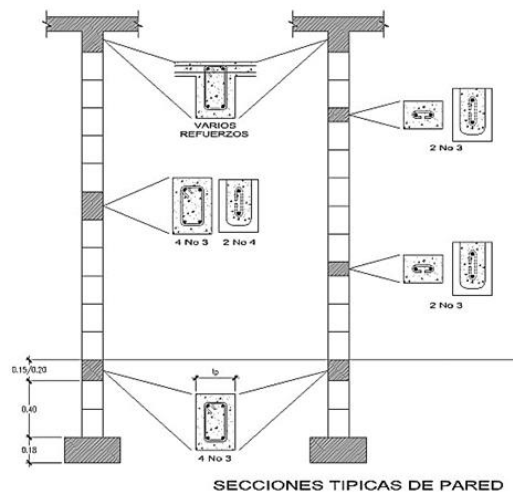
Cabe destacar que habría que proteger este acero de refuerzo ante corrosión, mediante la aplicación de pintura anticorrosiva o fundición en concreto de baja resistencia para su posterior demolición y anclaje.

Figura 49. **Ejemplo de plano de localización de mochetas principales y proyección de mochetas secundarias**



Fuente: AGIES (2014). *Manual de diseño sismo-resistente simplificado mampostería de block de concreto para Guatemala.*

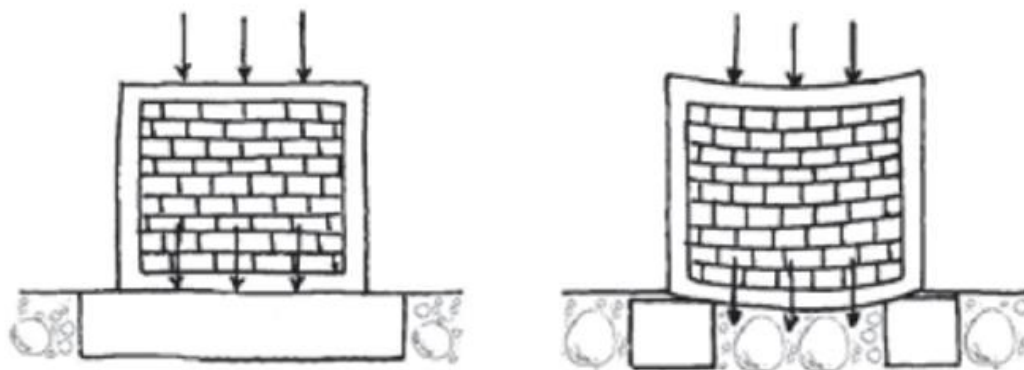
Figura 50. **Ejemplo de ubicación correcta de soleras -sección-**



Fuente: AGIES (2014). *Manual de diseño sismo-resistente simplificado mampostería de block de concreto para Guatemala.*

Además, es importante revisar el tipo de cimentación. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones esto puede realizarse únicamente con la entrevista e información que pueda brindar la persona que recibe la evaluación, ya que es imposible el validar el tamaño, forma y refuerzo de la cimentación.

Figura 51. **Ejemplo de comportamiento de cimentación corrida y cimentación individual**



Fuente: Schacher y Hart (2015). *Construction guide for low-rise confined masonry buildings*.

Si es posible, debe revisarse además el estrato de suelo en el que está la cimentación. También es complicado evaluar esta situación, pero mediante entrevista u observación directa de los alrededores, podría estimarse el valor para la ponderación correspondiente.

Tabla XXXIX. **Parte del formulario ERI: Deficiencia**

Deficiencias en calidad de mampostería, mortero, cimentación y refuerzo confinante			
Estado de bloques	Mortero (estado actual)	Cimentación y suelo	
	5	5	5

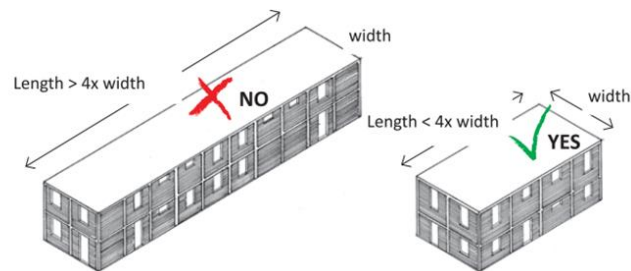
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La ponderación que se da a cada uno de los aspectos mencionados anteriormente es de 5 puntos cada uno. Desafortunadamente, en el uso de la herramienta ERI es poco probable que se tenga acceso a información que no puede observarse a través de una simple inspección visual; sin embargo, podría estimarse con la información de colindancias. El total de estos aspectos es de 15 puntos de la evaluación, para un total de 40 puntos acumulados en la evaluación.

4.2.6. Esbeltez y alargamiento

Debe estimarse las dimensiones generales de la edificación, tanto en planta como en elevación, así como también el que tenga ejes paralelos y número de niveles menor a tres. La relación entre el lado largo y el lado corto de la edificación debe ser menor a cuatro.

Figura 52. **Largo y ancho de la edificación**



Fuente: Schacher y Hart (2015). *Construction guide for low-rise confined masonry buildings*.

Así también, debe evaluarse que la estructura tenga menos de 3 niveles construidos y que la relación de esbeltez sea menor a 3 (altura dividida sección menor de la edificación).

Debe comprobarse si la edificación es esbelta; para esto, se debe revisar si la altura total de la edificación es dos veces mayor a la distancia lateral. También debe limitarse a tres el número de niveles de una edificación de mampostería reforzada.

Figura 53. **Esbeltez en la edificación**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

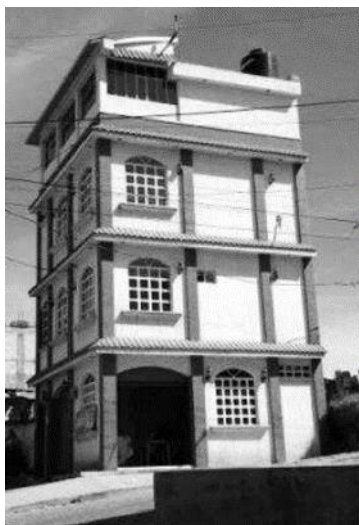
Para ilustrar la importancia de la configuración estructural en estructuras de mampostería reforzada, se muestran las siguientes fotografías de edificaciones con capacidad sísmica incierta; ya que no cumplen con los criterios mínimos que se han estudiado hasta el momento en esta investigación.

Figura 54. **Edificación esbelta y estructura con irregularidad**



Fuente: Monzón, Ligorria, Yon, Flores y Gil (2013). *Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012.*

Figura 55. **Edificación con nivel débil y asimetría de elementos resistentes**



Fuente: Monzón, Ligorria, Yon, Flores y Gil (2013). *Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012.*

Figura 56. **Edificaciones esbeltas y altura mayor a 3 niveles**



Fuente: Monzón, Ligorria, Yon, Flores y Gil (2013). *Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012.*

Figura 57. **Edificación con pocos elementos resistentes y altura mayor a tres niveles**



Fuente: Monzón, Ligorria, Yon, Flores y Gil (2013). *Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012.*

En la ponderación de cada uno de los aspectos descritos, para un total de 10 puntos en los aspectos a evaluar en la edificación y un total de 40 puntos en el acumulado de la evaluación. Para la ponderación se tiene lo siguiente:

- No tiene ejes paralelos- 2.5 puntos
- Tiene más de 3 niveles- 2.5 puntos
- La relación largo/ancho es mayor a 4- 2.5 puntos
- La relación de esbeltez es mayor a 3- 2.5 puntos

Tabla XL. **Parte de formulario: esbeltez y alargamiento**

Esbeltez y alargamiento		No tiene Ejes Paralelos		No. Niveles>3	
Altura (m)				2.5	2.5
Fondo (m)	Ancho (m)	Relación F/A>4		Relación Esbeltez>3	
				2.5	2.5

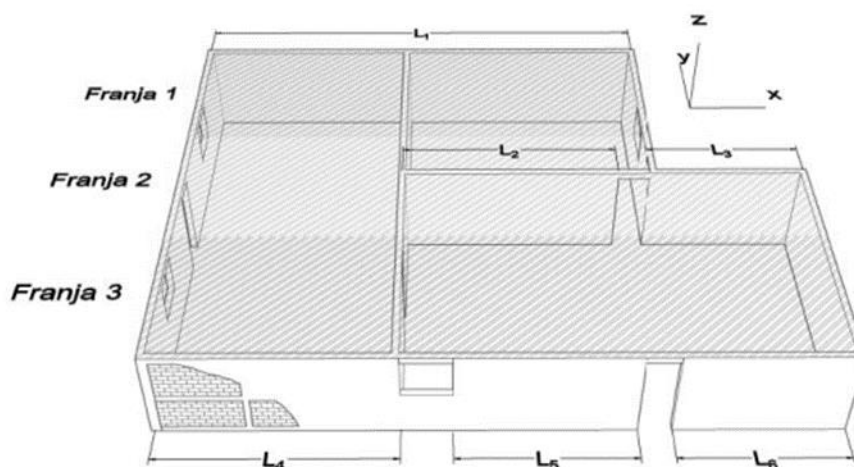
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.2.7. Redundancia y distribución de paredes

Para evaluar la ponderación de riesgo sísmico se establece algunas generalidades del sistema resistente ante sismo, según los siguientes conceptos:

- Redundancia: “el número de ejes de muros de corte en cada dirección principal es mayor o igual a 3” (AGIES, 2019, p. 6-1). El concepto de redundancia “no implica elementos estructurales sobrantes. Implica adecuada distribución de elementos resistentes (muros) de manera que la falla de algún elemento en particular no comprometa la estabilidad de toda la estructura” (AGIES, 2015, p. 43).
- Distribución de muros: se revisará que la estructura cuente con la distribución correcta de muros, es decir “que cumpla con el 25 % de la densidad de estos en cada una de las tres franjas imaginarias.” (AGIES, 2019, p. 6-3). Estas franjas imaginarias deben ser de igual ancho, en cada dirección, en donde debe quedar por lo menos el 25 % de las paredes que se necesitan en cada dirección examinada.

Figura 58. **Distribución de muros**



Fuente: AGIES (2019). *Manual de Evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería reforzada y no reforzada.*

Tabla XLI. **Parte de formulario: redundancia y distribución de paredes**

Redundancia y distribución de paredes	# paredes en X	#. Paredes en Y
Sin Redundancia	Mala distribución de paredes	
5		5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Cada uno de los aspectos evaluados (redundancia estructural y distribución de paredes) tiene una ponderación de 5 puntos cada una, para un total de 10 puntos del total y 60 en la ponderación acumulada. El formulario tiene además un área de cuadrícula para colocar un esquema con medidas aproximadas de la distribución en planta de la edificación, con el objetivo de facilitar la división en

las tres franjas imaginarias que servirán para la evaluación del aspecto de distribución de muros en cada dirección.

Tabla XLII. **Parte de formulario: cuadrícula para planta y distribución de muros**

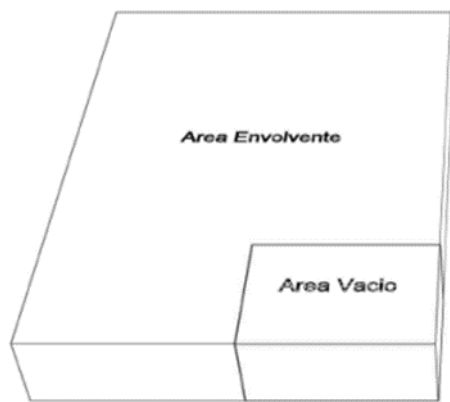
Esquema de planta de la edificación (con medidas aproximadas en metros)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.2.8. Mala configuración en planta

Para evaluar la mala configuración e irregularidad en planta AGIES (2019), establece que se debe verificar la relación entre el área de los vacíos y el área envolvente. Este debe ser menor a 0.25. El objetivo es evitar las esquinas entrantes, típicas de la concentración de esfuerzos.

Figura 59. **Relación área de vacíos y área envolvente**



Fuente: AGIES (2019). *Manual de Evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería reforzada y no reforzada.*

La regularidad en planta es “la coincidencia del centro de masa con su centro de rigidez si ambos centros están separados, el entrepiso tiende a rotar mientras se desplaza lateralmente. La irregularidad se juzga examinando las derivas laterales que resultan del análisis de la estructura” (AGIES, 2015, p. 39).

Tabla XLIII. **Características irregulares en planta**

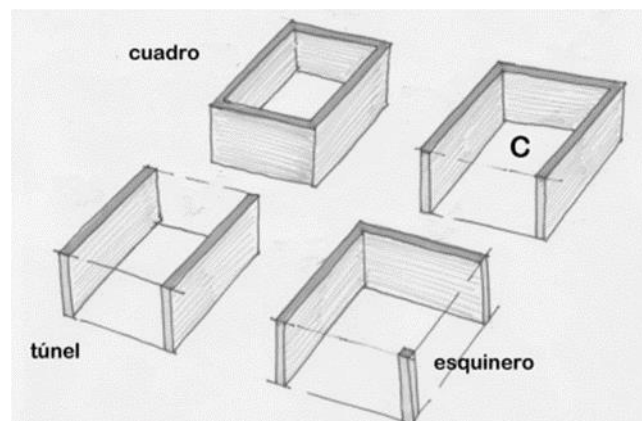
Tipo de irregularidad	Descripción
H1-B	Giro mayor de diafragma: En la dirección de la carga lateral, la deriva en un extremo es mayor que 1.5 veces la deriva en el otro extremo
H1-B	Giro extremo del diafragma: En la dirección de la carga lateral, la deriva en un extremo es mayor que 2.0 veces la deriva en el otro extremo
H2	Diafragma irregular
H3	Diafragma discontinuo

Fuente: elaboración propia, con información AGIES (2015b). *Guía técnica AGIES DSE 7.9-1: Paredes de baja ductilidad de concreto con refuerzo utilizadas como elementos principales de soporte.*

Debido a que lo que pretende esta investigación es realizar un análisis visual de la vulnerabilidad sísmica, tal como lo hacen otros códigos de evaluación (sin realizar el análisis estructural), es poco práctico el analizar derivas laterales, por lo que se consultaron formas más sencillas de evaluar las irregularidades.

Según AGIES (2014), establece que el procedimiento es preocuparse primero por las paredes exteriores, por lo que muestra cuatro casos básicos de distribución de paredes exteriores.

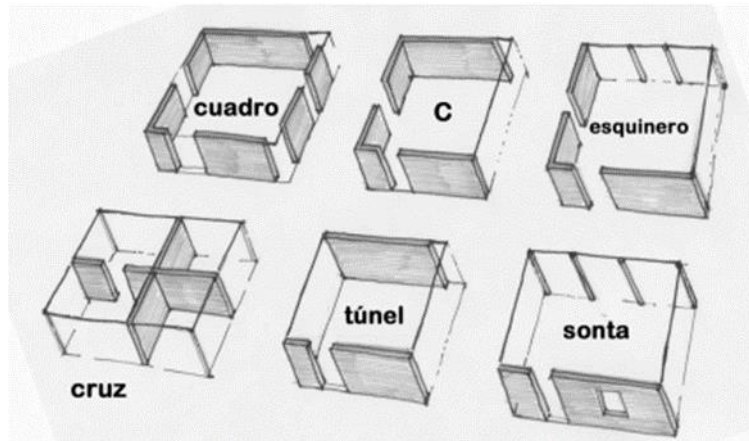
Figura 60. **Casos básicos de distribución de paredes exteriores**



Fuente: AGIES (2014). *Manual de diseño sismo-resistente simplificado mampostería de block de concreto para Guatemala.*

De la figura anterior, la que mejor funciona es la de tipo cuadro, pues tiene paredes que resisten el sismo en ambas direcciones. Sin embargo, muestra configuraciones bastante abstractas. En el mismo documento se muestran configuraciones un poco más realistas, de acuerdo con la siguiente figura:

Figura 61. **Casos realistas de distribución de paredes exteriores**

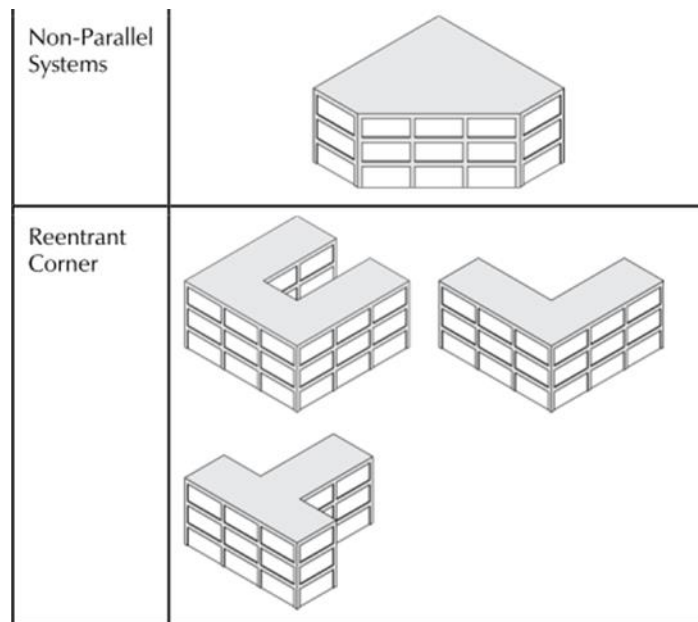


Fuente: AGIES (2014). *Manual de diseño sismo-resistente simplificado mampostería de block de concreto para Guatemala.*

Lo que se pretende es que las paredes exteriores estén bien distribuidas, además de cierta cantidad de paredes interiores para ayudarle a resistir el sismo en cada dirección. La solución que propone el manual para el arreglo de las malas configuraciones es la de combinar distintas clases de block, tanto en su resistencia, espesor, y la forma de colocarlo (lecho parcial o lecho completo), entre otros. Sin embargo, esto aplicaría para estructuras nuevas, por lo que no corresponde a esta investigación el ejemplificar, pero si vale la pena mencionarlo como referencia de solución.

En el documento *FEMA P-154- Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook*, FEMA (2015), se establecen las irregularidades que condicionan la respuesta sísmica de una estructura, tales como ejes no paralelos y esquinas entrantes.

Figura 62. Irregularidades en planta según FEMA P-154



Fuente: FEMA (2015). *FEMA P-154- Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook.*

Monzón, Ligorría, Yon, Flores y Gil (2013), establece que los principales problemas del comportamiento sismo resistente en casas de mampostería reforzada fue por los siguientes aspectos:

- Casas de esquina: la mayor parte de los muros se coloca en los lados que dan hacia las vecindades, lo cual genera concentración de esfuerzos en los muros exteriores del perímetro.

Figura 63. **Irregularidad en planta: casa en esquina**



Fuente: Monzón, Ligorria, Yon, Flores y Gil (2013). *Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012.*

Figura 64. **Irregularidad en planta: casa en esquina, otros ejemplos**



Fuente: Monzón, Ligorria, Yon, Flores y Gil (2013). *Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012.*

- Estructuras tipo túnel: tiene sus muros en una sola dirección predominante. La densidad de los muros es muy baja y se concentra en la parte posterior de la edificación. En muchas ocasiones, los muros de los niveles superiores no continúan en el primer nivel, ya que se busca el uso

comercial y mantener los ambientes amplios (Monzón, Ligorria, Yon, Flores y Gil, 2013).

Figura 65. **Irregularidad en planta: estructuras tipo túnel**



Fuente: Monzón, Ligorria, Yon, Flores y Gil (2013). Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012.

- Junta sísmica: lo que se pretende es evitar que las estructuras tengan el mismo comportamiento dinámico ante sismos y evitar además que puedan chocar entre sí. Establece que la separación debe ser el 0.7 % de la altura más grande de la edificación. Para alturas típicas de 2.50 a 3 metros máximo en estructuras de mampostería reforzada, sería una distancia de entre 1.75 a 2.10 centímetros. Se recomienda el uso de duroport pegado en el costado de la edificación contigua, el cual puede tener un espesor de entre tres cuartos de pulgada a una pulgada.

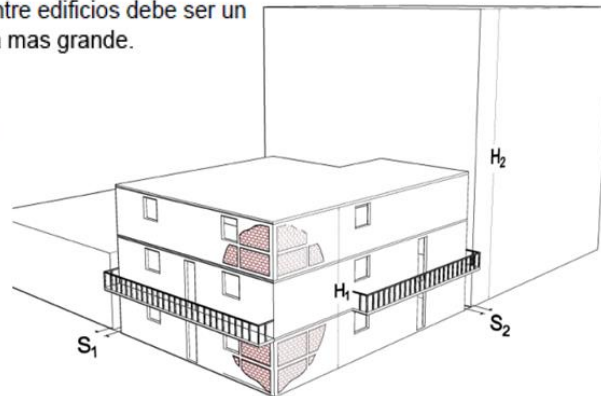
Figura 66. **Junta sísmica en edificaciones**

Junta Sísmica

La separación entre edificios debe ser un 0.7% de la altura mas grande.

$$S_1 = 0.007 \times H_1$$

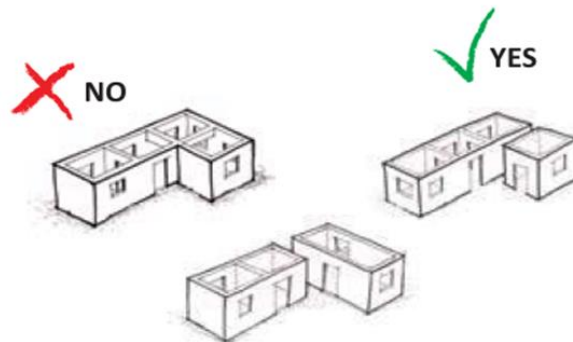
$$S_2 = 0.007 \times H_2$$



Fuente: AGIES (2019). *Manual de evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería reforzada y no reforzada.*

Además, el uso de juntas sísmicas debería utilizarse para mejorar la irregularidad en planta de las edificaciones, evitando formas raras y realizando la configuración en formas geométricas simples.

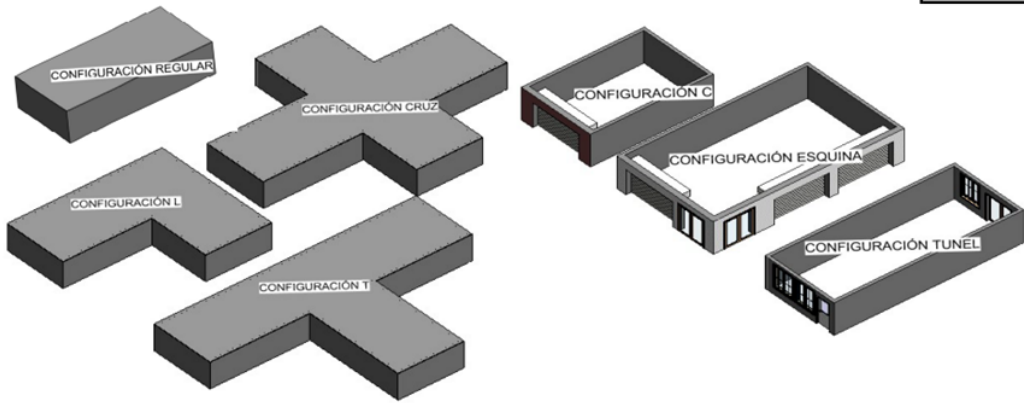
Figura 67. **Configuración en planta separando edificaciones**



Fuente: Schacher y Hart (2015). *Construction guide for low-rise confined masonry buildings.*

Figura 68. **Parte de formulario: configuración en planta**

Tipo de configuración en planta:



CONFIGURACIÓN REGULAR

CONFIGURACIÓN CRUZ

CONFIGURACIÓN L

CONFIGURACIÓN T

CONFIGURACIÓN C

CONFIGURACIÓN ESQUINA

CONFIGURACIÓN TUNEL

Tiene mala configuración? ☐ 10

Uso de junta sísmica/separación a colindancias? ☐

Medida de separación:

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Lo que se pretende en la evaluación de la herramienta ERI es el de evaluar la mala configuración en planta, buscando ponderar con diez puntos del total cualquiera de los siguientes defectos:

- Configuración L
- Configuración cruz
- Configuración T
- Configuración esquina
- Configuración túnel

Así también puede indicarse el uso de junta sísmica y la medida de separación, únicamente con el objetivo de documentar su uso, pues no recibe ponderación al ser una variable a favor del comportamiento sismo resistente y vulnerabilidad estructural en edificaciones de mampostería confinada. La

ponderación que recibe la mala configuración en planta es de 10 puntos, para un total acumulado en la evaluación de 70 puntos.

4.2.9. Irregularidades en elevación y discontinuidad vertical

Después de revisar los documentos de evaluación inicial y vulnerabilidad, y al analizar el comportamiento de las estructuras, como primer paso,

La eficiencia de la mampostería reforzada se basa en la capacidad de transmitir las cargas horizontales y verticales hacia la cimentación. El evaluador estructural debe de ponderar si se cumple este requisito al evaluar que los muros de los niveles superiores tengan continuidad en los niveles inferiores (AGIES, 2019, p. 5-4).

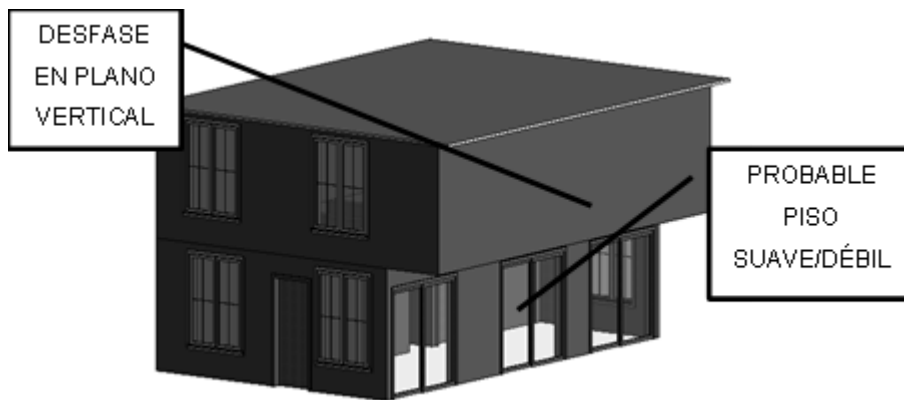
Las irregularidades que podrían presentarse y que afectan la edificación serían:

Tabla XLIV. **Características irregulares en elevación**

Tipo de irregularidad	Descripción
V1	Piso suave: La deriva de un piso es mucho mayor que la deriva del piso que está encima.
V4-A	Discontinuidad en plano vertical: Una pared tiene una reducción de sección respecto del piso superior, aunque parte de la pared permanece apoyada en otra (que puede ser perpendicular).
V4-B	Desfase del plano vertical: Una de las paredes tiene un desfase de plano o bien se suprime en el piso de abajo y la carga vertical debe transferirse por flexión a otros soportes.
V5-A	Piso débil: La resistencia total de paredes del piso es 75 % o menos que la del piso superior.
V5-B	Piso débil – caso extremo: La resistencia de longitudes de pared en el piso es 67 % o menos que la suma en el piso superior.

Fuente: AGIES (2015b). *Guía técnica AGIES DSE 7.9-1: Paredes de baja ductilidad de concreto con refuerzo utilizadas como elementos principales de soporte.*

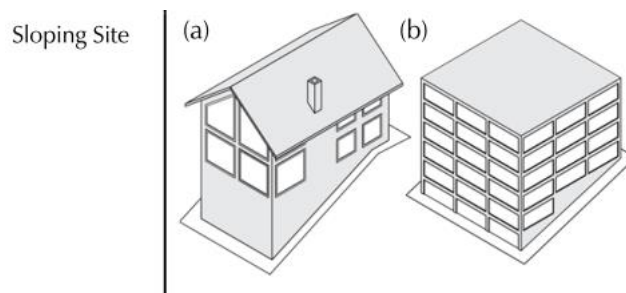
Figura 69. **Irregularidades en elevación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

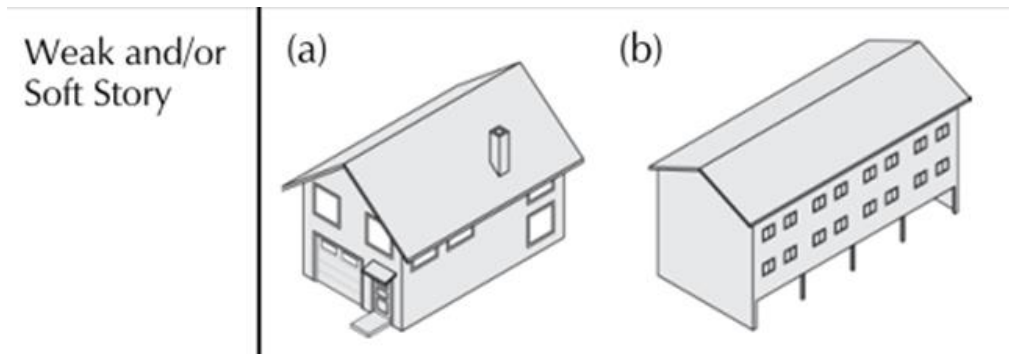
Como complemento a las irregularidades en elevación FEMA (2015), muestra las siguientes imágenes para evaluar la irregularidad en planta y elevación. Se muestran únicamente las que corresponden al sistema estructural de muros de carga, como las viviendas de mampostería reforzada.

Figura 70. ***Sloping site*- Terreno inclinado (FEMA)**



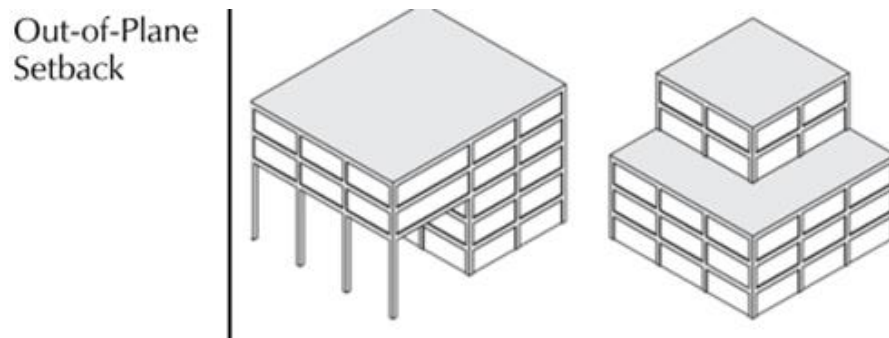
Fuente: FEMA (2015). *FEMA P-154- Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook.*

Figura 71. **Nivel blando o débil (FEMA)**



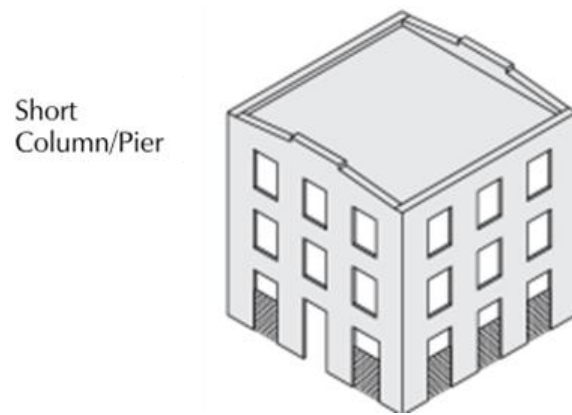
Fuente: FEMA (2015). *FEMA P-154- Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook.*

Figura 72. **Setback- retraso fuera del plano (FEMA)**



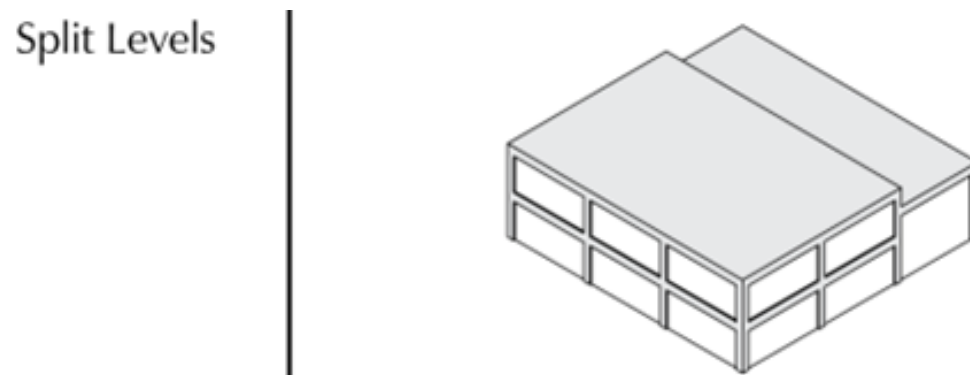
Fuente: FEMA (2015). *FEMA P-154- Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook.*

Figura 73. **Short pier – muro corto (FEMA)**



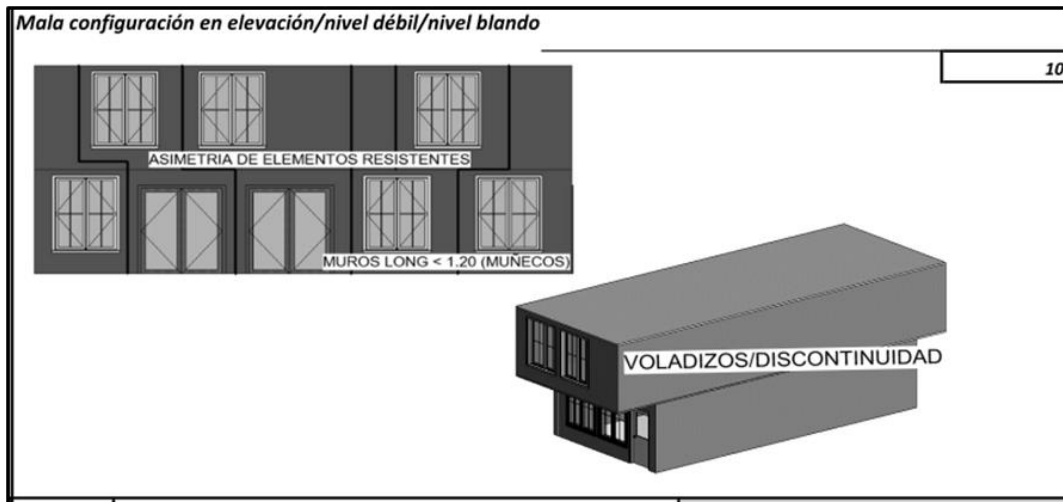
Fuente: FEMA (2015). *FEMA P-154- Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook.*

Figura 74. **Split levels- Grada en niveles (FEMA)**



Fuente: FEMA (2015). *FEMA P-154- Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook.*

Figura 75. **Parte de formulario- Mala configuración en elevación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

De acuerdo con lo anterior, la configuración en elevación se evalúa según la discontinuidad o falta de asimetría de los elementos resistentes, así como la existencia de muros menores a 1.20 metros, los cuales no tienen sismo resistencia. Cualquiera de las deficiencias que se marcan en el formulario, tienen una ponderación de 10 puntos, para un total acumulado de 80 puntos en la evaluación.

4.2.10. Identificación de lesiones

Como parte final de la evaluación con el instrumento ERI, se debe buscar en la edificación de mampostería reforzada lesiones (grietas o fisuras) que muestran un trazo a 45 grados, ya que son indicadoras de respuesta sísmica ante eventos anteriores. Es importante, además, realizar un levantamiento de las lesiones que presenten otros trazos, para poder ubicarlas e identificarlas en la estructura de mampostería. Para ello, se tiene un apartado para colocar un

esquema de las lesiones. La ponderación de este apartado es de 20 puntos, para un total acumulado de 100 puntos. Es importante destacar que las manifestaciones de este tipo ante eventos anteriores debilitaron la estructura ante el comportamiento ante sismos.

Tabla XLV. **Parte de formulario, ubicación y forma de lesiones**

Esquema de lesiones, ubicación en planta o elevación (indicar ancho, forma y longitud)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				

La edificación presenta lesiones (grietas, fisuras) que muestren comportamiento a 45 grados como parte de la respuesta antes eventos sísmicos anteriores o antes variaciones del terreno	/20	
--	-----	--

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Es importante, además, el realizar un registro fotográfico de las lesiones más importantes dentro de la edificación, el cual debe adjuntarse a la evaluación. Según lo anterior, la ponderación de la herramienta ERI, dará un resultado en una escala de 0 a 100, indicando la vulnerabilidad estructural de una forma simple, sencilla y fácil de interpretar. Podría asociarse el resultado con la probabilidad de que la estructura sufra daños ante eventos sísmicos futuros.

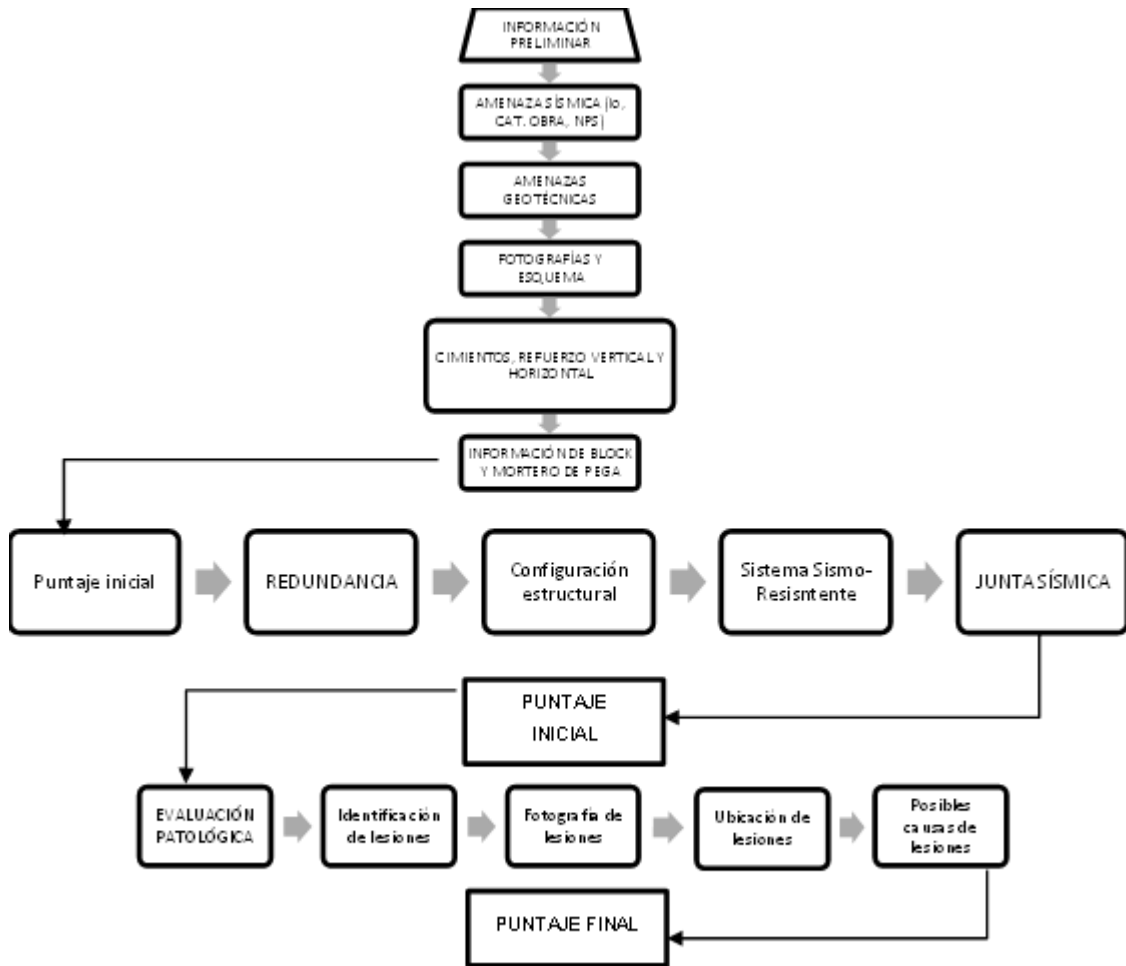
Figura 76. **Formulario ERI, página 1**

Figura 77. **Formulario ERI, página 2**

106

A continuación, se presenta el proceso general propuesto para evaluar las patologías correlacionadas con riesgo sísmico y vulnerabilidad estructural.

Figura 78. Diagrama de proceso de evaluación



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5. DIVULGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE HERRAMIENTA ERI

La evaluación con el formulario *Evaluación rápida inicial -ERI-*, se realizó utilizando la aplicación FULCRUM (www.fulcrumapp.com), la cual es una plataforma de formularios móviles que le permite crear aplicaciones personalizadas para recopilar datos en el campo. Convierta sus formularios en papel en formularios móviles en su computadora de escritorio, computadora portátil o tableta utilizando el generador intuitivo de arrastrar y soltar en nuestro sitio web e implementarlos en sus equipos de campo para completarlos en sus dispositivos móviles. Los datos recopilados en el campo se geo etiquetan automáticamente y se sincronizan con la nube para un acceso instantáneo desde la oficina.

La aplicación se realizó tomando como base el documento de evaluación que fue descrito en el capítulo anterior. Ésta se programó para poder capacitar a evaluadores en su uso. Tomando en cuenta que la evaluación que se propone, la cual busca la correlación entre el riesgo sísmico, y patologías o lesiones como fisuras y grietas, no había necesidad de experiencia previa en el uso de la herramienta. La capacitación se realizó el día doce de noviembre de 2019, de 11 a 13:30 horas en el auditorium Francisco Vela, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Asistieron 158 personas para formarse en el uso de la herramienta, según se hace constar en las fotografías a continuación y en los listados de participantes en el anexo.

Figura 79. **Invitación a la capacitación**



Fuente: elaboración propia, empleando Canva.

Figura 80. **Aspecto general de la capacitación**



Fuente: [Fotografía de Fabiola Recinos]. (Guatemala, 2019). Colección particular. Guatemala.

Figura 81. **Registro de participantes a la capacitación**



Fuente: [Fotografía de Marco García]. (Guatemala, 2019). Colección particular. Guatemala.

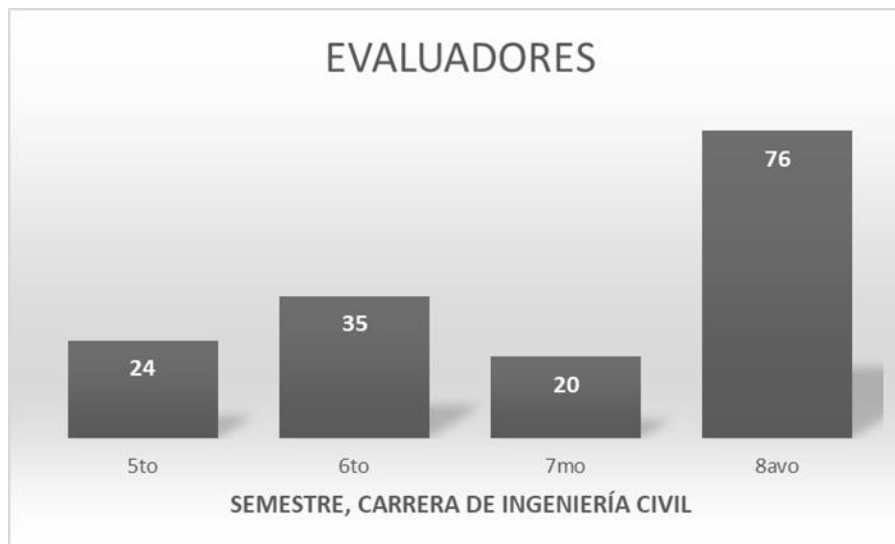
Figura 82. **Desarrollo de la capacitación**



Fuente: [Fotografía de Luky Franco]. (Guatemala, 2019). Colección particular. Guatemala.

A continuación, se muestra el avance en la carrera de ingeniería civil de los participantes.

Figura 83. **Semestre que cursan los evaluadores**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

A cada uno de los participantes se le asignó un código de evaluador, y se le instruyó para realizar al menos dos evaluaciones de viviendas de mampostería reforzada en la ciudad de Guatemala. Se tiene la ventaja que las evaluaciones a través de la aplicación muestran el lugar exacto mediante la ubicación en GPS que brinda el teléfono inteligente.

La aplicación con la que se realizaron las evaluaciones utiliza un formulario, el cual se diseñó para que, de forma automática pudiera generar el resultado de la vulnerabilidad sísmica para poder correlacionar con lesiones o patologías en la edificación. A continuación, se muestran aspectos generales del formulario, con imágenes generadas mediante capturas de pantalla del teléfono inteligente

en uso. Se muestra además la ponderación que se le dio a cada aspecto por evaluar, así como el acumulado de la calificación.

Figura 84. Información inicial de la aplicación ERI

INFORMACIÓN GENERAL

ERI- EVALUACIÓN RÁPIDA INICIAL

Código del evaluador

*

i

Zona de la edificación

*

i

Dirección de la edificación

i

Nombre asignado a la edificación

*

i

Nombre del evaluador

*

Fuente: elaboración propia, empleando Fulcrumapp.com.

Figura 85. Información complementaria de la aplicación ERI

Correo electrónico del evaluador

*

Fotografía de Fachada

*

Screenshot de localización

*

Fuente: elaboración propia, empleando Fulcrumapp.com.

Figura 86. Amenazas geotécnicas de la aplicación ERI y ponderación

AMENAZAS GEOTÉCNICAS

Tiene Potencial de Licuefacción? * ⓘ

SI NO

Existe Peligro de Falla de Ladera? * ⓘ

SI NO

Existe Peligro de Falla Local? * ⓘ

SI NO

CALIFICACIÓN AMENAZAS GEOTÉCNICAS ⓘ

TOTAL /15

Fuente: elaboración propia, empleando Fulcrumapp.com.

Figura 87. Amenazas sísmicas de la aplicación ERI

AMENAZAS SÍSMICAS

Categoria Ocupacional * ⓘ

Indice de sismicidad * ⓘ

Nivel de protección Sísmica ⓘ

2.5 PARA NPS B
5 PARA NPS C
7.5 PARA NPS D
10 PARA NPS E

TOTAL /10
ACUMULADO 25

CALIFICACIÓN AMENAZAS SÍSMICAS ⓘ

Fuente: elaboración propia, empleando Fulcrumapp.com.

Figura 88. Deficiencias generales en la aplicación ERI y ponderación

DEFICIENCIAS GENERALES

Los bloques están visiblemente en mal estado? ⓘ

5 PUNTOS

SI

NO

El mortero está visiblemente en mal estado? * ⓘ

5 PUNTOS

SI

NO

La cimentación es adecuada? * ⓘ

SI

NO

5 PUNTOS

El refuerzo de Mochetas y Soleras es adecuado? * ⓘ

SI

NO

5 PUNTOS

CALIFICACIÓN DEFICIENCIAS GENERALES

TOTAL /20
ACUMULADO 45

Fuente: elaboración propia, empleando Fulcrumapp.com.

Figura 89. Cálculo de esbeltez y alargamiento en la aplicación ERI

ESBELTEZ Y ALARGAMIENTO

Altura (m) *

3

Ancho *

5

Largo *

5

Relación de alargamiento i

1

2.5 PUNTOS SI >4

Relación de esbeltez i

0.6

2.5 PUNTOS SI >3

Tiene ejes paralelos? *

SI

NO

2.5 PUNTOS

Tiene más de tres niveles? * i

SI

NO

2.5 PUNTOS

CALIFICACIÓN TOTAL ALARGAMIENTO, ESBELTEZ, EJES PARALELOS Y # DE NIVELES

TOTAL 10 ACUMULADO 55

Fuente: elaboración propia, empleando Fulcrumapp.com.

Figura 90. **Redundancia y distribución en la aplicación ERI y ponderación**

REDUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN

Tien más de 3 paredes EN DIRECCIÓN* ⓘ

Tiene más de 3 paredes en DIRECCIÓN ⓘ

Tiene mal distribuidos los muros? * ⓘ

5 PUNTOS

5 PUNTOS

5 PUNTOS

**TOTAL /15
ACUMULADO 70**

CALIFICACIÓN TOTAL REDUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN

Fuente: elaboración propia, empleando Fulcrumapp.com.

Figura 91. **Configuración estructural en la aplicación ERI y ponderación**

Configuración Estructural

Tiene BUENA configuración en planta? ⓘ

Tiene BUENA configuración en elevación ⓘ

5 PUNTOS

5 PUNTOS

**TOTAL /10
ACUMULADO 80**

CALIFICACIÓN CONFIGURACIÓN

Comentarios de la configuración

Fuente: elaboración propia, empleando Fulcrumapp.com.

Figura 92. Lesiones (patologías) en la aplicación ERI y ponderación

Lesiones (Patologías)

Tiene lesiones (patologías) visibles? * 

5 PUNTOS

SI

NO

Descripción de las patologías 

Fotografía de las lesiones (si existen)





RESULTADO VULNERABILIDAD/
PATOLOGÍAS 

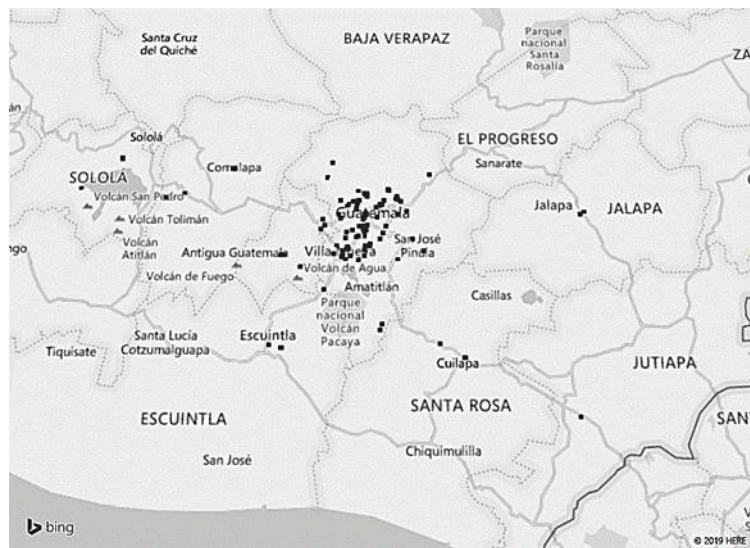
TOTAL /20
ACUMULADO 100

Fuente: elaboración propia, empleando Fulcrumapp.com.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

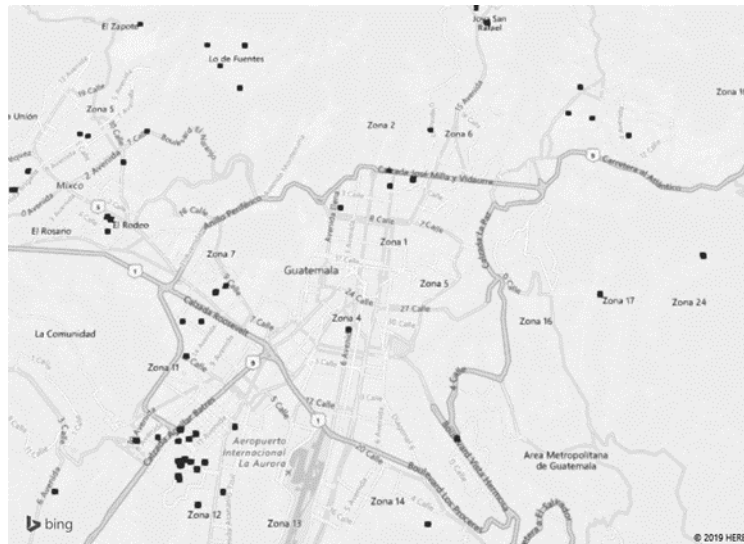
Los datos de las evaluaciones realizadas por las personas que fueron capacitadas muestran las siguientes ubicaciones, la mayoría dentro de la ciudad de Guatemala. En el anexo se muestran las ubicaciones con coordenadas de latitud y longitud.

Figura 93. Localización de las evaluaciones- nivel macro



Fuente: elaboración propia, empleando Bing.com.

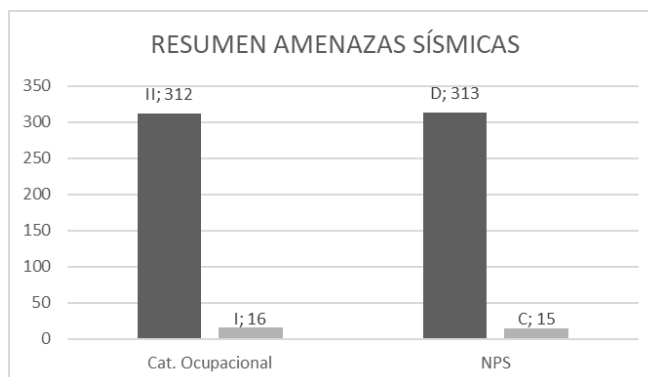
Figura 94. **Localización de las evaluaciones- Ciudad capital**



Fuente: elaboración propia, empleando Bing.com.

A continuación, se presentan resultados generales de las evaluaciones. En el anexo se hace constar que las evaluaciones que se consideran válidas fueron en total 328. Dichas evaluaciones tuvieron los siguientes resultados.

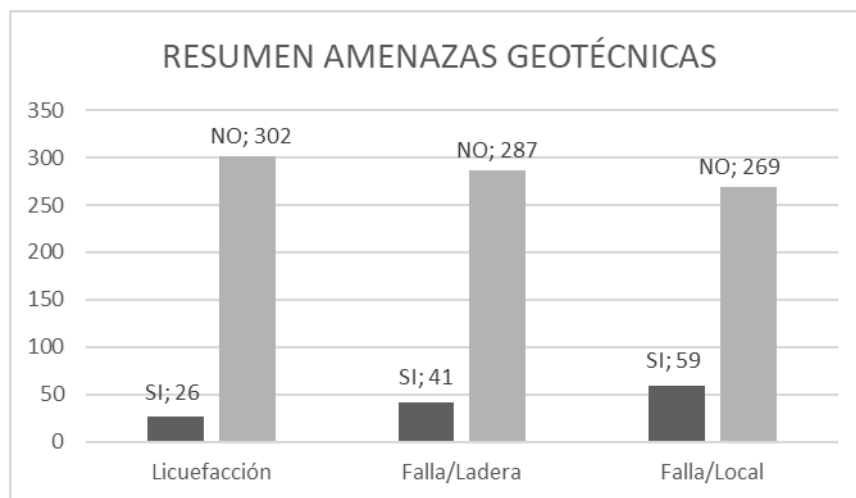
Figura 95. **Resultados de amenazas sísmicas de evaluaciones**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Según la figura anterior, la mayoría de las categorías ocupacionales son tipo II (obras ordinarias). Cabe destacar también el nivel de protección sísmica, el cual ocupa el 95 % de las evaluaciones para tipo D, por lo que se concluye que las evaluaciones se realizaron en su mayoría a viviendas o edificaciones ordinarias en un nivel de alto riesgo sísmico, ya que ese nivel de protección sísmica corresponde a obras ordinarias en una región con índice de sismicidad igual a cuatro, tal como lo es la ciudad de Guatemala y municipios cercanos.

Figura 96. **Resultados de amenazas geotécnicas**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Según la figura anterior, la mayoría de las evaluaciones no tiene potencial de licuefacción, esto coincide con la ubicación dentro de la ciudad de Guatemala. Normalmente el potencial de licuefacción se da en terrenos en donde existe arena y está cercano a grandes cuerpos de agua (mares, lagos y otros). La falla de ladera es más común y la falla local es la principal amenaza geotécnica encontrada, con alrededor del 18 % de casos.

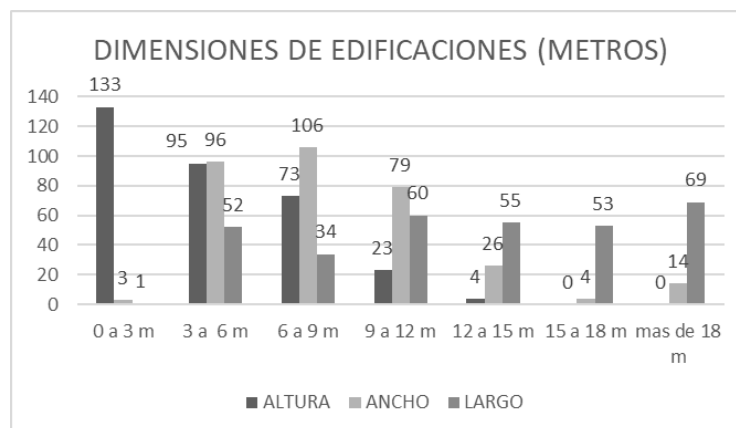
En la siguiente figura pueden establecerse las deficiencias generales detectadas por los evaluadores. El mal refuerzo confinante predomina con aproximadamente un 23 %, seguido de mal mortero y por último mala cimentación y bloques malos.

Figura 97. **Resultados de deficiencias generales**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

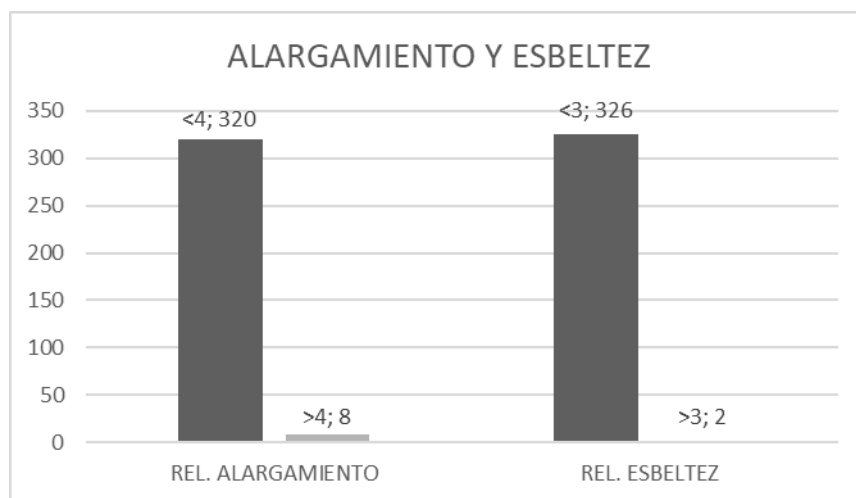
Figura 98. **Resultados de las dimensiones de las edificaciones**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Según la figura anterior, se muestran tres variables importantes: Altura, ancho y largo; puede establecerse que aproximadamente el 40 % de edificaciones evaluadas era de un nivel (altura de cero a tres metros), el 29 % era para edificaciones de entre tres y seis metros y el resto corresponde a estructuras mayores a seis metros de altura. En cuanto a ancho y largo las evaluaciones se hicieron para viviendas típicas de entre tres a nueve metros de ancho.

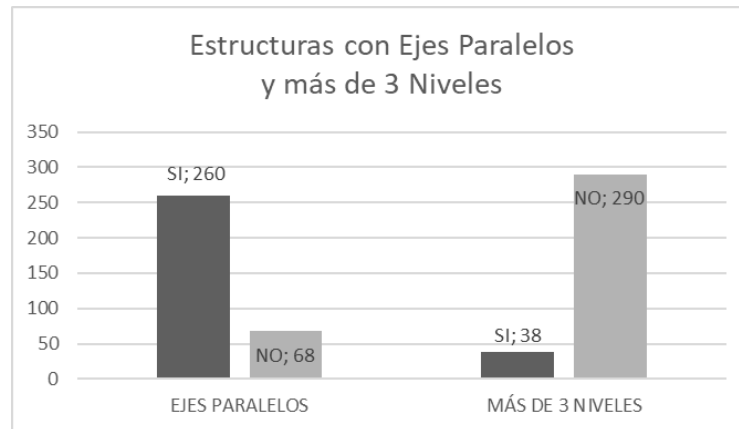
Figura 99. **Resultados de la relación de alargamiento y esbeltez**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Según la figura anterior, la relación de alargamiento menor a cuatro corresponde a casi todos los casos, por lo que se asumen estructuras con buena configuración; además en la gráfica puede apreciarse que en muy pocas ocasiones la evaluación corresponde a estructuras esbeltas.

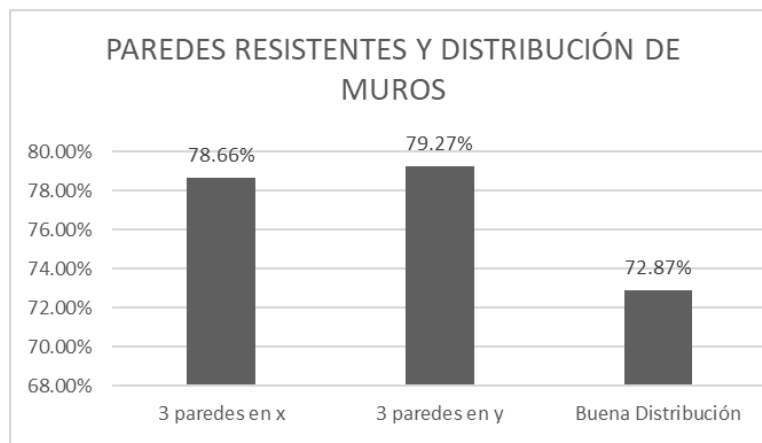
Figura 100. **Resultados de estructuras con ejes paralelos y más de 3 niveles**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Según la figura anterior, la mayoría de las edificaciones cuenta con ejes paralelos en cada dirección ortogonal. Además, puede establecerse que el 88 % de las edificaciones evaluadas tenían menos de tres niveles construidos.

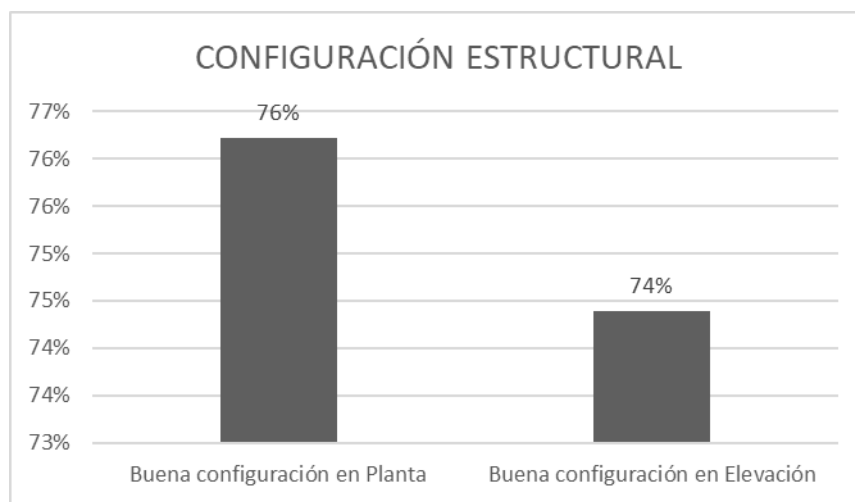
Figura 101. **Resultados de paredes en direcciones ortogonales**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La figura anterior destaca una buena distribución de paredes en cada dirección ortogonal. Así también puede establecerse a continuación que las estructuras evaluadas poseen en su mayoría, buena configuración en planta y elevación.

Figura 102. Resultados de configuración estructural

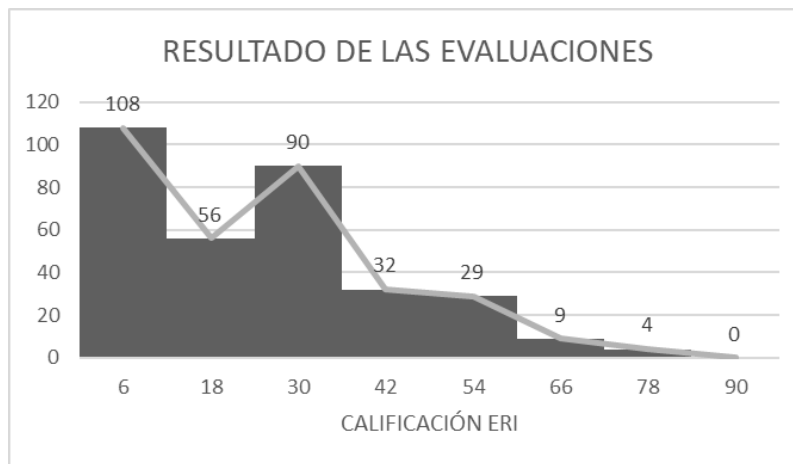


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En resumen, el conjunto de gráficas mostradas, han mostrado hasta el momento que establecen que los evaluadores utilizaron la herramienta ERI para realizar evaluaciones de viviendas unifamiliares con buena distribución de paredes y buena configuración estructural en una zona de alto riesgo sísmico. Las variables predominantes en la evaluación fueron las deficiencias generales tales como mal mortero de pega, cimentación, refuerzo confinante y deficiencias generales de los bloques, lo cual podría obedecer a malas prácticas constructivas o bien al estado, mantenimiento y edad de las edificaciones. Las patologías comunes encontradas según la descripción de los evaluadores se resumen en grietas, humedades, fisuras y otros.

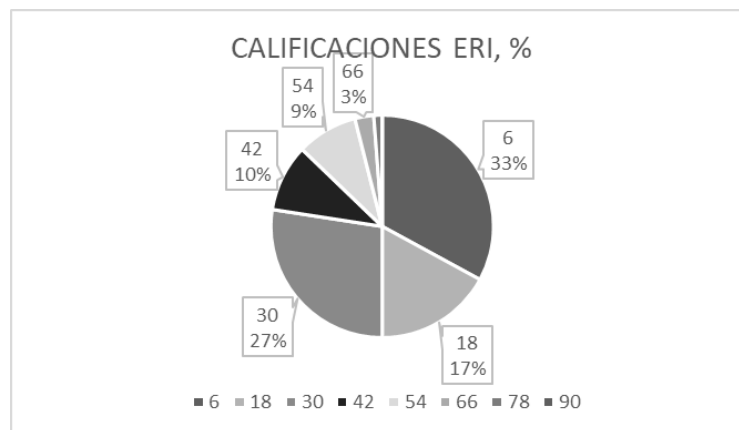
Para realizar la correlación entre el riesgo sísmico y vulnerabilidad estructural con patologías presentadas en las edificaciones evaluadas, se muestra la calificación ERI de vulnerabilidad.

Figura 103. **Resultado de las calificaciones de vulnerabilidad**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

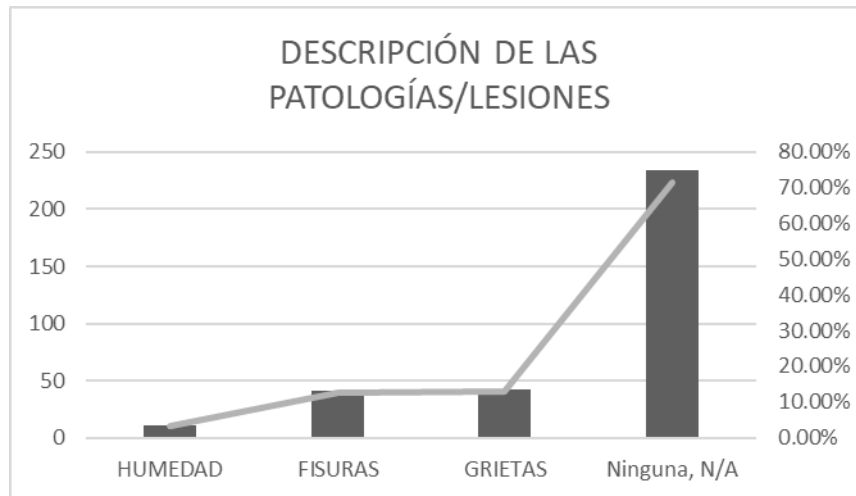
Figura 104. **Resultado de las evaluaciones, porcentaje**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

A continuación, se muestra la descripción de las patologías o lesiones que los evaluadores definieron para cada caso.

Figura 105. Descripción de las patologías



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El objetivo de esta investigación es definir si existe una correlación entre la aparición de lesiones como fisuras y grietas al riesgo sísmico y vulnerabilidad estructural, por lo que se tomarán en cuenta las evaluaciones que, aunque no se tenga la descripción o fotografía de la patología, el evaluador asignó un valor verdadero a la pregunta: ¿Tiene lesiones patológicas visibles? Estos casos se muestran en la siguiente figura, incluyendo el valor de la vulnerabilidad mediante la evaluación ERI.

Se desea evaluar la relación que existe entre la calificación ERI y la lesión o patología presentada, por lo que se busca un gráfico de dispersión y su respectivo coeficiente de correlación para las variables: Clasificación ERI y el número de patologías o lesiones reportadas o que pueden verse en las

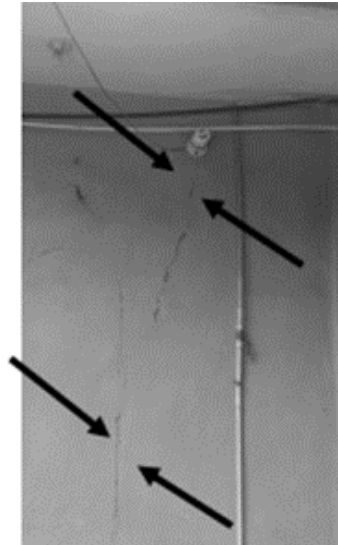
fotografías tomadas por el evaluador; es decir, se busca confirmar que las estructuras vulnerables presentan patologías relacionadas a su vulnerabilidad.

Se tiene que relacionar la aparición de la patología y el punteo ERI, el cual, en la aplicación, hasta antes de incluir la aparición o no de lesiones, lleva un punteo acumulado de ochenta (80); pues la aparición de lesiones se pondera con veinte (20) punto al final de la evaluación. Según lo anterior, y considerando que la evaluación y el presente trabajo de investigación está enfocado a estructuras de mampostería dentro de la ciudad de Guatemala, en donde el índice de sismicidad es cuatro y se establece un punto máximo de diez (10) para el índice de sismicidad, además de posibles deficiencias que normalmente se ponderar en cinco puntos cada una; puede establecerse que la estructura con clasificación ERI mayor a treinta (30) puntos se considera vulnerable o con deficiencias en su configuración estructural y menor a treinta (30) puntos se considerará no vulnerable. Según lo anterior, las variables a relacionar serían:

- El punteo ERI
- El número de patologías reportadas/visibles en fotografías

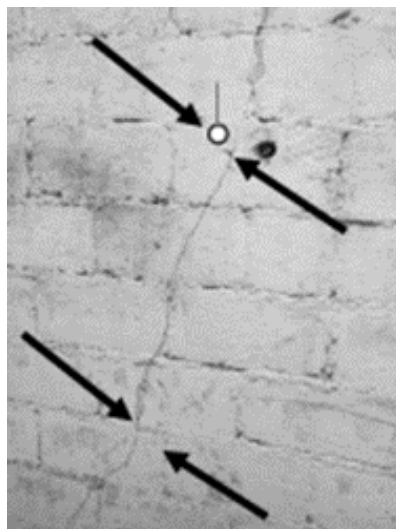
La evaluación deja respaldo de las patologías encontradas, mediante fotografías, las cuales sirvieron para confirmar el resultado de la vulnerabilidad y la patología presentada. Se muestran algunas fotografías como referencia. El total de las fotografías están al acceder al enlace en el anexo uno.

Figura 106. **Patología para calificación ERI = 42.5**



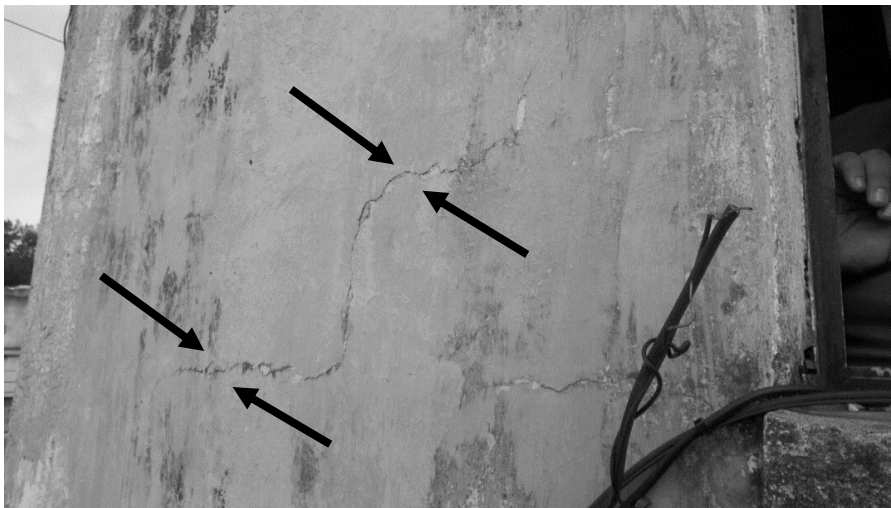
Fuente: [Fotografía de Marco García]. (Guatemala, 2019). Colección particular. Guatemala.

Figura 107. **Patología para calificación ERI = 45**



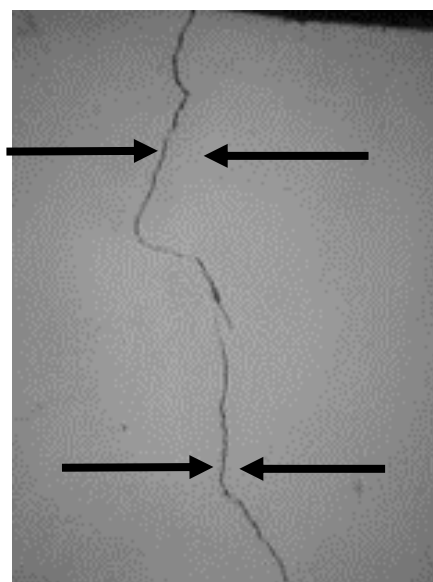
Fuente: [Fotografía de Marco García]. (Guatemala, 2019). Colección particular. Guatemala.

Figura 108. **Patología para ERI = 55**



Fuente: [Fotografía de Marco García]. (Guatemala, 2019). Colección particular. Guatemala.

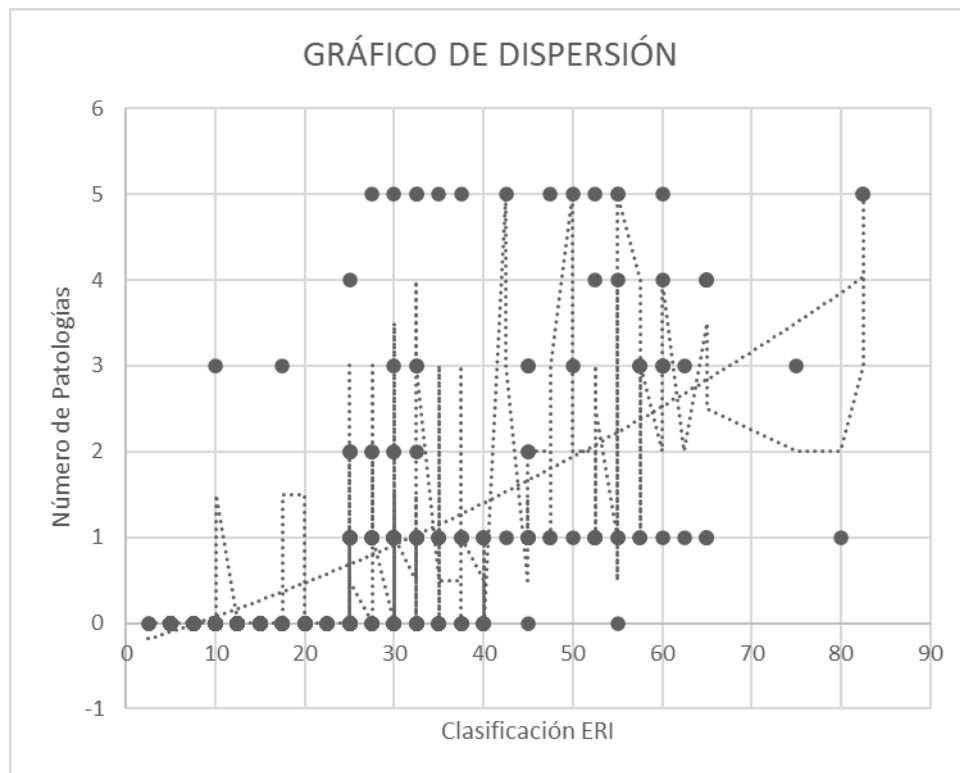
Figura 109. **Patología para ERI = 60**



Fuente: [Fotografía de Marco García]. (Guatemala, 2019). Colección particular. Guatemala.

Según lo anterior, y tomando en consideración la clasificación ERI de forma ordenada y el número de lesiones o patologías reportadas por los evaluadores, se puede mostrar el siguiente gráfico de dispersión:

Figura 110. **Gráfico de dispersión, todas las evaluaciones**

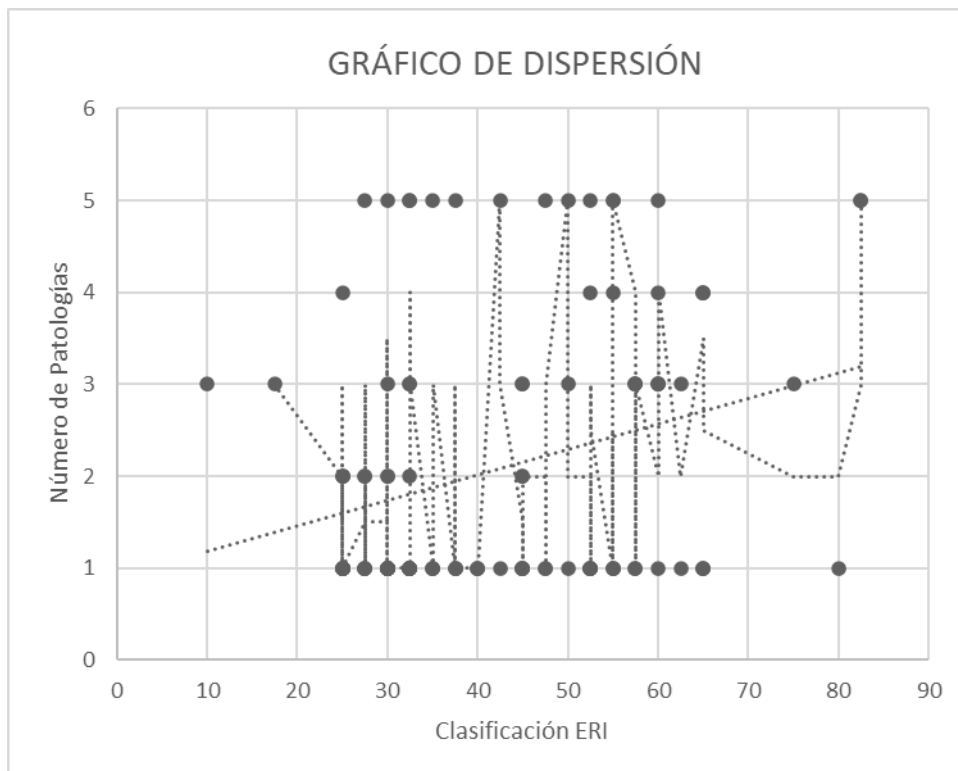


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Cabe destacar que el coeficiente de correlación no es una medida confiable para nuestras variables, pues al observar el gráfico de dispersión, la relación que se tiene es cíclica, por lo que no hay correlación, y el coeficiente daría un valor que no debería interpretarse como válido.

Al eliminar los valores atípicos, los cuales son las edificaciones o clasificaciones ERI que no muestran ninguna patología, se tiene la siguiente gráfica.

Figura 111. **Gráfico de dispersión, evaluaciones con patologías**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Nuevamente, al observar las líneas de tendencia que se agregan, incluyendo una línea cíclica, puede observarse que no hay correlación entre las variables.

Según lo anterior, y tomando en consideración las trescientos veintiocho evaluaciones realizadas por evaluadores capacitados, los cuales en su momento

cursaban la carrera de ingeniería civil del sexto semestre en adelante, en estructuras de mampostería en la ciudad de Guatemala y departamentos cercanos, podría concluirse que no existen ninguna relación entre la vulnerabilidad estructural y la aparición de patologías o lesiones físicas definidas en los primero capítulos de la presente investigación.

CONCLUSIONES

1. Las patologías de las estructuras evaluadas no se correlacionan con el riesgo sísmico y vulnerabilidad en estructuras de mampostería reforzada en la Ciudad de Guatemala.
2. Las patologías identificadas se manifiestan como fisuras o grietas en su mayoría, y en un menor porcentaje como humedades, principalmente por capilaridad o humedad ascendente.
3. Se realizó la comparación entre los distintos métodos que podríamos utilizar en Guatemala para la evaluación de vulnerabilidad, destacando la evaluación propuesta (ERI), así como la aplicación práctica mediante teléfono inteligente y los datos remotos que puede proporcionar la aplicación.
4. Las variables correlacionadas al riesgo sísmico se ponderaron mediante la aplicación ERI, dando como resultado un número fácil de interpretar y definiendo estructuras vulnerables cuando la calificación sea mayor a treinta y seis puntos.
5. Se pudo establecer que las manifestaciones patológicas no se correlacionan con el riesgo sísmico y su respectiva vulnerabilidad estructural.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar y adaptar la aplicación ERI para evaluaciones estructurales post sismo, es decir posterior a un evento sísmico importante.
2. Fomentar la elaboración de una aplicación gratuita, ya que la aplicación ERI se hizo mediante la página www.fulcrumapp.com, la cual es una aplicación de pago.
3. Realizar talleres para la correcta implementación de la herramienta de evaluación y ampliar el tiempo de las mismas.
4. Utilizar la información del presente trabajo de investigación para eliminar la creencia de que todas las manifestaciones patológicas, especialmente las relacionadas con grietas o fisuras, muestran una mala configuración o una vulnerabilidad estructural grande.
5. Utilizar la información generada en esta investigación puede ser utilizada para temas relacionados a la reparación de las manifestaciones patológicas mostradas.

REFERENCIAS

1. American Concrete Institute. (1999). *ACI 364.R-94: Guía para la evaluación de estructuras de hormigón Antes de Rehabilitación*. Estados Unidos de América: Autor.
2. Anónimo. (s.f.). *Fisuras y Grietas en Tabiques. Principios. Técnicas de Intervención*. España: Autor.
3. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2014). *Manual de diseño sismo-resistente simplificado mampostería de block de concreto para Guatemala*. Guatemala: Autor.
4. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2015a). *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores*. Guatemala: Autor.
5. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2015b). *Guía técnica AGIES DSE 7.9-1: Paredes de baja ductilidad de concreto con refuerzo utilizadas como elementos principales de soporte*. Guatemala: Autor.
6. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2018a). *Normas de seguridad estructural para Guatemala NSE 1: Generalidades, Administración de las Normas y Supervisión Técnica*. Guatemala: Autor.

7. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2018b). *Normas de seguridad estructural para Guatemala NSE 2: Demandas estructurales y condiciones de sitio*. Guatemala: Autor.
8. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2018c). *Normas de seguridad estructural para Guatemala NSE 3: Diseño Estructural de edificaciones*. Guatemala: Autor.
9. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2018d). *Normas de seguridad estructural para Guatemala NSE 6: Evaluación y rehabilitación de obras existentes*. Guatemala: Autor.
10. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2019). *Manual de Evaluación de Vulnerabilidad Estructural en Edificaciones de Mampostería Reforzada y No Reforzada*. Guatemala: Autor.
11. Astorga, A. y Rivero, P. (2009). *Patologías en las edificaciones*. Venezuela: Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos.
12. Basset, L. (2016). *Proceso de diagnóstico de la patología de las cimentaciones*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
13. Benedetti, B., Benzoni, G. y Parisi, M. (1988). *Seismic vulnerability and risk evaluation for old urban nueclei*. Estados Unidos: Autor.
14. Bonett, R. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada* (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña, España.

15. Calavera, J. (2005). *Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado*. Madrid: Intemac.
16. Cardenas, L. (2008). *Análisis de Vulnerabilidad Estructural del Hotel Comercio* (Tesis de licenciatura). Universidad Ricardo Palma, Perú.
17. Chupina, A. y Luna, J. (2015). *Susceptibilidad a la licuefacción en la planicie costera del pacífico de Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
18. DCTA-UPM. (1999). *Tratado de la Rehabilitación*. Madrid, España: Munilla-Lería.
19. Diaz, P. (2014). *Protocolo para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado en Colombia* (Tesis de maestría). Universidad Javeriana, Bogotá.
20. Enciclopedia Broto. (2000). *Patologías de la Construcción*. Madrid, España: Links.
21. Estevez, J. (2003). *Patología y Recuperación de Estructuras de Hormigón*. Madrid, España: Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia.
22. Federal Emergency Management Agency. (2015). *FEMA P-154- Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook*. Estados Unidos: Autor.

23. G.I.S.Ibérica. (15 de enero, 2018). Fisurómetros. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://www.gisiberica.com/fisurómetros/FI127.html>..
24. Guillén, L. (2005). *Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones por Muestreo Estadístico* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, México.
25. Helene, P. y Pazini, E. (2003). *Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón: Reparación, Refuerzo y Protección*. Sao Paulo, Brazil: Rehabilitar.
26. Hurtado, C. (25 de noviembre, 2020). Reparar grietas y fisuras en paredes. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://quelepasaamicasa.com/patologias/grietas-y-fisuras/reparar-grietas-fisuras-pared/>.
27. Internacional Organization for Standardization. (2013). *Directrices para la evaluación sísmica simplificada y rehabilitación de edificios de concreto*. Estados Unidos: Autor.
28. Kelmansky, D. (2009). *Estadística para todos*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
29. Lasheras, F. (marzo, 2006). Algunos conceptos básicos en patología de la edificación. *Revista electrónica RECOPAR*, I(1), 19-27.

30. López, F., Rodríguez, V., Santa Cruz, J., Torreño, I. y Ubeda, P. (2004). *Manual de patología de edificación*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
31. Mejía, C. (2017). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto en columnas, vigas y muros de albañilería confinada* (Tesis de licenciatura). Universidad Católica de los Angeles de Chimboto, Perú.
32. Monjo, J. y Maldonado, L. (2004). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*. Madrid, España.
33. Monzón, H. (1996). *La construcción y el uso del terreno en Guatemala - su vulnerabilidad sísmica-*. Guatemala: Autor.
34. Monzón, H. (2009). *Cálculo de cargas sísmicas para diseño de estructuras en Guatemala*. Guatemala: Autor.
35. Monzón, H. (2014). *Manual de diseño sismo resistente simplificado: Mampostería de block de concreto*. Guatemala: AGIES.
36. Monzón, H., Ligorria, P., Yon, M., Flores, O. y Gil, C. (2013). *Lecciones reiteradas del terremoto en el occidente de Guatemala el 7 de noviembre de 2012*. Guatemala: AGIES.
37. Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). *Mampostería Estructural*. Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
38. Osorio, R. (s.f). *El lenguaje de las grietas*. Madrid, España: Autor.

39. Río, A. (2003). *Patología, Reparación y Refuerzo de Estructuras de Hormigón Armado de Edificación*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
40. Rojo, R. (2015). *Estudio de manifestaciones patológicas en materiales de construcción aplicado a tres tipología de edificios*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
41. Schacher, T. y Hart, T. (2015). *Construction Guide for Low-Rise Confined Masonry Buldings*. California, Estados Unidos: EERI.
42. Secretaría de Gestión de Riesgos de Ecuador. (2016). *Evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras*. Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
43. Serrano, F. (2005). *Patología de la edificación. El lenguaje de las grietas*. Madrid, España: Fundación Escuela de la Edificación.
44. Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles. (2017). *ASCE/SEI 41-17: Seismic evaluation and retrofit of existing buildings*. Virginia, Estados Unidos: Autor.
45. Treviño, E. (1998). *Patología de las estructuras de concreto reforzado*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
46. Udías, A. (enero, 1998). Introducción: sismicidad y sismotectónica de América Central y del Sur. *Física de la tierra*, (1), 11-17.

47. Yépez, F. y Canas, J. (1995). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. Barcelona, España: Autor.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de resultados de evaluación**

No.	EVALUADOR	CLASIFICACIÓN ERI	NO. DE PATOLOGÍAS
1	josue.b.c21@gmail.com	2.5	0
2	dgvilla_barsa@outlook.com	2.5	0
3	henry.monroy1@gmail.com	5	0
4	henry.monroy1@gmail.com	5	0
5	henry.monroy1@gmail.com	5	0
6	henry.monroy1@gmail.com	5	0
7	axelismatul@gmail.com	5	0
8	axelismatul@gmail.com	5	0
9	sergiomedher1997@gmail.com	5	0
10	sergiomedher1997@gmail.com	5	0
11	ccamas131@gmail.com	5	0
12	ccamas131@gmail.com	5	0
13	ccamas131@gmail.com	5	0
14	ccamas131@gmail.com	5	0
15	henry.monroy1@gmail.com	5	0
16	axelismatul@gmail.com	5	0
17	wilbertrabajos@gmail.com	5	0
18	wilbertrabajos@gmail.com	5	0
19	dljrjr10@gmail.com	5	0
20	dljrjr10@gmail.com	5	0
21	jjsotoj2010.jh@gmail.com	5	0
22	jjsotoj2010.jh@gmail.com	5	0
23	dljrjr10@gmail.com	5	0
24	vero.pece@gmail.com	5	0

Continuación apéndice 1.

25	jjsotoj2010.jh@gmail.com	5	0
26	vero.pece@gmail.com	5	0
27	victorespada1992@yahoo.es	5	0
28	victorespada1992@yahoo.es	5	0
29	cortezsaule98@gmail.com	5	0
30	fernandoo.corderoo@gmail.com	5	0
31	1335oestrada@gmail.com	5	0
32	ottorene8899@gmail.com	5	0
33	ottorene8899@gmail.com	5	0
34	ottorene8899@gmail.com	5	0
35	ottorene8899@gmail.com	5	0
36	pivaralpablo@gmail.com	5	0
37	pivaralpablo@gmail.com	5	0
38	josuepr23@gmail.com	5	0
39	vivarbayron@gmail.com	5	0
40	alexwork0302@gmail.com	5	0
41	alexwork0302@gmail.com	5	0
42	alexwork0302@gmail.com	5	0
43	alexwork0302@gmail.com	5	0
44	pivaralpablo@gmail.com	5	0
45	juanchorodas10@gmail.com	5	0
46	kevincortezr@gmail.com	5	0
47	mgarciaalvarez145@gmail.com	5	0
48	dgvilla_barsa@outlook.com	5	0
49	juliofro26@gmail.com	5	0
50	rsolisf5@gmail.com	5	0
51	rsolisf5@gmail.com	5	0
52	rock13bryanxd@gmail.com	5	0
53	dereck8a@gmail.com	5	0
54	dereck8a@gmail.com	5	0
55	dereck8a@gmail.com	5	0
56	dereck8a@gmail.com	5	0
57	dereck8a@gmail.com	5	0
58	dereck8a@gmail.com	5	0
59	b.ximena13@gmail.com	7.5	0
60	b.ximena13@gmail.com	7.5	0

Continuación apéndice 1.

61	b.ximena13@gmail.com	7.5	0
62	henry.monroy1@gmail.com	7.5	0
63	joselinemcardenas31@gmail.com	7.5	0
64	diego_navas@yahoo.com.ar	7.5	0
65	1335oestrada@gmail.com	7.5	0
66	1335oestrada@gmail.com	7.5	0
67	moralesbyron11@gmail.com	7.5	0
68	alexwork0302@gmail.com	7.5	0
69	alexwork0302@gmail.com	7.5	0
70	moralesbyron11@gmail.com	7.5	0
71	byronalvarado94@gmail.com	7.5	0
72	j10santizo@gmail.com	7.5	0
73	j10santizo@gmail.com	7.5	0
74	gruposcecarh2018@gmail.com	7.5	0
75	jdaniel17@live.com	10	0
76	gerardog370@gmail.com	10	0
77	gerardog370@gmail.com	10	0
78	shabiarchila@gmail.com	10	0
79	ga.rodas94@gmail.com	10	0
80	ga.rodas94@gmail.com	10	0
81	vero.pece@gmail.com	10	0
82	vero.pece@gmail.com	10	0
83	shabiarchila@gmail.com	10	0
84	salazaralejandro2927@gmail.com	10	0
85	shabiarchila@gmail.com	10	0
86	shabiarchila@gmail.com	10	0
87	rociodbroy_8@hotmail.com	10	0
88	rociodbroy_8@hotmail.com	10	0
89	rociodbroy_8@hotmail.com	10	0
90	rociodbroy_8@hotmail.com	10	0
91	aroldoh.1210@gmail.com	10	0
92	aroldoh.1210@gmail.com	10	0
93	steven.espana@gmail.com	10	0
94	salazaralejandro2927@gmail.com	10	0
95	moralesbyron11@gmail.com	10	0
96	moralesbyron11@gmail.com	10	0

Continuación apéndice 1.

97	kevincortezr@gmail.com	10	0
98	kevincortezr@gmail.com	10	0
99	rsolisf5@gmail.com	10	0
100	rsolisf5@gmail.com	10	0
101	byronalvarado94@gmail.com	10	0
102	fernandoysia3@gmail.com	10	0
103	fernandoysia3@gmail.com	10	0
104	jargo9805@gmail.com	10	0
105	byronalvarado94@gmail.com	10	0
106	sotodiego.997@gmail.com	10	0
107	byronalvarado94@gmail.com	10	3
108	gruposcecarh2018@gmail.com	10	0
109	dennisronaldo1@hotmail.com	12.5	0
110	dennisronaldo1@hotmail.com	12.5	0
111	ya.hernandez91@gmail.com	12.5	0
112	ya.hernandez91@gmail.com	12.5	0
113	josuepr23@gmail.com	12.5	0
114	rudymorales658@gmail.com	12.5	0
115	soviedo2896@gmail.com	12.5	0
116	robry1916@gmail.com	12.5	0
117	robry1916@gmail.com	12.5	0
118	soviedo2896@gmail.com	12.5	0
119	tekxhan@yahoo.es	12.5	0
120	juliofro26@gmail.com	12.5	0
121	juliofro26@gmail.com	12.5	0
122	alexso094@gmail.com	12.5	0
123	mmendez5040@gmail.com	12.5	0
124	mmendez5040@gmail.com	12.5	0
125	sotodiego.997@gmail.com	12.5	0
126	ga.rodas94@gmail.com	15	0
127	julio.tobar3990@gmail.com	15	0
128	julio.tobar3990@gmail.com	15	0
129	siquivachee@gmail.com	15	0
130	diego_navas@yahoo.com.ar	15	0
131	pivaralpablo@gmail.com	15	0
132	juanchorodas10@gmail.com	15	0

Continuación apéndice 1.

133	alejandraco4.7.99@gmail.com	15	0
134	carlsabad13@gmail.com	15	0
135	carlsabad13@gmail.com	15	0
136	carlsabad13@gmail.com	15	0
137	sandra.ang.jos@gmail.com	15	0
138	shabiarchila@gmail.com	17.5	0
139	darlin.pereda21@gmail.com	17.5	0
140	keillicotzajay@hotmail.com	17.5	0
141	rudymorales658@gmail.com	17.5	0
142	anthonygonzaleez@gmail.com	17.5	0
143	anthonygonzaleez@gmail.com	17.5	0
144	anthonygonzaleez@gmail.com	17.5	0
145	hjosue233@gmail.com	17.5	0
146	fernandoysia3@gmail.com	17.5	0
147	dejorosas@gmail.com	17.5	0
148	dejorosas@gmail.com	17.5	3
149	humberto18@gmail.com	20	0
150	victorespada1992@yahoo.es	20	0
151	andycanojerez@gmail.com	20	0
152	mmendez5040@gmail.com	20	0
153	mmendez5040@gmail.com	20	0
154	gamasilver@hotmail.com	20	0
155	fernandoysia3@gmail.com	20	0
156	fernandoysia3@gmail.com	20	0
157	carlsabad13@gmail.com	20	0
158	dejorosas@gmail.com	20	0
159	dejorosas@gmail.com	20	0
160	jdaniel17@live.com	22.5	0
161	edgarmorales985@gmail.com	22.5	0
162	rojasgonzalez97@gmail.com	22.5	0
163	rojasgonzalez97@gmail.com	22.5	0
164	ashley.98.ag@gmail.com	22.5	0
165	jeduardorp89@gmail.com	25	0
166	humberto18@gmail.com	25	0
167	humberto18@gmail.com	25	0
168	b.ximena13@gmail.com	25	0

Continuación apéndice 1.

169	julio9rm@gmail.com	25	1
170	julio9rm@gmail.com	25	1
171	julio9rm@gmail.com	25	1
172	julio9rm@gmail.com	25	1
173	jjsotoj2010.jh@gmail.com	25	0
174	jjsotoj2010.jh@gmail.com	25	0
175	jjsotoj2010.jh@gmail.com	25	0
176	jjsotoj2010.jh@gmail.com	25	0
177	joselinemcardenas31@gmail.com	25	0
178	joselinemcardenas31@gmail.com	25	0
179	keillicotzajay@hotmail.com	25	0
180	keillicotzajay@hotmail.com	25	0
181	keillicotzajay@hotmail.com	25	4
182	xiioo216@gmail.com	25	2
183	xiioo216@gmail.com	25	1
184	xiioo216@gmail.com	25	0
185	xiioo216@gmail.com	25	2
186	kemejuansebastian@gmail.com	25	2
187	tekxhan@yahoo.es	25	0
188	erick.27ch@gmail.com	25	0
189	erick.27ch@gmail.com	25	1
190	rock13bryanxd@gmail.com	25	1
191	rock13bryanxd@gmail.com	25	1
192	jargo9805@gmail.com	25	0
193	crzshnd00@gmail.com	27.5	0
194	crzshnd00@gmail.com	27.5	0
195	crzshnd00@gmail.com	27.5	0
196	merdl_gym@hotmail.com	27.5	2
197	crzshnd00@gmail.com	27.5	
198	marcogarciad@yahoo.com	27.5	1
199	tammyselfkin29@gmail.com	27.5	5
200	rock13bryanxd@gmail.com	27.5	1
201	fernandoysia3@gmail.com	27.5	1
202	fernandoysia3@gmail.com	27.5	1
203	fernandoysia3@gmail.com	27.5	2
204	j10santizo@gmail.com	27.5	0

Continuación apéndice 1.

205	humberto18@gmail.com	30	0
206	humberto18@gmail.com	30	0
207	merdl_gym@hotmail.com	30	1
208	merdl_gym@hotmail.com	30	1
209	merdl_gym@hotmail.com	30	1
210	merdl_gym@hotmail.com	30	1
211	gerardoleche7@gmail.com	30	1
212	julio9rm@gmail.com	30	1
213	jhimi_lopez@hotmail.com	30	1
214	dljrjr10@gmail.com	30	0
215	dljrjr10@gmail.com	30	3
216	dljrjr10@gmail.com	30	0
217	dljrjr10@gmail.com	30	0
218	jalvarado3837@gmail.com	30	1
219	rojasgonzalez97@gmail.com	30	2
220	rojasgonzalez97@gmail.com	30	0
221	steven.espana@gmail.com	30	0
222	steven.espana@gmail.com	30	1
223	darlin.pereda21@gmail.com	30	2
224	darlin.pereda21@gmail.com	30	5
225	joselinemcardenas31@gmail.com	30	1
226	joselinemcardenas31@gmail.com	30	1
227	tammysselkin29@gmail.com	30	1
228	ronalmiguelsunun@gmail.com	32.5	0
229	ronalmiguelsunun@gmail.com	32.5	0
230	crzshnd00@gmail.com	32.5	1
231	crzshnd00@gmail.com	32.5	1
232	crzshnd00@gmail.com	32.5	1
233	jhimi_lopez@hotmail.com	32.5	1
234	gerber1993@hotmail.com	32.5	1
235	gerber1993@hotmail.com	32.5	1
236	kemejuansebastian@gmail.com	32.5	0
237	kemejuansebastian@gmail.com	32.5	0
238	sotoobed17@gmail.com	32.5	1
239	sotoobed17@gmail.com	32.5	2
240	sotoobed17@gmail.com	32.5	1

Continuación apéndice 1.

241	hjosue233@gmail.com	32.5	0
242	jesusbarca121@gmail.com	32.5	3
243	jesusbarca121@gmail.com	32.5	5
244	pedrojosemndz@gmail.com	32.5	3
245	pedrojosemndz@gmail.com	32.5	5
246	rock13bryanxd@gmail.com	32.5	1
247	axelismatul@gmail.com	35	0
248	axelismatul@gmail.com	35	0
249	erick.27ch@gmail.com	35	1
250	alejandracoy4.7.99@gmail.com	35	1
251	pedrojosemndz@gmail.com	35	5
252	sandra.ang.jos@gmail.com	35	0
253	sandra.ang.jos@gmail.com	35	0
254	pedrojosemndz@gmail.com	35	1
255	jeduardorp89@gmail.com	37.5	0
256	jeduardorp89@gmail.com	37.5	0
257	sergiomedher1997@gmail.com	37.5	1
258	julio.tobar3990@gmail.com	37.5	0
259	julio.tobar3990@gmail.com	37.5	0
260	fernandoysia3@gmail.com	37.5	5
261	fernandoysia3@gmail.com	37.5	1
262	fernandoysia3@gmail.com	37.5	1
263	danielortega2020@gmail.com	40	0
264	danielortega2020@gmail.com	40	0
265	jalvarado3837@gmail.com	40	1
266	rojasgonzalez97@gmail.com	40	1
267	tammysselkin29@gmail.com	40	1
268	andycanojerez@gmail.com	40	0
269	andycanojerez@gmail.com	40	0
270	robry1916@gmail.com	40	0
271	robry1916@gmail.com	40	
272	richard.ing188@gmail.com	42.5	5
273	richard.ing188@gmail.com	42.5	1
274	jeduardorp89@gmail.com	45	0
275	gerardoleche7@gmail.com	45	2
276	wilbertrabajos@gmail.com	45	1

Continuación apéndice 1.

277	xiioo216@gmail.com	45	1
278	xiioo216@gmail.com	45	1
279	xiioo216@gmail.com	45	2
280	xiioo216@gmail.com	45	1
281	ya.hernandez91@gmail.com	45	3
282	ya.hernandez91@gmail.com	45	1
283	tammyselfkin29@gmail.com	45	3
284	jesusbarca121@gmail.com	47.5	1
285	jesusbarca121@gmail.com	47.5	1
286	gamasilver@hotmail.com	47.5	5
287	fernandoo.corderoo@gmail.com	50	5
288	mtejadaleiva32@gmail.com	50	1
289	mtejadaleiva32@gmail.com	50	3
290	josemontejo58@hotmail.com	52.5	1
291	siquivachee@gmail.com	52.5	1
292	siquivachee@gmail.com	52.5	1
293	josue.b.c21@gmail.com	52.5	5
294	josue.b.c21@gmail.com	52.5	1
295	alexso094@gmail.com	52.5	4
296	alexso094@gmail.com	52.5	1
297	ronalmiguelsunun@gmail.com	55	
298	richard.ing188@gmail.com	55	4
299	richard.ing188@gmail.com	55	1
300	richard.ing188@gmail.com	55	1
301	marcogarciad@yahoo.com	55	0
302	soviedo2896@gmail.com	55	5
303	soviedo2896@gmail.com	55	5
304	carlosfino90@gmail.com	57.5	3
305	sotoobed17@gmail.com	57.5	1
306	sotoobed17@gmail.com	57.5	1
307	ashley.98.ag@gmail.com	57.5	3
308	ashley.98.ag@gmail.com	57.5	3
309	carlosfino90@gmail.com	60	1
310	ccamas131@gmail.com	60	3
311	aroldoh.1210@gmail.com	60	4
312	aroldoh.1210@gmail.com	60	3

Continuación apéndice 1.

313	dannimendez117@gmail.com	60	5
314	dannimendez117@gmail.com	60	3
315	josemontejo58@hotmail.com	62.5	1
316	tammyselfkin29@gmail.com	62.5	3
317	pedro_josequerex@hotmail.com	65	4
318	pedro_josequerex@hotmail.com	65	1
319	pedro_josequerex@hotmail.com	65	4
320	pedro_josequerex@hotmail.com	65	1
321	bryanalg1997@gmail.com	65	4
322	vivarbayron@gmail.com	65	1
323	edgarmorales985@gmail.com	75	3
324	cortezsaulc98@gmail.com	80	1
325	ronalmiguelsunun@gmail.com	82.5	5
326	ronalmiguelsunun@gmail.com	82.5	5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 2. Formato de evaluación ERI, versión manual

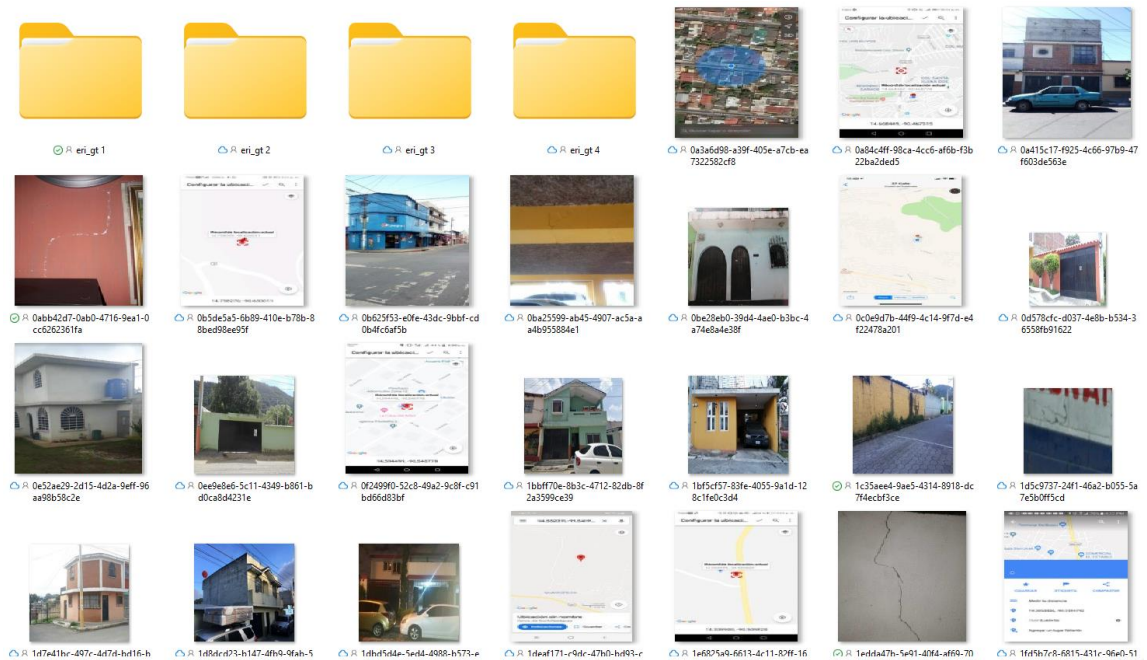
Fotografías de identificación y localización de la edificación		Identificación de la edificación	
FOTOGRAFÍA DE LA FACHADA CAPTURA DE PANTALLA DE LOCALIZACIÓN		FORMULARIO DE EVALUACIÓN RÁPIDA INICIAL DE RIESGO SÍSMICO (ERI) TESS DE INVESTIGACIÓN, MAESTRÍA EN ESTRUCTURAS, USAC, AUTOR: MARCO ANTONIO GARCÍA GÓZ DETERMINACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS CORRELACIONADAS AL RIESGO SÍSMICO EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA Dirección: _____ Referencias de la ubicación: _____ Nombre de la edificación: _____ Localidad, Longitud: _____ Amenazas Sísmicas Categoría Ocupacional (AGES NSE 1.3.1) _____ Cat III: Importante _____ Cat IV: Esencial _____ Cat I: Utilitaria _____ Cat II: Ordinaria _____ Índice de sismicidad (AGES NSE 2.4.3.1) _____ S₀ _____ S₁ _____ Nivel de protección sísmica (AGES NSE2.4.2.3.1) _____ Amenazas Geotécnicas del sitio Potencial de licuación: ☐ S ☐ N ☐ D ☐ 2.5 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 ☐ 11 ☐ 12 ☐ 13 ☐ 14 ☐ 15 ☐ 16 ☐ 17 ☐ 18 ☐ 19 ☐ 20 ☐ 21 ☐ 22 ☐ 23 ☐ 24 ☐ 25 ☐ 26 ☐ 27 ☐ 28 ☐ 29 ☐ 30 ☐ 31 ☐ 32 ☐ 33 ☐ 34 ☐ 35 ☐ 36 ☐ 37 ☐ 38 ☐ 39 ☐ 40 ☐ 41 ☐ 42 ☐ 43 ☐ 44 ☐ 45 ☐ 46 ☐ 47 ☐ 48 ☐ 49 ☐ 50 ☐ 51 ☐ 52 ☐ 53 ☐ 54 ☐ 55 ☐ 56 ☐ 57 ☐ 58 ☐ 59 ☐ 60 ☐ 61 ☐ 62 ☐ 63 ☐ 64 ☐ 65 ☐ 66 ☐ 67 ☐ 68 ☐ 69 ☐ 70 ☐ 71 ☐ 72 ☐ 73 ☐ 74 ☐ 75 ☐ 76 ☐ 77 ☐ 78 ☐ 79 ☐ 80 ☐ 81 ☐ 82 ☐ 83 ☐ 84 ☐ 85 ☐ 86 ☐ 87 ☐ 88 ☐ 89 ☐ 90 ☐ 91 ☐ 92 ☐ 93 ☐ 94 ☐ 95 ☐ 96 ☐ 97 ☐ 98 ☐ 99 ☐ 100 ☐ 101 ☐ 102 ☐ 103 ☐ 104 ☐ 105 ☐ 106 ☐ 107 ☐ 108 ☐ 109 ☐ 110 ☐ 111 ☐ 112 ☐ 113 ☐ 114 ☐ 115 ☐ 116 ☐ 117 ☐ 118 ☐ 119 ☐ 120 ☐ 121 ☐ 122 ☐ 123 ☐ 124 ☐ 125 ☐ 126 ☐ 127 ☐ 128 ☐ 129 ☐ 130 ☐ 131 ☐ 132 ☐ 133 ☐ 134 ☐ 135 ☐ 136 ☐ 137 ☐ 138 ☐ 139 ☐ 140 ☐ 141 ☐ 142 ☐ 143 ☐ 144 ☐ 145 ☐ 146 ☐ 147 ☐ 148 ☐ 149 ☐ 150 ☐ 151 ☐ 152 ☐ 153 ☐ 154 ☐ 155 ☐ 156 ☐ 157 ☐ 158 ☐ 159 ☐ 160 ☐ 161 ☐ 162 ☐ 163 ☐ 164 ☐ 165 ☐ 166 ☐ 167 ☐ 168 ☐ 169 ☐ 170 ☐ 171 ☐ 172 ☐ 173 ☐ 174 ☐ 175 ☐ 176 ☐ 177 ☐ 178 ☐ 179 ☐ 180 ☐ 181 ☐ 182 ☐ 183 ☐ 184 ☐ 185 ☐ 186 ☐ 187 ☐ 188 ☐ 189 ☐ 190 ☐ 191 ☐ 192 ☐ 193 ☐ 194 ☐ 195 ☐ 196 ☐ 197 ☐ 198 ☐ 199 ☐ 200 ☐ 201 ☐ 202 ☐ 203 ☐ 204 ☐ 205 ☐ 206 ☐ 207 ☐ 208 ☐ 209 ☐ 210 ☐ 211 ☐ 212 ☐ 213 ☐ 214 ☐ 215 ☐ 216 ☐ 217 ☐ 218 ☐ 219 ☐ 220 ☐ 221 ☐ 222 ☐ 223 ☐ 224 ☐ 225 ☐ 226 ☐ 227 ☐ 228 ☐ 229 ☐ 230 ☐ 231 ☐ 232 ☐ 233 ☐ 234 ☐ 235 ☐ 236 ☐ 237 ☐ 238 ☐ 239 ☐ 240 ☐ 241 ☐ 242 ☐ 243 ☐ 244 ☐ 245 ☐ 246 ☐ 247 ☐ 248 ☐ 249 ☐ 250 ☐ 251 ☐ 252 ☐ 253 ☐ 254 ☐ 255 ☐ 256 ☐ 257 ☐ 258 ☐ 259 ☐ 260 ☐ 261 ☐ 262 ☐ 263 ☐ 264 ☐ 265 ☐ 266 ☐ 267 ☐ 268 ☐ 269 ☐ 270 ☐ 271 ☐ 272 ☐ 273 ☐ 274 ☐ 275 ☐ 276 ☐ 277 ☐ 278 ☐ 279 ☐ 280 ☐ 281 ☐ 282 ☐ 283 ☐ 284 ☐ 285 ☐ 286 ☐ 287 ☐ 288 ☐ 289 ☐ 290 ☐ 291 ☐ 292 ☐ 293 ☐ 294 ☐ 295 ☐ 296 ☐ 297 ☐ 298 ☐ 299 ☐ 300 ☐ 301 ☐ 302 ☐ 303 ☐ 304 ☐ 305 ☐ 306 ☐ 307 ☐ 308 ☐ 309 ☐ 310 ☐ 311 ☐ 312 ☐ 313 ☐ 314 ☐ 315 ☐ 316 ☐ 317 ☐ 318 ☐ 319 ☐ 320 ☐ 321 ☐ 322 ☐ 323 ☐ 324 ☐ 325 ☐ 326 ☐ 327 ☐ 328 ☐ 329 ☐ 330 ☐ 331 ☐ 332 ☐ 333 ☐ 334 ☐ 335 ☐ 336 ☐ 337 ☐ 338 ☐ 339 ☐ 340 ☐ 341 ☐ 342 ☐ 343 ☐ 344 ☐ 345 ☐ 346 ☐ 347 ☐ 348 ☐ 349 ☐ 350 ☐ 351 ☐ 352 ☐ 353 ☐ 354 ☐ 355 ☐ 356 ☐ 357 ☐ 358 ☐ 359 ☐ 360 ☐ 361 ☐ 362 ☐ 363 ☐ 364 ☐ 365 ☐ 366 ☐ 367 ☐ 368 ☐ 369 ☐ 370 ☐ 371 ☐ 372 ☐ 373 ☐ 374 ☐ 375 ☐ 376 ☐ 377 ☐ 378 ☐ 379 ☐ 380 ☐ 381 ☐ 382 ☐ 383 ☐ 384 ☐ 385 ☐ 386 ☐ 387 ☐ 388 ☐ 389 ☐ 390 ☐ 391 ☐ 392 ☐ 393 ☐ 394 ☐ 395 ☐ 396 ☐ 397 ☐ 398 ☐ 399 ☐ 400 ☐ 401 ☐ 402 ☐ 403 ☐ 404 ☐ 405 ☐ 406 ☐ 407 ☐ 408 ☐ 409 ☐ 410 ☐ 411 ☐ 412 ☐ 413 ☐ 414 ☐ 415 ☐ 416 ☐ 417 ☐ 418 ☐ 419 ☐ 420 ☐ 421 ☐ 422 ☐ 423 ☐ 424 ☐ 425 ☐ 426 ☐ 427 ☐ 428 ☐ 429 ☐ 430 ☐ 431 ☐ 432 ☐ 433 ☐ 434 ☐ 435 ☐ 436 ☐ 437 ☐ 438 ☐ 439 ☐ 440 ☐ 441 ☐ 442 ☐ 443 ☐ 444 ☐ 445 ☐ 446 ☐ 447 ☐ 448 ☐ 449 ☐ 450 ☐ 451 ☐ 452 ☐ 453 ☐ 454 ☐ 455 ☐ 456 ☐ 457 ☐ 458 ☐ 459 ☐ 460 ☐ 461 ☐ 462 ☐ 463 ☐ 464 ☐ 465 ☐ 466 ☐ 467 ☐ 468 ☐ 469 ☐ 470 ☐ 471 ☐ 472 ☐ 473 ☐ 474 ☐ 475 ☐ 476 ☐ 477 ☐ 478 ☐ 479 ☐ 480 ☐ 481 ☐ 482 ☐ 483 ☐ 484 ☐ 485 ☐ 486 ☐ 487 ☐ 488 ☐ 489 ☐ 490 ☐ 491 ☐ 492 ☐ 493 ☐ 494 ☐ 495 ☐ 496 ☐ 497 ☐ 498 ☐ 499 ☐ 500 ☐ 501 ☐ 502 ☐ 503 ☐ 504 ☐ 505 ☐ 506 ☐ 507 ☐ 508 ☐ 509 ☐ 510 ☐ 511 ☐ 512 ☐ 513 ☐ 514 ☐ 515 ☐ 516 ☐ 517 ☐ 518 ☐ 519 ☐ 520 ☐ 521 ☐ 522 ☐ 523 ☐ 524 ☐ 525 ☐ 526 ☐ 527 ☐ 528 ☐ 529 ☐ 530 ☐ 531 ☐ 532 ☐ 533 ☐ 534 ☐ 535 ☐ 536 ☐ 537 ☐ 538 ☐ 539 ☐ 540 ☐ 541 ☐ 542 ☐ 543 ☐ 544 ☐ 545 ☐ 546 ☐ 547 ☐ 548 ☐ 549 ☐ 550 ☐ 551 ☐ 552 ☐ 553 ☐ 554 ☐ 555 ☐ 556 ☐ 557 ☐ 558 ☐ 559 ☐ 560 ☐ 561 ☐ 562 ☐ 563 ☐ 564 ☐ 565 ☐ 566 ☐ 567 ☐ 568 ☐ 569 ☐ 570 ☐ 571 ☐ 572 ☐ 573 ☐ 574 ☐ 575 ☐ 576 ☐ 577 ☐ 578 ☐ 579 ☐ 580 ☐ 581 ☐ 582 ☐ 583 ☐ 584 ☐ 585 ☐ 586 ☐ 587 ☐ 588 ☐ 589 ☐ 590 ☐ 591 ☐ 592 ☐ 593 ☐ 594 ☐ 595 ☐ 596 ☐ 597 ☐ 598 ☐ 599 ☐ 600 ☐ 601 ☐ 602 ☐ 603 ☐ 604 ☐ 605 ☐ 606 ☐ 607 ☐ 608 ☐ 609 ☐ 610 ☐ 611 ☐ 612 ☐ 613 ☐ 614 ☐ 615 ☐ 616 ☐ 617 ☐ 618 ☐ 619 ☐ 620 ☐ 621 ☐ 622 ☐ 623 ☐ 624 ☐ 625 ☐ 626 ☐ 627 ☐ 628 ☐ 629 ☐ 630 ☐ 631 ☐ 632 ☐ 633 ☐ 634 ☐ 635 ☐ 636 ☐ 637 ☐ 638 ☐ 639 ☐ 640 ☐ 641 ☐ 642 ☐ 643 ☐ 644 ☐ 645 ☐ 646 ☐ 647 ☐ 648 ☐ 649 ☐ 650 ☐ 651 ☐ 652 ☐ 653 ☐ 654 ☐ 655 ☐ 656 ☐ 657 ☐ 658 ☐ 659 ☐ 660 ☐ 661 ☐ 662 ☐ 663 ☐ 664 ☐ 665 ☐ 666 ☐ 667 ☐ 668 ☐ 669 ☐ 670 ☐ 671 ☐ 672 ☐ 673 ☐ 674 ☐ 675 ☐ 676 ☐ 677 ☐ 678 ☐ 679 ☐ 680 ☐ 681 ☐ 682 ☐ 683 ☐ 684 ☐ 685 ☐ 686 ☐ 687 ☐ 688 ☐ 689 ☐ 690 ☐ 691 ☐ 692 ☐ 693 ☐ 694 ☐ 695 ☐ 696 ☐ 697 ☐ 698 ☐ 699 ☐ 700 ☐ 701 ☐ 702 ☐ 703 ☐ 704 ☐ 705 ☐ 706 ☐ 707 ☐ 708 ☐ 709 ☐ 710 ☐ 711 ☐ 712 ☐ 713 ☐ 714 ☐ 715 ☐ 716 ☐ 717 ☐ 718 ☐ 719 ☐ 720 ☐ 721 ☐ 722 ☐ 723 ☐ 724 ☐ 725 ☐ 726 ☐ 727 ☐ 728 ☐ 729 ☐ 730 ☐ 731 ☐ 732 ☐ 733 ☐ 734 ☐ 735 ☐ 736 ☐ 737 ☐ 738 ☐ 739 ☐ 740 ☐ 741 ☐ 742 ☐ 743 ☐ 744 ☐ 745 ☐ 746 ☐ 747 ☐ 748 ☐ 749 ☐ 750 ☐ 751 ☐ 752 ☐ 753 ☐ 754 ☐ 755 ☐ 756 ☐ 757 ☐ 758 ☐ 759 ☐ 760 ☐ 761 ☐ 762 ☐ 763 ☐ 764 ☐ 765 ☐ 766 ☐ 767 ☐ 768 ☐ 769 ☐ 770 ☐ 771 ☐ 772 ☐ 773 ☐ 774 ☐ 775 ☐ 776 ☐ 777 ☐ 778 ☐ 779 ☐ 780 ☐ 781 ☐ 782 ☐ 783 ☐ 784 ☐ 785 ☐ 786 ☐ 787 ☐ 788 ☐ 789 ☐ 790 ☐ 791 ☐ 792 ☐ 793 ☐ 794 ☐ 795 ☐ 796 ☐ 797 ☐ 798 ☐ 799 ☐ 800 ☐ 801 ☐ 802 ☐ 803 ☐ 804 ☐ 805 ☐ 806 ☐ 807 ☐ 808 ☐ 809 ☐ 810 ☐ 811 ☐ 812 ☐ 813 ☐ 814 ☐ 815 ☐ 816 ☐ 817 ☐ 818 ☐ 819 ☐ 820 ☐ 821 ☐ 822 ☐ 823 ☐ 824 ☐ 825 ☐ 826 ☐ 827 ☐ 828 ☐ 829 ☐ 830 ☐ 831 ☐ 832 ☐ 833 ☐ 834 ☐ 835 ☐ 836 ☐ 837 ☐ 838 ☐ 839 ☐ 840 ☐ 841 ☐ 842 ☐ 843 ☐ 844 ☐ 845 ☐ 846 ☐ 847 ☐ 848 ☐ 849 ☐ 850 ☐ 851 ☐ 852 ☐ 853 ☐ 854 ☐ 855 ☐ 856 ☐ 857 ☐ 858 ☐ 859 ☐ 860 ☐ 861 ☐ 862 ☐ 863 ☐ 864 ☐ 865 ☐ 866 ☐ 867 ☐ 868 ☐ 869 ☐ 870 ☐ 871 ☐ 872 ☐ 873 ☐ 874 ☐ 875 ☐ 876 ☐ 877 ☐ 878 ☐ 879 ☐ 880 ☐ 881 ☐ 882 ☐ 883 ☐ 884 ☐ 885 ☐ 886 ☐ 887 ☐ 888 ☐ 889 ☐ 890 ☐ 891 ☐ 892 ☐ 893 ☐ 894 ☐ 895 ☐ 896 ☐ 897 ☐ 898 ☐ 899 ☐ 900 ☐ 901 ☐ 902 ☐ 903 ☐ 904 ☐ 905 ☐ 906 ☐ 907 ☐ 908 ☐ 909 ☐ 910 ☐ 911 ☐ 912 ☐ 913 ☐ 914 ☐ 915 ☐ 916 ☐ 917 ☐ 918 ☐ 919 ☐ 920 ☐ 921 ☐ 922 ☐ 923 ☐ 924 ☐ 925 ☐ 926 ☐ 927 ☐ 928 ☐ 929 ☐ 930 ☐ 931 ☐ 932 ☐ 933 ☐ 934 ☐ 935 ☐ 936 ☐ 937 ☐ 938 ☐ 939 ☐ 940 ☐ 941 ☐ 942 ☐ 943 ☐ 944 ☐ 945 ☐ 946 ☐ 947 ☐ 948 ☐ 949 ☐ 950 ☐ 951 ☐ 952 ☐ 953 ☐ 954 ☐ 955 ☐ 956 ☐ 957 ☐ 958 ☐ 959 ☐ 960 ☐ 961 ☐ 962 ☐ 963 ☐ 964 ☐ 965 ☐ 966 ☐ 967 ☐ 968 ☐ 969 ☐ 970 ☐ 971 ☐ 972 ☐ 973 ☐ 974 ☐ 975 ☐ 976 ☐ 977 ☐ 978 ☐ 979 ☐ 980 ☐ 981 ☐ 982 ☐ 983 ☐ 984 ☐ 985 ☐ 986 ☐ 987 ☐ 988 ☐ 989 ☐ 990 ☐ 991 ☐ 992 ☐ 993 ☐ 994 ☐ 995 ☐ 996 ☐ 997 ☐ 998 ☐ 999 ☐ 1000 ☐ 1001 ☐ 1002 ☐ 1003 ☐ 1004 ☐ 1005 ☐ 1006 ☐ 1007 ☐ 1008 ☐ 1009 ☐ 1010 ☐ 1011 ☐ 1012 ☐ 1013 ☐ 1014 ☐ 1015 ☐ 1016 ☐ 1017 ☐ 1018 ☐ 1019 ☐ 1020 ☐ 1021 ☐ 1022 ☐ 1023 ☐ 1024 ☐ 1025 ☐ 1026 ☐ 1027 ☐ 1028 ☐ 1029 ☐ 1030 ☐ 1031 ☐ 1032 ☐ 1033 ☐ 1034 ☐ 1035 ☐ 1036 ☐ 1037 ☐ 1038 ☐ 1039 ☐ 1040 ☐ 1041 ☐ 1042 ☐ 1043 ☐ 1044 ☐ 1045 ☐ 1046 ☐ 1047 ☐ 1048 ☐ 1049 ☐ 1050 ☐ 1051 ☐ 1052 ☐ 1053 ☐ 1054 ☐ 1055 ☐ 1056 ☐ 1057 ☐ 1058 ☐ 1059 ☐ 1060 ☐ 1061 ☐ 1062 ☐ 1063 ☐ 1064 ☐ 1065 ☐ 1066 ☐ 1067 ☐ 1068 ☐ 1069 ☐ 1070 ☐ 1071 ☐ 1072 ☐ 1073 ☐ 1074 ☐ 1075 ☐ 1076 ☐ 1077 ☐ 1078 ☐ 1079 ☐ 1080 ☐ 1081 ☐ 1082 ☐ 1083 ☐ 1084 ☐ 1085 ☐ 1086 ☐ 1087 ☐ 1088 ☐ 1089 ☐ 1090 ☐ 1091 ☐ 1092 ☐ 1093 ☐ 1094 ☐ 1095 ☐ 1096 ☐ 1097 ☐ 1098 ☐ 1099 ☐ 1100 ☐ 1101 ☐ 1102 ☐ 1103 ☐ 1104 ☐ 1105 ☐ 1106 ☐ 1107 ☐ 1108 ☐ 1109 ☐ 1110 ☐ 1111 ☐ 1112 ☐ 1113 ☐ 1114 ☐ 1115 ☐ 1116 ☐ 1117 ☐ 1118 ☐ 1119 ☐ 1120 ☐ 1121 ☐ 1122 ☐ 1123 ☐ 1124 ☐ 1125 ☐ 1126 ☐ 1127 ☐ 1128 ☐ 1129 ☐ 1130 ☐ 1131 ☐ 1132 ☐ 1133 ☐ 1134 ☐ 1135 ☐ 1136 ☐ 1137 ☐ 1138 ☐ 1139 ☐ 1140 ☐ 1141 ☐ 1142 ☐ 1143 ☐ 1144 ☐ 1145 ☐ 1146 ☐ 1147 ☐ 1148 ☐ 1149 ☐ 1150 ☐ 1151 ☐ 1152 ☐ 1153 ☐ 1154 ☐ 1155 ☐ 1156 ☐ 1157 ☐ 1158 ☐ 1159 ☐ 1160 ☐ 1161 ☐ 1162 ☐ 1163 ☐ 1164 ☐ 1165 ☐ 1166 ☐ 1167 ☐ 1168 ☐ 1169 ☐ 1170 ☐ 1171 ☐ 1172 ☐	

Continuación apéndice 2.

[illegible]

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

Apéndice 3. Fotografías y resultados de las evaluaciones



[Enlace a carpeta](#)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft OneDrive.