



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL BARRIO
SOLANDA SECTOR 1 EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO
MEDIANTE ENSAYO CON ACELERÓMETRO Y FORMATO DE
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.**

**AUTORES: GUALOTO GUACOLLANTE, JONATHAN DAVID
QUEREMBAS CHANATASI, OMAR DAVID**

DIRECTOR: ING. CAIZA SÁNCHEZ, PABLO ENRIQUE. PhD

SANGOLQUÍ

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL BARRIO SOLANDA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO MEDIANTE ENSAYO CON ACELERÓMETRO Y FORMATO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL**”, realizado por los señores **Gualoto Guacollante, Jonathan David y Querembas Chanatasi, Omar David**, ha sido realizado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, Enero 2019

Firma:

Ing. Caiza Sánchez, Pablo Enrique. PhD.

Director del Trabajo de Titulación

C.C: 1707597272



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Gualoto Guacollante, Jonathan David y Querembas Chanatasi, Omar David**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL BARRIO SOLANDA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO MEDIANTE ENSAYO CON ACELERÓMETRO Y FORMATO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, Enero 2019

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Jonathan David', written over a horizontal line.

Gualoto Guacollante, Jonathan David

C.C: 1723298053

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Omar David', written over a horizontal line.

Querembas Chanatasi, Omar David

C.C: 1721354239



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Gualoto Guacollante, Jonathan David y Querembas Chanatasi, Omar David**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL BARRIO SOLANDA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO MEDIANTE ENSAYO CON ACELERÓMETRO Y FORMATO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, Enero 2019

Firma:

Gualoto Guacollante, Jonathan David

C.C: 1723298053

Firma:

Querembas Chanatasi, Omar David

C.C: 1721354239

DEDICATORIA

Con todo mi esfuerzo para mi padre y mi madre.

A mis hermanas por alegrar mi vida y darme la fuerza

para seguir adelante con mis sueños.

A mi hermano que nunca dejará de ser el más pequeño del hogar.

A todas las víctimas que han sufrido los efectos devastadores

de desastres naturales, de los cuales la humanidad ha podido aprender.

A todas aquellas personas que luchan cada día por cumplir sus sueños, sabiendo, que la vida al

inicio no pudo darles una oportunidad, pero gracias a ello demostraron que con un poco de valor

y coraje se puede conseguir lo imposible.

Jonathan David Gualoto Guacollante

DEDICATORIA

A Dios quien me dio la sabiduría necesaria para poder desarrollar con éxito este proyecto.

A mis padres Galo y Sonia, que ha sido la fuente de inspiración constante para no rendirme y por brindarme sus enseñanzas de vida que me han servido para forjarme como una persona de bien.

A mis hermanos Galito y Daniela, a mi cuñado Emmanuel y a mis sobrinos Rafaela y Maximiliano por siempre alentarme en mis decisiones y apoyarme constantemente.

A todas las personas que han contribuido con un granito de arena en el desarrollo de este arduo proyecto.

Omar David Querembas Chanatasi

AGRADECIMIENTO

A mis padres Luis y Rosalía por demostrarme que la felicidad se puede encontrar en las cosas más simples de la vida, y apoyarme a lo largo de toda mi vida estudiantil.

A los docentes que conforman la Carrera de Ingeniería Civil por compartir su experiencia, conocimiento y valores.

Al Doctor Pablo Enrique Caiza Sánchez, ya que sin su ayuda la consecución de este trabajo hubiera sido imposible.

A todas las personas que han tenido influencia en mi desarrollo personal y académico.

A mis compañeros de carrera por los momentos compartidos que perduran para toda la vida.

Jonathan David Gualoto Guacollante

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y fortaleza necesaria para no rendirme en el transcurso de mi vida estudiantil y poder llegar así a la primera y más anhelada meta, tanto en mi vida personal como profesional.

*A mis padres Galo y Sonia de quienes me siento tan orgulloso pues incansablemente me brindaron su amor, sacrificio, trabajo y especialmente su tiempo, pues fueron un pilar fundamental en este arduo pero hermoso camino del conocimiento. Siempre intentaban sacarme una sonrisa en los días que llegaba cansado y mal genio. Sin duda sus oraciones y palabras de aliento, me empujaban a seguir adelante. Recuerdo una frase y la más importante pues desde niño me decían que debo esforzarme el doble por mi hermano Galito, quien por su discapacidad no pudo estudiar. Eso hizo que me aferre tanto a esta meta, que un día parecía inalcanzable y hoy estoy orgulloso de poder decirlo **juntos “Lo logramos”**. A mi familia Daniela, Emmanuel, Rafaela, Maximiliano quienes han estado pendientes de mí en cada paso brindándome su cariño y constante apoyo.*

Al Ing. Pablo Enrique Caiza Sánchez Ph. D. por la excelente dirección impartida en todas las etapas de esta investigación, su paciencia y su tiempo. Aprecio en gran manera los conocimientos transmitidos pues sin duda su experiencia fue fundamental en el desarrollo de este proyecto. También por las herramientas de investigación que nos facilitó para la ejecución de este proyecto.

A los arquitectos Carlos Espinel y Pablo Salme, funcionarios de la Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda, por su constante colaboración en la ejecución de este proyecto y por sus reiteradas palabras de aliento que me motivaron a continuar adelante.

Finalmente sobran las palabras para agradecer a mis amigos con los que empezamos y concluimos la carrera, siempre juntos, apoyándonos tanto en lo profesional como en lo personal.

Omar David Querembas Chanatasi

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xxiii
ABSTRACT	xxiv
 CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema estructural	1
1.3 Formulación del problema	5
1.4 Antecedentes	5
1.5 Justificación	8
1.6 Importancia	9
1.7 Objetivos generales y específicos	10
1.7.1 Objetivo General	10

1.7.2	Objetivos Específicos.....	11	
CAPÍTULO II			
MARCO TEÓRICO			12
2.1	Vulnerabilidad sísmica en Quito.....	12	
2.2	Zonificación geológica-geotécnica del Sur de la Ciudad de Quito.....	14	
2.3	Fallas geológicas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)	18	
2.4	Estudios de suelo para la ejecución del proyecto Metro de Quito	25	
2.5	Nueva clasificación para suelos del Distrito Metropolitano de Quito para determinar cargas sísmicas.....	28	
2.6	Taxonomías constructivas en el Ecuador	30	
2.7	Construcciones informales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) ...	32	
2.8	Efectos negativos de la falta de control de obra en estructuras informales.	32	
2.9	Análisis del enfoque de la vulnerabilidad sísmica.....	34	
2.10	Metodología para determinar la vulnerabilidad	35	
2.11	Ejecución del ensayo.....	37	
2.11.1	Instalación de acelerómetro.....	37	
2.11.2	Inicio de toma de datos.....	38	
2.11.3	Determinación del primer periodo de vibración de las estructuras	40	

2.11.4	Determinación de la flexibilidad de las estructuras de las estructuras.	41
2.12	Formatos de evaluación de vulnerabilidad.....	42
2.12.1	FEMA P-154: (RVS) Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards	42
2.12.2	Formato para evaluación rápida estructural de viviendas informales. .	46
CAPÍTULO III		
METODOLOGÍA		
3.1	Metodología de desarrollo del proyecto	48
3.2	Delimitación del sector de estudio.....	49
3.3	Tamaño de la muestra.....	50
3.4	Socialización del proyecto	52
3.5	Recopilación registro fotográfico	54
3.6	Fuentes y técnicas de recopilación de información y análisis de datos	54
3.7	Registro de datos mediante formatos de evaluación rápida	56
3.7.1	FEMA P-154.....	56
3.7.2	Formato para evaluación rápida estructural de viviendas informales. .	59
CAPÍTULO IV		
DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS.....		
4.1	Datos preliminares.....	63

4.2	Mediante uso de Formato de evaluación rápida del FEMA P-154	66	
4.2.1	Vivienda perteneciente al Sr. Servio Guzmán Erazo	66	
4.2.2	Vivienda perteneciente al Sra. Marlene Campos Pereira	90	
4.3	Formato para evaluación rápida estructural de viviendas informales.....	102	
4.3.1	Vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo	102	
4.3.1	Vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira	106	
4.4	Mediante el uso de acelerómetro Waspmote.....	110	
4.4.1	Vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo	110	
4.4.2	Vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira	113	
CAPÍTULO V			
RESULTADOS.....			116
5.1	Principales patologías encontradas.	116	
5.1.1	Agrietamiento.....	117	
5.1.2	Humedad.....	123	
5.1.3	Discontinuidad Vertical	129	
5.1.4	Desprendimiento de enlucidos	129	
5.1.5	Torsión	132	
5.1.6	Piso Blando	134	
5.1.7	Parapetos.....	135	

5.1.8	Hormigueros.....	136
5.1.9	Irregularidad en elevación.....	140
5.1.10	Columna corta.....	141
5.1.11	Secciones deficientes de elementos estructurales.....	143
5.1.12	Golpeteo de estructuras.....	145
5.1.13	Diseño de gradas.....	146
5.2	Resultados de la evaluación mediante ensayos con acelerómetro Waspnote.....	148
5.3	Resultados de la inspección mediante la aplicación del FEMA P154.	151
5.4	Resultados de la inspección mediante la aplicación del formato de evaluación de viviendas informales.....	154
5.5	Resumen de patologías encontradas.....	157
CAPÍTULO VI161		
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		161
6.1	Análisis de la muestra estudiada.....	161
6.2	Análisis de las patologías encontradas.....	162
6.2.1	Grietas.....	162
6.2.2	Humedad.....	163
6.2.3	Golpeteo.....	163

6.2.4	Torsión	164
6.2.5	Parapetos.....	165
6.2.6	Columna Corta.....	165
6.2.7	Desprendimiento de recubrimientos.....	166
6.3	Análisis de los periodos de vibración.	167
6.4	Análisis del índice de vulnerabilidad H/T.....	169
6.5	Análisis del índice de vulnerabilidad H/T, distribución normal	170
CAPÍTULO VII		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		172
7.1	Conclusiones	172
7.2	Recomendaciones	175
CAPÍTULO VIII		
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		176

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Sismos que han afectado a la ciudad de Quito con intensidades mayores a VI.</i>	3
Tabla 2. <i>Resultados de estudio en edificios de Bahía de Caráquez.</i>	8
Tabla 3. <i>12 modelos planteados en el árbol lógico</i>	21
Tabla 4. <i>Tasa de deslizamiento de fallas</i>	22
Tabla 5. <i>Principales taxonomías constructivas del Ecuador</i>	31
Tabla 6. <i>Principales taxonomías por ciudad.</i>	31
Tabla 7. <i>Elementos que garantizan la calidad de un proyecto civil.</i>	34
Tabla 8. <i>Parámetros a analizar en el perfil Bio - Sísmico.</i>	36
Tabla 9. <i>Parámetros de entrada Seismo Signal</i>	40
Tabla 10. <i>Clasificación de valores de Rigidez</i>	42
Tabla 11. <i>Rango de respuestas de aceleración para MCE_R para cada región de sismicidad</i>	56
Tabla 12. <i>Respuestas de aceleración para MCE_R para la ciudad de Quito.</i>	57
Tabla 13. <i>Edificaciones tipo</i>	57
Tabla 14. <i>Puntaje final asociado a vulnerabilidad sísmica</i>	58
Tabla 15. <i>Datos preliminares de viviendas a analizar</i>	63
Tabla 16. <i>Edificaciones tipo</i>	71
Tabla 17. <i>Guía de referencia de irregularidades verticales</i>	79
Tabla 18. <i>Guía de referencia de irregularidades en planta</i>	83
Tabla 19. <i>Puntaje final asociado a vulnerabilidad sísmica</i>	88
Tabla 20. <i>Puntaje final asociado a vulnerabilidad sísmica</i>	101
Tabla 21. <i>Clasificación de agrietamiento en hormigón</i>	117
Tabla 22. <i>Resultados de ensayos con el uso de acelerómetro Waspmote</i>	149
Tabla 23. <i>Resultados de ensayos aplicando matriz visual FEMA p154</i>	152
Tabla 24. <i>Resultados de la inspección aplicando matriz de inspección visual</i>	155
Tabla 25. <i>Resultados de la inspección visual</i>	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen de Quito en 3D, con la ubicación del sistema de fallas (QFS)	19
Figura 2. Árbol lógico del modelo fuente.	20
Figura 3. Mapa de peligro medio para un período de retorno de 475 años.	23
Figura 4. Mapa de peligro medio del modelo de fuente de recurrencia del terremoto que se basa en una tasa de deslizamiento geodésico con una influencia del 50%	24
Figura 5. Mapa de peligro del modelo de fuente de recurrencia del terremoto que se basa en una tasa de deslizamiento geológico.	25
Figura 6. Puntos propuestos para realizar el sondeo del proyecto Metro de Quito.	26
Figura 7. Resultados del sondeo para el proyecto Metro de Quito	27
Figura 8. Clasificación nueva de suelos del DMQ	29
Figura 9. Dirección de Ejes en Waspnote Plug&Sense.....	37
Figura 10. Instalación de cable USB para transferencia de datos.....	38
Figura 11. Interfaz del programa Waspnote PRO IDE	39
Figura 12. Pestañas a chequear en el programa Waspnote PRO IDE para inicio de toma de datos	39
Figura 13. Corrección de Datos y Filtros.....	41
Figura 14. Periodo encontrado con su amplitud máxima.	41
Figura 15. Formato de nivel 1 para regiones de muy alta peligrosidad sísmica.	44
Figura 16. Formato de nivel 2 para regiones de muy alta peligrosidad sísmica.	45
Figura 17. Formulario para evaluación rápida estructural de viviendas informales.	47
Figura 18. Delimitación del Sector 1 de Solanda.....	50
Figura 19. Ensayo realizado a funcionarios municipales.....	52
Figura 20. Exposición de proyecto de investigación en asamblea de Solanda.....	53
Figura 21. Primera parte del formato de evaluación rápida.....	60
Figura 22. Segunda parte del formato de evaluación rápida.....	61
Figura 23. Tercera parte del formato de evaluación rápida.....	62
Figura 24. Información de identificación del edificio datos de nivel 1.....	66
Figura 25. Características de construcción datos de nivel 1.	66

Figura 26. Fachada de la vivienda del Sr Servio Guzmán Erazo.	67
Figura 27. Ocupación del edificio.	67
Figura 28. Tipo de suelo.	68
Figura 29. Riesgo geológico.	68
Figura 30. Golpeteo presente en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	69
Figura 31. Proximidad.	69
Figura 32. Irregularidad.	69
Figura 33. Peligros de caída exterior.	70
Figura 34. Parapetos en la fachada de la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo..	70
Figura 35. Tipo de edificio FEMA y puntaje básico.	72
Figura 36. Matriz de puntuación del nivel 1.	72
Figura 37. Discontinuidad vertical en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	73
Figura 38. Piso blando en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	73
Figura 39. Irregularidad torsional en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	74
Figura 40. Matriz de puntuación del nivel 1 para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	76
Figura 41. Alcance de la revisión para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo...	77
Figura 42. Otros riesgos encontrados en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	77
Figura 43. Acción requerida evaluación de Nivel 1.	78
Figura 44. Datos preliminares para evaluación de nivel 2.	79
Figura 45. Discontinuidad vertical en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	81
Figura 46. Piso blando en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	82
Figura 47. Irregularidad vertical Nivel 2 para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	83
Figura 48. Irregularidad torsional en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	85
Figura 49. Irregularidad en planta Nivel 2.	85
Figura 50. Ejes de resistencia en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	86
Figura 51. Redundancia.	86
Figura 52. Pisos no alineados verticalmente.	86

Figura 53. Edificio adyacente más alto	87
Figura 54. Edificio al final de un bloque.	87
Figura 55. Golpeteo Nivel 2.....	87
Figura 56. Puntuación final de nivel 2 para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo	88
Figura 57. Peligros no estructurales para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo	89
Figura 58. Acción requerida para riesgos no estructurales.	89
Figura 59. Información de identificación del edificio datos de nivel 1.....	90
Figura 60. Características de construcción datos de nivel 1.	90
Figura 61. Fachada de la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.	90
Figura 62. Ocupación del edificio.....	91
Figura 63. Tipo de suelo.....	91
Figura 64. Riesgo geológico.....	91
Figura 65. Proximidad.	91
Figura 66. Golpeteo presente en la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.	92
Figura 67. Irregularidad	92
Figura 68. Peligros de caída exterior.	92
Figura 69. Parapetos en la fachada de la vivienda de la Sra. Marlene Campos.	93
Figura 70. Tipo de edificio FEMA y puntaje básico.....	93
Figura 71. Matriz de puntuación del nivel 1.	94
Figura 72. Niveles divididos en nivel de techo en la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.....	94
Figura 73. Esquema de niveles divididos en nivel de techo en la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.	95
Figura 74. Irregularidad torsional en la vivienda de la Sra. Marlene Campos.....	95
Figura 75. Matriz de puntuación del nivel 1 para la vivienda de la Sra. Marlene Campos.	96
Figura 76. Alcance de la revisión para la vivienda de la Sra. Marlene Campos.	97
Figura 77. Otros riesgos encontrados en la vivienda de la Sra. Marlene Campos.	97

Figura 78. Acción requerida evaluación de Nivel 1.....	97
Figura 79. Datos preliminares para evaluación de nivel 2	98
Figura 80. Irregularidad vertical Nivel 2 para la vivienda de la Sra. Marlene Campos.....	99
Figura 81. Irregularidad en planta Nivel 2	99
Figura 82. Ejes de resistencia en la vivienda de la Sra. Marlene Campos.	100
Figura 83. Redundancia	100
Figura 84. Puntuación final de nivel 2 para la vivienda de la Sra. Marlene Campos.....	101
Figura 85. Peligros no estructurales para la vivienda de la Sra. Marlene Campos.....	101
Figura 86. Acción requerida para riesgos no estructurales.	102
Figura 87. Fachada de la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo	102
Figura 88. Parámetros generales del formato de evaluación rápida aplicada a la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.	103
Figura 89. Presencia de piso blando en el primer piso, vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo	105
Figura 90. Presencia de grietas en mampostería, vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.....	105
Figura 91. Calificación de vulnerabilidad del formato de evaluación rápida aplicada a la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.....	106
Figura 92. Fachada de la vivienda del Sra. Marlene Campos Pereira.	106
Figura 93. Parámetros generales del formato de evaluación rápida aplicada a la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira	107
Figura 94. Distribución de masas no uniforme e irregularidad geométrica, vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira	109
Figura 95. Presencia de grietas en mampostería interna, vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira	109
Figura 96. Calificación de vulnerabilidad del formato de evaluación rápida aplicada a la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.....	110

Figura 97. Acelerómetro instalado, vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo	111
Figura 98. Espectro FFT datos de aceleración en sentido X, vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo	113
Figura 99. Acelerómetro instalado, vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira	114
Figura 100. Espectro FFT datos de aceleración en sentido X, vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira	115
Figura 101. Grieta longitudinal vivienda Sr. Cesar Villacís.....	118
Figura 102. Grieta longitudinal vivienda Sr. Ángel Valdivieso.	119
Figura 103. Fisura vertical en la vivienda de la Sra. Jeaneth Coronel	119
Figura 104. Grieta por falla de fricción cortante vivienda Sra. Luz Jiménez	120
Figura 105. Grieta por falla de fricción cortante vivienda Sr. Nelson Guzmán.....	121
Figura 106. Grieta en unión de elementos vivienda Sra. Martha Valarezo.	121
Figura 107. Fisura en mampostería debido a deflexión de la losa de entrepiso en la vivienda de la Sra. Yolanda López	122
Figura 108. Fisura en elucido debido a deflexión de la losa de entrepiso en la vivienda de la Sra. Matilda Sarabia	123
Figura 109. Fisura en unión de losa de entrepiso y mampostería en la vivienda del Sr. Jorge Lema.....	123
Figura 110. Desprendimiento de enlucido en La vivienda del Sr. Gerardo Toapanta.	124
Figura 111. Humedad por filtración en la vivienda de la Sra. Martha Puco	125
Figura 112. Humedad por filtración en la vivienda del Sr. Diógenes Varela.	125
Figura 113. Daños en mampostería por humedad en la vivienda de la Sra. Matilda Sarabia	126
Figura 114. Humedad por filtración y falta de mantenimiento en la vivienda del Sr. Diógenes Varela.	126
Figura 115. Humedad por filtración en losa de cubierta en la vivienda de la Sra. María Bastidas.	127
Figura 116. Humedad producida por la filtración en la vivienda de la Sra. Laura Barrionuevo.	127

Figura 117. Humedad por filtración en la vivienda del Sr. Luis Gallardo.....	128
Figura 118. Humedad por condensación en la vivienda de la Sra. María López..	128
Figura 119. Irregularidad geométrica en planta alta.	129
Figura 120. El desprendimiento del enlucido en la mampostería de la vivienda del Sr. Ángel Valdiviezo.	130
Figura 121. Desprendimiento del enlucido en la mampostería de la vivienda del Sr. Diógenes Varela.	131
Figura 122. Grietas en la mampostería en la vivienda del Sr. Augusto Tenesaca.	131
Figura 123. Desprendimiento del enlucido en la mampostería de la vivienda del Sr. Luis Zambrano.	132
Figura 124. Irregularidad torsional vivienda Sr. Oswaldo Cruz.	133
Figura 125. Irregularidad torsional vivienda Sr. Luis Borja.	134
Figura 126. (a) Presencia de piso blando en la vivienda del Sr. Servio Guzmán. (b) Esquema de edificio abierto que presenta piso blando.	135
Figura 127. Parapetos de mampostería no reforzada vivienda Sra. Marlene Campos.....	136
Figura 128. Parapetos de mampostería no reforzada vivienda Sra. María López.	136
Figura 129. Presencia de hormiguero en una columna, en la vivienda del Sr. Ángel Valdiviezo.	137
Figura 130. Presencia de hormiguero en la parte inferior de la losa de cubierta en la, vivienda del Sr. Diógenes Varela.....	138
Figura 131. Presencia de hormiguero en la parte inferior de la losa de cubierta en la, vivienda del Sr. Diógenes Varela.....	138
Figura 132. Presencia de hormiguero en una columna en la vivienda de la Sra. Maricela Flores.....	139
Figura 133. Presencia de hormiguero en la parte inferior de la losa de cubierta en la vivienda del Sr. Rigoberto Proaño.	139
Figura 134. Presencia de volados sucesivos en la vivienda del Sr. Nelson Guzmán.....	140

Figura 135. Columna corta vivienda Sr. Enrique Altamirano.....	141
Figura 136. Columna corta generada por losa de entrepiso en la vivienda Sr. Segundo Mora.....	142
Figura 137. Columna corta vivienda del Sr. Segundo Mora.....	142
Figura 138. En la vivienda del Sr. Segundo Mora, se aprecia una columna corta, con secciones deficientes.....	143
Figura 139. En la vivienda de la Sra. Verónica Torres, se tienen columnas de Sección deficiente.....	144
Figura 140. Golpeteo vivienda del Sr. Eduardo Villamar.....	145
Figura 141. Golpeteo vivienda del Sr. Héctor Álvarez.....	146
Figura 142. Gradas irregulares en la vivienda del Sr. Germánico Varela..	147
Figura 143. Gradas con estructura sin recubrimiento en la vivienda de la Sra. Maricela Flores.....	148
Figura 144. Viviendas encontradas en el Sector 1 del barrio Solanda.....	162
Figura 145. Viviendas con presencia de grietas en el Sector 1 del barrio Solanda.....	162
Figura 146. Viviendas con presencia de humedad en el Sector 1 del barrio Solanda.....	163
Figura 147. Viviendas con riesgo de golpeteo entre edificios en el Sector 1 del barrio Solanda.....	164
Figura 148. Viviendas con presencia de torsión en el Sector 1 del barrio Solanda.....	164
Figura 149. Viviendas con presencia de parapetos en el Sector 1 del barrio Solanda.....	165
Figura 150. Viviendas con presencia de parapetos en el Sector 1 del barrio Solanda.....	166
Figura 151. Viviendas con problemas de desprendimiento de recubrimientos en el Sector 1 del barrio Solanda.....	166
Figura 152. Periodo de vibración vs número de pisos.....	167

Figura 153. Periodo fundamental de vibración vs número de patologías estructurales en viviendas de 2 pisos.	167
Figura 154. Periodo fundamental de vibración vs número de patologías estructurales en viviendas de 3 pisos.	168
Figura 155. Histograma de frecuencias.	169
Figura 156. Distribución normal del Índice de vulnerabilidad viviendas de 2 pisos.	170
Figura 157. Distribución normal del Índice de vulnerabilidad viviendas de 3 pisos.	171

RESUMEN

El daño estructural debido a eventos sísmicos registrados en el Ecuador, ha dejado en evidencia la vulnerabilidad al que están expuestas las urbes con altos índices de construcción informal. En la ciudad de Quito se estima que el 60% de las viviendas poseen esta condición. En este trabajo de investigación se realizó un estudio experimental con el fin de determinar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas del Sector 1 del barrio Solanda ubicado en el sur del DMQ. Tomando una muestra estadística de 95 viviendas, donde se ejecutó un ensayo con acelerómetro para determinar el periodo fundamental de la estructura T , el cual se lo asocio con la altura de la edificación H , obteniendo así una aproximación relativamente sencilla del grado de vulnerabilidad ante un evento sísmico. Además, se realizó una inspección visual con el formato de evaluación de vulnerabilidad de estructuras FEMA P-154 y el formato para evaluación rápida estructural de viviendas informales basado en el UTC-20 y CENAPRED. Los resultados de las inspecciones visuales demostraron la presencia de patologías en las viviendas tales como: grietas, humedad, golpeteo, irregularidad torsional, parapetos de mampostería no reforzada y columna corta. Resaltando que el 89.47% de las viviendas poseen grietas, y el 100% tienen golpeteo. Finalmente se determinó el alto grado de vulnerabilidad del Sector 1 del barrio Solanda en base a la relación H/T , obteniendo índices de vulnerabilidad menores a 40 que responden a estructuras flexibles y menores a 20 para estructuras muy flexibles, catalogándolas como vulnerables y muy vulnerables.

Palabras Clave:

VULNERABILIDAD SÍSMICA

PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

RELACIÓN H/T

PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN

ABSTRACT

The structural damage due to seismic events recorded in Ecuador has revealed the vulnerability of cities with high rates of informal construction. In the city of Quito it is estimated that 60% of dwellings have this condition. In this research work an experimental study was carried out in order to determine the seismic vulnerability of the dwellings of Sector 1 of the Solanda neighborhood located in the south of the DMQ. Taking a statistical sample of 95 homes, where an accelerometer test was carried out to determine the fundamental period of structure T , which was associated with the height of building H , thus obtaining a relatively simple approximation of the degree of vulnerability to a seismic event. In addition, a visual inspection was carried out using the rapid visual screening FEMA P-154 and the format for rapid structural assessment of informal dwellings based on the UTC-20 and CENAPRED. The results of the visual inspections showed the presence of pathologies in the houses such as: cracks, humidity, pounding, torsional irregularity, unreinforced masonry parapets, short column. Highlighting that 89.47% of dwellings have cracks, and 100% have pounding. Finally, the high degree of vulnerability of Sector 1 of the Solanda neighborhood was determined based on the H / T ratio, obtaining vulnerability indexes of less than 40 that respond to flexible structures and less than 20 for very flexible structures, cataloging them as vulnerable and very vulnerable.

Keywords:

SEISMIC VULNERABILITY

CONSTRUCTION PATHOLOGY

H / T RATIO

FUNDAMENTAL PERIOD OF VIBRATION

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo brindar información sobre el contexto del trabajo de investigación asociados al análisis de la vulnerabilidad sísmica, en la cual se desarrolla: planteamiento y formulación del problema, antecedentes, justificación e importancia, y objetivos de la investigación.

1.2 Planteamiento del problema estructural

El análisis de la vulnerabilidad sísmica de estructuras tiene el fin de dar una aproximación del posible daño y el rendimiento estructural de una vivienda frente a un evento sísmico, de esta manera proponer reforzamientos y conocer el estado actual de la estructura, con el fin de evitar daños y pérdidas.

La vulnerabilidad sísmica multiplicada por peligro sísmico y exposición estructural determinan el riesgo de una estructura a sufrir daño frente a un evento sísmico, como se muestra en la Ecuación 1 (CENAPRED, 2013).

$$\text{Riesgo} = \text{Vulnerabilidad} \times \text{Peligro} \times \text{Exposición} \quad (1)$$

A pesar de que esta tesis trata sobre vulnerabilidad estructural es importante resaltar entre otros el peligro sísmico que se sintetiza a continuación.

Ecuador se encuentra ubicado en el “Cinturón de Fuego del Pacífico”. Esta es considerada una de las zonas con mayor riesgo sísmico del mundo, con el 90% de los sismos registrados anualmente en el mundo, (Aguiar, 2017).

La configuración geodinámica del país es complicada y su origen se debe a la tectónica activa de la placa de Nazca y el segmento continental (Bloque Norandino y placa Sudamericana), su colisión provoca la subducción de la una sobre otra en el perfil costero ecuatoriano, este fenómeno ha sido la principal fuente de sismos de magnitudes entre 7.8 y 8.8 (Chunga, 2016).

El 16 de abril de 2016 se produjo un evento sísmico que azotó las costas ecuatorianas, con una magnitud de 7.8 en la escala sísmica de Richter (cuyo epicentro se localizó en el cantón de Pedernales) (EPN, 2016). Causando enormes pérdidas humanas y económicas, poniendo en evidencia el alto riesgo sísmico del país. Cabe recalcar que este sismo es originado por la subducción interplaca de la plaza de Nazca en la placa Sudamericana (Aguiar, 2017).

Quito puede verse fuertemente afectado por tres tipos de sismos: (1) eventos con una magnitud mayor a 8 proveniente de la zona de subducción ubicada a más de 200 km (por ejemplo, Esmeraldas, 1906, Mw 8.8), (2) eventos poco profundos con una magnitud de 7 a 7.5 desde la cordillera de los Andes a 80 km de distancia o más y (3) eventos con una magnitud de 6 a 7 que se producen en fallas cercanas a la ciudad (Naya, y otros, 2012).

Quito se ha catalogado como una de las ciudades con mayor peligrosidad sísmica del mundo, dada su ubicación sobre un sistema activo local de fallas ciegas inversas como la falla "Quito-Latacunga". La historia detalla en 1587 un sismo de magnitud 6.4 en la escala sísmica de Richter, siendo el mayor sismo asociado a estas fallas que causó gran daño en la ciudad. En los últimos 25 años se han producido dos eventos

sísmicos de magnitud 5.3, el 10 de agosto de 1990 y de 5.1 el 12 de agosto de 2014, los mismos que presentaron un foco superficial y con magnitudes menores a 6 grados, demostrando que se está acumulando una gran cantidad de energía sísmica (Aguiar, 2015).

Es importante mencionar que el registro histórico de Quito demuestra que la ciudad ha sufrido los efectos de un sismo fuerte cada 50 años en promedio. En la Tabla 1 se muestran los sismos que han afectado la capital desde su fundación en 1534, de intensidades mayores a VI en la escala de Mercalli. (Yépez, y otros, 1994) .

Tabla 1

Sismos que han afectado a la ciudad de Quito con intensidades mayores a VI.

Año	Magnitud	Intensidad Mercalli
1541	7.5	VII-VIII
1587	6.4	VII-VIII
1755	6	VII-VIII
1797	8.3	VII-VIII
1859	7.2	> VIII
1868	7.1	VIII-IX
1923	6.5 a 7	VI-VII
1942	7.8	VI-VII
1987	6.9	VI-VII
1999	5.3	VI-VII
2014	5.1	VI

Fuente: (Yépez, y otros, 1994)

Debido a la gran magnitud de los sismos esperados y su registro histórico que denota la presencia de sismos graves de magnitud superior a 6 grados, se requiere la implementación de códigos de la construcción con el fin de prevenir el máximo daño posible y garantizar el rendimiento estructural frente a un evento sísmico. Este rendimiento se ve afectado debido a diferentes patologías tales como el sistema

constructivo, problemas de estabilidad de suelos, secciones estructurales deficientes, daños estructurales, agentes ambientales, entre otros (Yépez, 2001).

Las viviendas pueden ser clasificadas como: baja, moderada y altamente vulnerables. Por ejemplo, se consideran altamente vulnerables, cuando han sido construidas informalmente sin ningún tipo de criterio técnico o normativo, motivo por el cual presenta patologías que comprometen el rendimiento estructural. Alrededor del 60% de viviendas encontradas en Quito no han sido construidas técnicamente, lo que las clasifica como de alta vulnerabilidad (Silva, Guía de reforzamiento para estructuras informales aporticadas según estudio de vulnerabilidad en el Distrito Metropolitano de Quito., 2017).

La construcción de vivienda informal es por tanto, una de las problemáticas con mayor relevancia en la actualidad. Como ejemplo de los problemas de la vivienda informal se tiene el Plan Solanda en el sur de Quito. Este se inició como una solución de vivienda popular que buscaba incluir a grupos de bajo nivel adquisitivo. A finales de los años 80 el Banco de la Vivienda hizo entrega de 4212 casas de un piso, con un área de 24 m² con proyección a dos pisos y ampliaciones (Ramón, 2017). Desafortunadamente, la falta de procedimientos técnicos adecuados en las ampliaciones hechas informalmente, generando deficiencias estructurales y patologías que afectan el rendimiento estructural y su vulnerabilidad sísmica.

En el presente, enero 2019, la construcción del Metro de Quito y el aparente agravamiento de las patologías estructurales en el Sector 1 del barrio Solanda han impulsado nuevos estudios tales como:

Primera etapa de actualización de la microzonificación sísmica en Quito a cargo de 65 técnicos de Universidad Católica y la Escuela Politécnica Nacional que estudiarán el suelo en el barrio Solanda (La Hora, 2018).

Como contribución a estos estudios se decide evaluar el sector más afectado, en el que se tiene conocimiento que existen patologías como: fisuras, grietas y asentamiento del suelo, evaluando una muestra de 95 viviendas, calculadas de un universo de 1850 viviendas, en las que se realizará una inspección con formatos de evaluación de vulnerabilidad rápida y se ejecutará un ensayo con acelerómetro Waspmote para determinar el periodo de vibración de las viviendas y encontrar su vulnerabilidad sísmica.

1.3 Formulación del problema

A partir de la información que se indicó previamente, surge la inquietud de conocer el estado actual de las edificaciones y el probable grado de afectación en caso de un sismo. Lo anterior se establece a través de la siguiente pregunta; ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad sísmica que presenta el Sector 1 del barrio Solanda, está relacionada su tipología estructural?

1.4 Antecedentes

El estudio de la vulnerabilidad sísmica y el conocimiento de las características estructurales son una medida indispensable para enfrentar eventos sísmicos. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica a escala urbana se convierte en una prioridad para obtener un escenario realista de los posibles daños. Las principales ventajas se encuentran tanto en la posibilidad de conocer previamente las áreas más afectadas en

las que centrarse para las intervenciones de adaptación, como en la posibilidad de organizar planes de emergencia óptimos (SIEV, 2017).

Sarmah & Sutapa (2017) señala en su estudio de vulnerabilidad sísmica aplicando evaluación visual rápida mediante el uso de formatos FEMA que “es esencial para la formulación de políticas a nivel local, para que las autoridades municipales prioricen los edificios de alto riesgo sísmico, para proponer medidas correctivas apropiadas como adaptaciones o reemplazo, estas investigaciones complementan los códigos de construcción desarrollados para la construcción de nuevas edificaciones”. La metodología utilizada para determinar la vulnerabilidad sísmica se recomienda porque no necesita la intervención de ningún cálculo estructural.

Pero, otra forma de evaluar el rendimiento estructural y por ende la vulnerabilidad sísmica es el análisis del periodo de vibración. (Domínguez, 2014) señala claramente que: “La relación entre el período de vibración de las ondas sísmicas y el periodo de vibración de la estructura, genera la respuesta dinámica de la edificación durante el sismo” (p. 1). No obstante, cada estructura tiene diferentes modos de vibración, el más importante se denomina periodo fundamental, siendo éste el de mayor periodo, y se le asocian las mayores deformaciones y esfuerzos. Obedece a la ecuación $T = \sqrt{M/K}$, donde se aprecia que es la raíz cuadrada de la relación entre la masa M y la rigidez del sistema K. Con el valor de T determinado, se puede asociarlo con la altura de la edificación, de tal manera que se obtendrá una aproximación relativamente sencilla del grado de susceptibilidad ante un evento sísmico. En este proyecto de investigación se plantea obtener T de manera experimental.

Como ya se esbozó previamente, una de las alternativas para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras es aplicando la relación H/T usando la propuesta de (Guendelman, Guendelman, & Lindenberg, 1997), aplicada conjuntamente con las normativas de la construcción de Chile, entre las cuales están NCh 433 Of96 Mod 2009, NCh 2369 Of200, NCh 2745 Of201. La reiterada aplicación de esta acertada propuesta ha logrado ser reconocida a nivel internacional, por tal motivo en 2017 se llevó a cabo un estudio en Bahía de Caráquez – Ecuador, donde se determinó instrumentalmente el período de vibración de 13 edificios de hormigón armado, los mismos que soportaron el terremoto del 16 de abril de 2016. Es importante mencionar que estos períodos corresponden a estructuras que incursionaron en el rango no lineal. En la Tabla 2, se aprecia los resultados con la relación H/T en sentido longitudinal y transversal que se determinó en las 13 estructuras. Destacando que edificios como Mykonos y Pirata, han sido reparados a pesar de que han obtenido una relación H/T en el sentido transversal de 17.98 y 17.50 respectivamente. Lo que les clasifica en un rango de estructuras muy flexibles. Caso similar se aprecia en los edificios Dos hemisferios y Horizonte con valores de H/T transversal de 11.89 y 16.85 respectivamente, pues están en reparación a pesar de ser estructuras muy flexibles. Los edificios Vigía y Las Brisas, al tener una relación H/T mayor a 20, se los clasifica como estructuras flexibles, por lo que están en estado de reparación. Es importante mencionar que edificios como Fragatas y Salando han llamado la atención, por sus valores de H/T mayores a 20, haciéndolos candidatos idóneos para una reparación, pero se han demolido. Otros casos de análisis son los edificios Delfín y Almirante, pues presentan valores de H/T transversal de 19.77 y 18.79 respectivamente, que de igual

manera han sido demolidos, a pesar de pudieron haber sido reparados, ya que se tiene el ejemplo del edificio Dos hemisferios que está en reparación. Finalmente, el edificio Cevallos ha sido demolido, pues al tener una relación H/T menor a 10 en los dos sentidos de análisis, se lo clasifica como muy flexible (Aguiar & Zambrano, 2018).

Tabla 2

Resultados de estudio en edificios de Bahía de Caráquez.

Edificio	(H/T) Sentido Longitudinal	(H/T) Sentido Transversal	Estado
Vigía	26,31	25,75	En reparación
Las Brisas	32,40	29,17	En reparación
Horizonte	27,67	16,85	En reparación
Dos hemisferios	13,30	11,89	En reparación
Delfín	22,17	19,77	Demolido
Almirante	22,95	18,79	Demolido
Mykonos	20,92	17,98	Reparado
Pirata	28,28	17,50	Reparado
Salango	24,80	21,68	Demolido
Spondylus	20,97	16,15	En estudio
Cevallos	9,66	9,03	Demolido
Fragatas	28,57	28,57	Demolido
Zedeño	9,63	9,16	En venta

Fuente: (Aguiar & Zambrano, 2018).

1.5 Justificación

La característica principal de los países de Latinoamérica son los asentamientos informales que conllevan a un proceso de construcción sin normas, en lugares que no han sido planificados y que no cumplen con los estudios necesarios para albergar dicho asentamiento. Según la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) el crecimiento informal de las ciudades empieza con mayor auge a finales del siglo XX. En la década de 1980 la población urbana de la región superaba el 60%, en 1990 fue

del 71%, en 2005 del 77% y en 2015 del 80%, con diferencias según los países (CEPAL, 2015). Este crecimiento en la población y la falta de formalidad en las construcciones hace que, la Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda, precise realizar un proyecto piloto con el objetivo de determinar la susceptibilidad de las estructuras de los barrios vulnerables del sur de Quito ante un evento sísmico.

Debido a la informalidad de las construcciones, se ha detectado una tipología estructural particular, y al revisar catálogos con clasificaciones del SARA, que serán detallados más adelante, no existe una tipología que permita realizar una clasificación directa para este tipo de construcciones. Pues estamos frente a viviendas que se han realizado de forma mixta. Es decir, en su primer piso, han sido construidas con mampostería no reforzada y a partir del segundo piso en adelante se han utilizado pórticos de hormigón armado.

Estos problemas detectados en las estructuras, generan una necesidad de proporcionar una evaluación preliminar urgente para obtener un diagnóstico que indique la vulnerabilidad de los inmuebles, información que podrá ser utilizada para plantear posteriores medidas preventivas de reforzamiento.

1.6 Importancia

La tipología estructural que presentan los barrios del sur de Quito hace necesaria una evaluación estructural en sectores que pueden presentar daños severos ante diferentes tipos de riesgos naturales, siendo sin duda alguna el peligro ante un evento sísmico el de mayor preocupación, es por eso que en este proyecto de investigación se busca aplicar una matriz de detección visual rápida de estructuras en posibles

peligros sísmicos perteneciente al Federal Emergency Management Agency (FEMA) y una evaluación experimental, aplicando una metodología chilena para el análisis de la vulnerabilidad sísmica haciendo uso de la relación H/T (Guendelman, Guendelman, & Lindenberg, 1997). Los productos generados con este proyecto de investigación tendrán influencia directa en el barrio Solanda, Sector 1, en el cantón Quito. También será beneficiada indirectamente la Administración Zonal Eloy Alfaro del Municipio de Quito. Este proyecto sentará un precedente, dado que se carece de esta información y, para obtenerla se utilizarán equipos de uso experimental que registrarán valores de aceleraciones en las estructuras, para determinar datos que indiquen el comportamiento de las viviendas. Adicionalmente se proporcionará un registro de las estructuras evaluadas, su vulnerabilidad y una ecuación para estimar los periodos de vibración experimental de estructuras, de esta manera se otorgará un registro base que permita su aplicación en el día a día, dejando abierta la investigación en diferentes barrios que presenten asentamientos con viviendas de tipo informal y tipologías estructurales fuera de los parámetros permitidos por la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

1.7 Objetivos generales y específicos

1.7.1 Objetivo General

Determinar la vulnerabilidad sísmica de los inmuebles en el barrio Solanda, Sector 1, aplicando ensayo de campo e inspección visual para analizar la susceptibilidad de las estructuras ante un evento sísmico.

1.7.2 Objetivos Específicos

Determinar periodos de vibración mediante el uso del acelerómetro Waspmote en los inmuebles para cálculo de índice de vulnerabilidad.

Evaluar los inmuebles mediante la aplicación de formato de evaluación de vulnerabilidad.

Proponer una ecuación que permita realizar el cálculo de periodos de vibración de construcciones informales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El presente capítulo tiene como fin desarrollar las definiciones y teoría de diferentes autores sobre los temas asociados a la vulnerabilidad sísmica en Quito, fuentes de peligro sísmico, deficiencia en estructuras informales, taxonomía de viviendas en Ecuador, métodos de análisis de vulnerabilidad experimental, con el fin de explicar la teoría en la que se fundamenta el proyecto de tesis.

2.1 Vulnerabilidad sísmica en Quito

Para poder dar una aproximación del significado de vulnerabilidad es necesario entender que la vulnerabilidad está asociada al riesgo, que es la combinación de tres factores como son: el peligro, la vulnerabilidad, y la exposición, la ecuación de riesgo se describió en el Capítulo 1, pero por facilitar su comprensión se detallan sus componentes, como se muestra en la Ecuación 1 (CENAPRED, 2013).

$$\text{Riesgo} = \text{Vulnerabilidad} \times \text{Peligro} \times \text{Exposición} \quad (1)$$

El riesgo depende del peligro, la vulnerabilidad y la exposición. La vulnerabilidad está asociada con el daño, de un elemento o conjunto de elementos, sometidos a una amenaza de cualquier naturaleza. La vulnerabilidad sísmica evalúa el rendimiento estructural de las edificaciones frente a un evento sísmico (Parra, 2016).

La exposición describe la cantidad de agentes que pueden sufrir daño tales como bienes, personas y sistemas (CENAPRED, 2013).

La ciudad de Quito está situada en un valle propenso a amenazas sísmicas. Desde su fundación en el año de 1534, se han registrado eventos de intensidades superiores a VI en la escala de Mercalli. Tales son los ejemplos de 1587, 1755, 1797, 1868 y 1949, 1999, 2014 (Del Pino & Yépes , 1990) . El último sismo importante que afectó a la ciudad ocurrió en 1868 en Ibarra, con una intensidad de IX y una magnitud de 7.1 grados (Beauval, y otros, 2010), ocasionando pérdidas humanas calculadas en 20.000 en la ciudad de Ibarra, mientras que en Quito causó graves daños en viviendas e iglesias. Respecto al efecto en Quito del último terremoto de magnitud 7.8 registrado en Pedernales en 2016, 6 viviendas resultaron afectadas, 3 de las cuales presentaron riesgo de colapso. Sólo se registró una víctima (Agencia Pública de Noticias de Quito, 2016).

Cabe mencionar que los terremotos que más incidencia han tenido en la ciudad se registran cuando Quito era significativamente menor en desarrollo. En población en 1868 el número de habitantes se acercaba a los 45.000, que ocupaban un territorio de 4km² (GeoHazards International, 1994). Actualmente el número de habitantes se ha multiplicado por 60 (2.735.987 habitantes) y el área aproximadamente por 80 (324km²) (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

El crecimiento acelerado de la ciudad ha resultado en la proliferación de estructuras con deficiencias estructurales, producto de la falta de normas técnicas en su construcción y, con ello, el desarrollo de áreas urbanas la vulnerabilidad sísmica elevada. En efecto la construcción y diseño sismo resistente es inexistente y poco común en Quito, puesto que sus edificaciones no fueron construidas aplicando un

código o norma adecuada para la ubicación y el peligro sísmico que tiene la zona. Cabe mencionar que gran parte de la urbe fue edificada en el siglo XX, cuando la construcción informal era muy común, además las viviendas fueron construidas en suelos inestables, como quebradas rellenas con suelo pobre. Finalmente, las laderas empinadas también han pasado a poblarse abruptamente (GeoHazards International, 1994). Las consecuencias de un posible sismo de magnitud considerable en la capital afectarán a la mayoría de la población urbana que presenta deficiencias estructurales debido a la informalidad.

2.2 Zonificación geológica-geotécnica del Sur de la Ciudad de Quito

“La ciudad de Quito se encuentra asentada en la cordillera Occidental, en el callejón interandino, formada por productos volcánicos y de erosión pluvial, eólica y glaciaria, constituyendo un relleno sedimentario de materiales mezclados y sobrepuestos entre sí” (Valverde, Fernández, Vaca, & Alarcón, 2002, pág. 18).

La zonificación geológica-geotécnica del sur de Quito, realizado por Avilés (2013) como proyecto de investigación y aporte a la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable para la realización de futuros proyectos de ingeniería. Clasifica el suelo de sur de Quito en zonas que van de la I a la V. A continuación se describen las características de cada una de ellas.

Zona I

“Se presentan excelentes condiciones de suelos, no existe presencia de nivel freático, suelos recomendables para cimentación en la construcción de viviendas,

capacidad portante competente, plasticidad baja a nula, contenido de humedad bajo” (Avilés, 2013).

Se encuentran tres tipos de suelo: suelos granulares (arena limosa), suelos cohesivos (limo arenoso), (arcilla limo arenosa).

“En los tres tipos de suelos encontrados los valores correspondientes a capacidad portante, resistencia a la penetración y nivel freático demuestran una zona apta para cualquier cimentación; se cataloga a la zona como excelente” (Avilés, 2013).

Zona II

“Se presentan buenas condiciones de suelos, no existe presencia de nivel freático, a con excepción del sector de la Ecuatoriana, suelos recomendables para cimentación en la construcción de viviendas, capacidad portante competente, plasticidad baja a nula, contenido de humedad medio” (Avilés, 2013).

“Se encuentran cinco tipos de suelo: arena fina limosa, arena pobremente graduada, limo de baja compresibilidad, suelos arcillosos, arcilla y limo arenoso” (Avilés, 2013).

Zona III

“Catalogada como una Zona Regular debido a la composición heterogénea de sus suelos que comprenden cangahuas y rellenos de origen antrópico como rellenos de quebradas, carreteras y botaderos. La capacidad portante se ve reducida y la cimentación se debe hacer con criterio técnico debido a la

humedad y plasticidad presente y al nivel freático existente” (Avilés, 2013, págs. 70-90).

“Se encuentran cuatro tipos de suelo: arena limosa de grano grueso, limo arenoso de color variable de verde oscuro a verde, arcilla arenosa café, con arena, arcilla y limo arenoso gris verdoso, con pómez” (Avilés, 2013).

Zona IV

“Catalogada como zona mala con alta presencia de nivel freático superficial, baja capacidad portante y elevada humedad, suelos depositados en ambientes fluvio lacustres y zonas de rellenos, suelo no recomendado para cimentaciones superficiales” (Avilés, 2013).

“Se encuentran dos tipos de suelo: arena fina limosa, con de granos gruesos de pómez, limo arenoso, negruzco, saturado, con vetas o niveles de arena fina” (Avilés, 2013).

Zona V

“Catalogada como zona muy mala, presencia de pantanos con alta concentración de materia orgánica depositados en ambientes fluvio lacustres y pertenecen a secuencias de limos-arenosos, zonas de rellenos, pésima capacidad portante, humedad elevada y alta plasticidad, no se recomienda para cimentaciones superficiales” (Avilés, 2013, págs. 70-90).

“Se encuentran un tipo de suelo limo orgánico color negruzco, saturado con abundantes raíces, materia orgánica, consistencia muy blanda” (Avilés, 2013).

Dada la zonificación encontrada se requiere tener consideraciones constructivas en cada una de las zonas, con respecto a la cimentación la Zona I y I no requiere mejoramiento de suelo y se recomienda realizar una cimentación directa, la Zona I y IV catalogada como una zona de características regulares y malas en las que se recomienda realizar estudios más detallados que garanticen el nivel y tipo de cimentación adecuada, la zona V presenta características pésimas, por lo que se deberán tener las consideraciones adecuadas tanto para excavación como para la cimentación, y el mejoramiento del suelo deberá ser realizado con la utilización de suelo granular y geo mallas (Avilés, 2013).

Suelo de Solanda

“Solanda se encuentra ubicada en la Zona III caracteriza por ser una cubeta de relleno fluvio lacustre, que corresponde una zona plana formada por sedimentos finos depositados en condiciones de aguas tranquilas, estos materiales se encuentran dispuestos en ambientes fluvio lacustres (depósitos de agua originados por lagunas y lluvia) y pertenecen a secuencias limos-arenosos a limos-arcillosos intercalados con cenizas que incluyen pómez”. (Avilés, 2013, págs. 88-100).

Además contiene materiales de origen antrópico (MOA), con dos tipos de rellenos; relleno de mejoramiento para la ejecución de obras de ingeniería, y relleno de quebradas como escombros, basura, residuos de materiales de construcción (Avilés, 2013).

La capacidad portante del suelo es de (2.5-5.0) ton/m² a los 3 metros de profundidad,

de 3.0 a 6.0 metros su capacidad aumenta a (5.0-10) ton/m² de 6.0 a 10.0 metros la consistencia del suelo aumenta considerablemente con una capacidad portante de (10.0-20.0) ton/m² (Avilés, 2013)

2.3 Fallas geológicas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)

Dada la configuración del Sistema de fallas de Quito (QFS), que está presente a lo largo de la depresión interandina, los estudios realizados en diferentes áreas han manifestado que dos sistemas de fallas contemporáneas mayores afectan a los depósitos volcanoclásticos cuaternarios. Tras 15 años de monitoreos y de constantes mediciones se ha planteado un nuevo modelo cinemático resultante que enfatiza el desempeño del Sistema de fallas de Quito (QFS), mismo que se presenta segmentado en N-S, y de manera escalonada hacia el este, sabiendo que desde el noreste el sistema de falla de Guayllabamba (GFS) aporta a la transferencia de tensión hacia el este, guiando la tensión regional hacia Colombia (Alvarado, 2014).

Se ha demostrado mediante estudios de micro sismicidad que la falla inversa sobre la que se encuentra la ciudad de Quito, posee un plano de inmersión de 55° con dirección al oeste (Alvarado, 2014). Dichos datos han sido comprobados por planos nodales derivados de los mecanismos focales tomados en 1990 con Mw=5.3 (55°) y una segunda fuente de 2014 que presentó Mw= 5.1 (44°, Global CMT Catalog) (Beauval, y otros, 2018).

Mediante estudios de microzonificación sísmica se ha localizado los segmentos en los que está dividido el sistema de fallas Quito (QFS), tal como se puede ver en la Figura 1, los nombres con los que se identifican las fallas van en sentido sur norte,

empezando con Puengasí (P), Ilumbisí-La Bota (ILB), Carcelén-EI Inca (CEI), Bellavista-Catequilla (BC), y Tangahuilla (T), estos segmentos debido a su propio movimiento, podrían generar sismos con magnitudes considerables. Por tal motivo, el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, realiza un monitoreo constante con los equipos que disponen, detectando así 1758 movimientos telúricos aproximadamente, en la zona del sistema de fallas Quito (QFS). Estos datos captados han presentado magnitudes que van entre $M_w=3$ a 5.3, a profundidades que alcanzan los 40 km, con epicentros situados a lo largo del sistema de fallas Quito, también se han captado datos pertenecientes al sistema de fallas Guayllabamba (GFS) (Alvarado, 2014).

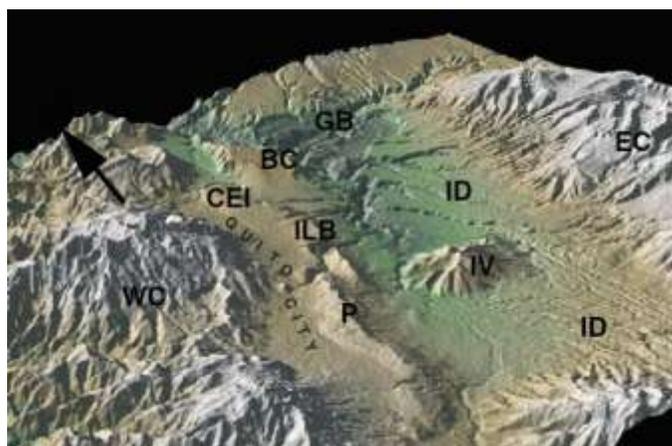


Figura 1. Imagen de Quito en 3D, con la ubicación del sistema de fallas (QFS).

Fuente (Alvarado, 2014)

Cabe mencionar que la Escuela Politécnica Nacional ha realizado estudios que demuestran que las magnitudes que se pueden presentar para un eventual sismo en la zona QFS en la longitud de 60 km donde está presente la falla, teniendo una zona de ruptura de 720 km², y a una profundidad promedio de 15 km, es del rango de una magnitud de 6,8 (RA - Potencial Rupture Area) y 7,1 (SRL - Surface Rupture Length)

en un periodo de retorno que está en el rango de 195 a 235 años. Estudios paralelos realizados por la misma entidad, también arrojan datos sobre la magnitud que se podría presentar en una zona de ruptura que va entre el rango de 180 a 420 km², y a una profundidad que se podría presentar en el rango de 3 a 7 km, esta magnitud sería de aproximadamente Mw=6,6 en un periodo de retorno que está en el rango de 150 a 235 años. Después de analizar estos datos es importante destacar que es consistente el valor mayor que han proporcionado las estimaciones GPS, dado que se ha carecido de grandes terremotos durante los últimos 5 siglos (Alvarado, 2014).

Para efectuar un cálculo de riesgo sísmico probabilístico, se debe hacer uso del árbol lógico de predicción de movimiento que se aprecia en la Figura 2, donde se realiza combinaciones entre ramas que dan como resultado 12 modelos de fuentes alternativos (Beauval, y otros, 2018).

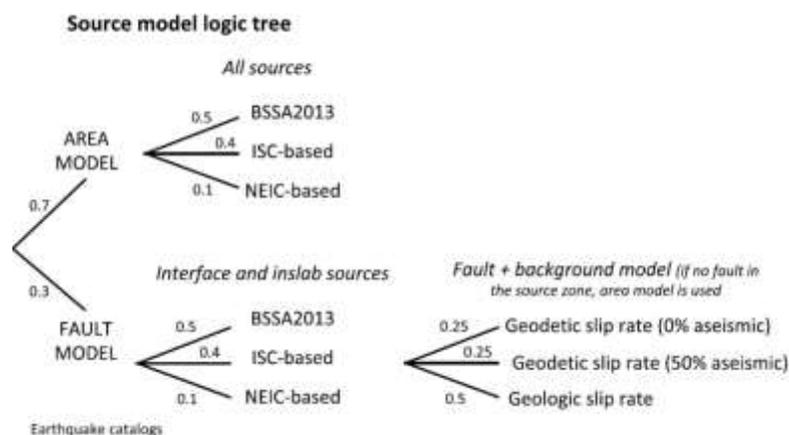


Figura 2. Árbol lógico del modelo fuente.
Fuente (Beauval, y otros, 2018)

Los 12 modelos planteados que se derivan del árbol lógico son los que se detallan a continuación en la Tabla 3. Es importante destacar las bases de datos usadas para formar las doce combinaciones, donde se aprecian el BSSA2013 (Boletín de la

Sociedad Sismológica de América), ISC-based (Centro Sismológico Internacional), NEIC-based (Centro Nacional de Información sobre Terremotos).

Tabla 3
12 modelos planteados en el árbol lógico

AREA MODEL		
No.	All Sources	
1	BSSA2013	
2	ISC-based	
3	NEIC-based	
FAULT MODEL		
	Interface and inslab sources	Fault + background model
4	BSSA2013	Geodetic slip rate (0% aseismic)
5	BSSA2013	Geodetic slip rate (50% aseismic)
6	BSSA2013	Geodetic slip rate
7	ISC-based	Geodetic slip rate (0% aseismic)
8	ISC-based	Geodetic slip rate (50% aseismic)
9	ISC-based	Geodetic slip rate
10	NEIC-based	Geodetic slip rate (0% aseismic)
11	NEIC-based	Geodetic slip rate (50% aseismic)
12	NEIC-based	Geodetic slip rate

Fuente: (Alvarado, 2014).

Para realizar este análisis se asume que un evento sísmico puede romper toda el área de la falla. Obsérvese la importancia de las tasas de deslizamiento geodésico, omitiendo el componente asísmico, que generan valores de aceleraciones que van entre 0.6g o mayores. Esto ocurre en los lugares que están ubicados sobre la fuente de fallas Chingual - Cosanga - Pallatanga - Puna (CCPP). En la Tabla 4 se aprecia que el rango de tasas de deslizamiento va de 7.1 a 9.5 mm/año de la fuente de fallas del CCPP, de igual manera se puede visualizar que a lo largo de la falla de Quito se tiene una tasa de deslizamiento de 4.5 mm/año.

Tabla 4
Tasa de deslizamiento de fallas

Falla	Tasa de deslizamiento (mm/yr)
Chingual	8,1
Cosanga	9,5
Pallatanga	7,4
Puna	7,1
El Ángel	2,0
Latacunga	1,0
Napo	2,5
Quito	4,5

Fuente. (Beauval, y otros, 2018)

En la Figura 3 se muestra como los valores de aceleraciones van variando de acuerdo a su ubicación, obteniendo registros que van de 0.8 g y mayores para lugares que están ubicados a lo largo del plano de falla de empuje de Cosanga. Un caso diferente se presenta sobre el plano de fallas Chingual, con valores de aceleraciones que están en el rango de 0.4 – 0.6g (Beauval, y otros, 2018).

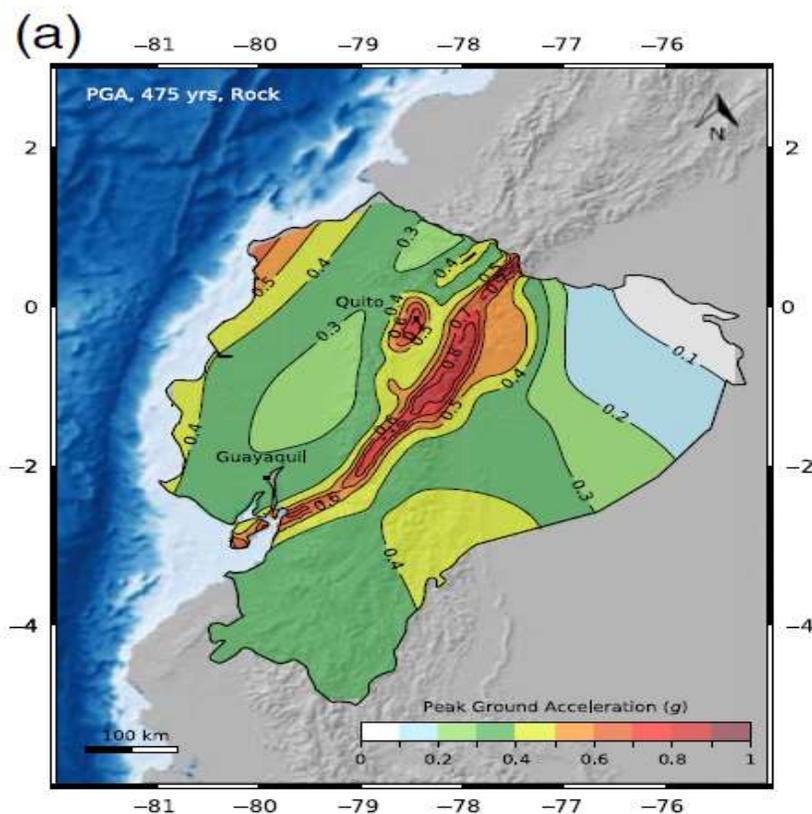


Figura 3. Mapa de peligro medio para un período de retorno de 475 años.

Fuente: (Beauval, y otros, 2018)

En la Figura 4 se puede observar como el peligro baja de una manera considerable cuando se considera el 50% de deformación asísmica en los lugares que se encuentran asentados a lo largo del sistema de fallas CCPP. En la fuente de fallas de Quito, los valores de aceleración que se presentan están en el rango de 0.5 – 0.6 g. Las aceleraciones también se reducen para los lugares que se encuentran sobre las fuentes de fallas de El Ángel, Latacunga, Napo, con aceleraciones que están entre el rango de 0.3 – 0.4 g (Beauval, y otros, 2018).

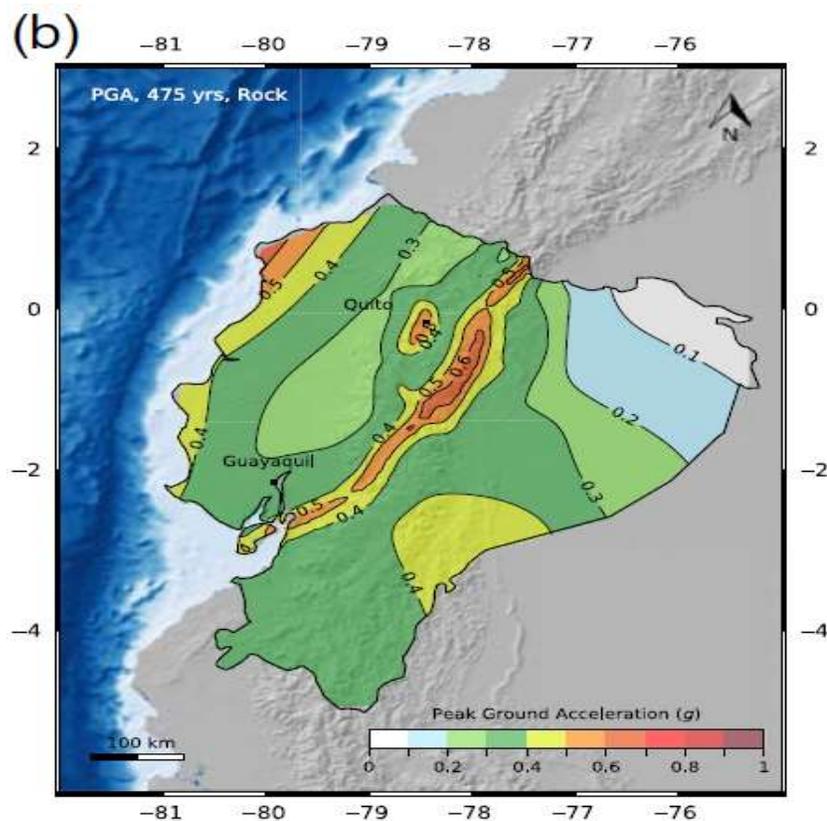


Figura 4. Mapa de peligro medio del modelo de fuente de recurrencia del terremoto que se basa en una tasa de deslizamiento geodésico con una influencia del 50%.
Fuente (Beauval, y otros, 2018)

En la Figura 5 se observa el mapa de peligro sísmico que se ha desarrollado en las seis fallas que se encuentran disponibles aplicando las tasas de deslizamiento geológico. Para estos sitios que se encuentran más cercanos a las tasas de deslizamiento geodésico estimadas, se comparan los valores obtenidos de tal manera que entre Puna, Cosanga, Chingual, se registran valores de gravedad que están con un PGA mayor a 0.6 g. Para la fuente de la falla que está a lo largo de Quito se ha reducido la tasa de deslizamiento geológico a 1mm/año que es considerablemente baja para la tasa de 4.5 mm/año, lo cual permite que los valores de gravedad se

reduzcan obteniendo un rango entre 0.4 – 0.5 g. Caso contrario se aprecia en los sitios que están ubicados sobre la fuente de falla Latacunga que indica valores que van en el rango de 0.4 – 0.6 g y con una tasa de deslizamiento geológico de 2.1 mm/año (Beauval, y otros, 2018).

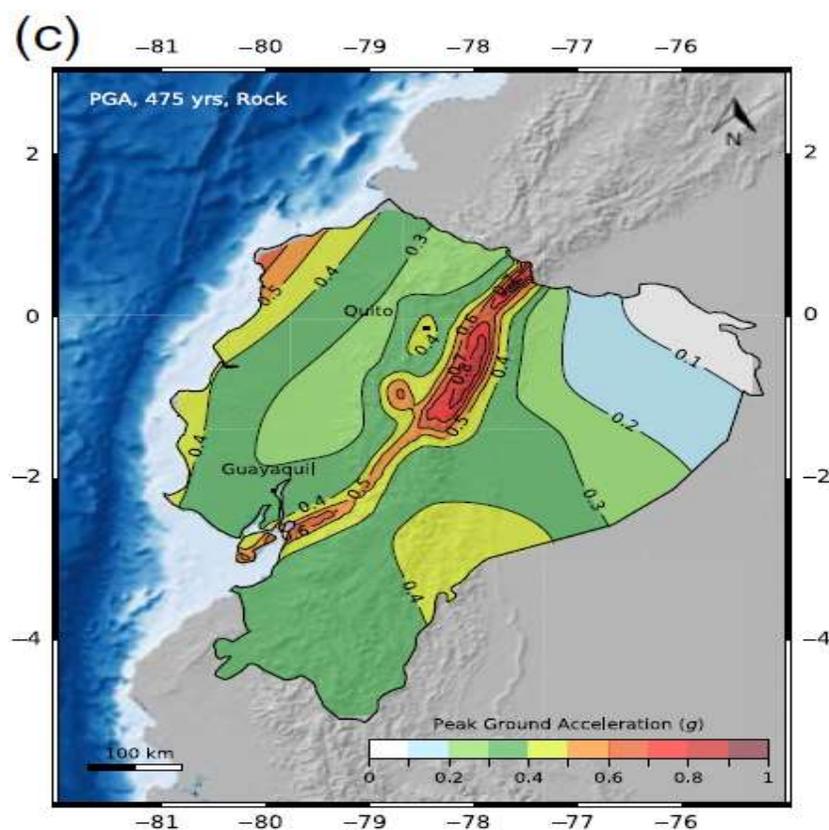


Figura 5. Mapa de peligro del modelo de fuente de recurrencia del terremoto que se basa en una tasa de deslizamiento geológico.
Fuente: (Beauval, y otros, 2018)

2.4 Estudios de suelo para la ejecución del proyecto Metro de Quito

La ruta que fue planeada para que el proyecto Metro de Quito se ejecute, se puede visualizar en la Figura 6, donde se propusieron 20 ubicaciones para ejecutar los estudios, dada la proximidad de fallas geológicas que atraviesa la ciudad y por las

cuales atraviesa esta ruta, así mismo se indica la ubicación de dichas fallas y las unidades geológicas presentes (Aguiar, 2017).

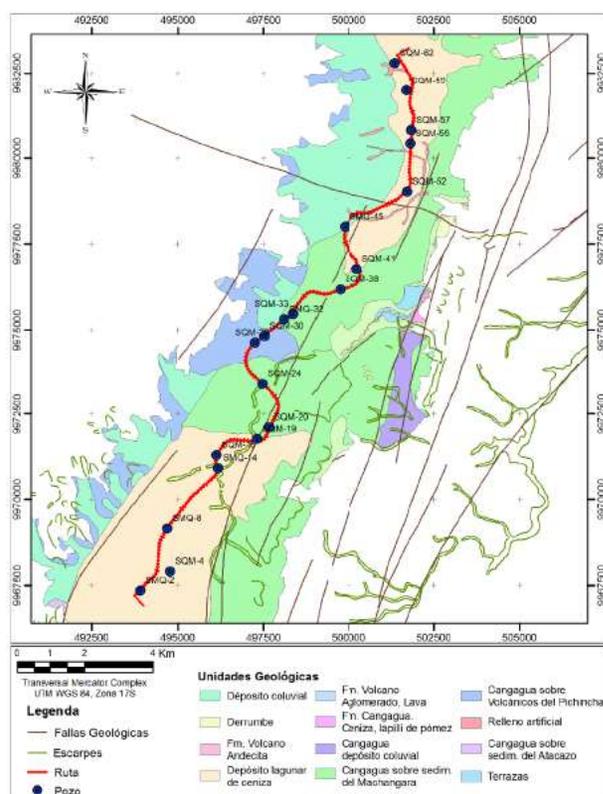


Figura 6. Puntos propuestos para realizar el sondeo del proyecto Metro de Quito.

Fuente: (Aguiar, 2017)

Los resultados de los sondeos realizados para el proyecto Metro de Quito, se presentan en el libro de Microzonificación Sísmica de Quito, los cuales están plasmados en la Figura 7, donde se aprecia que en el cuadro superior del gráfico los resultados del parámetro que mide la velocidad de la onda de corte V_s , destacando que en el punto de sondeo realizado en sector de la plaza San Francisco ubicada en el centro histórico del Distrito Metropolitano de Quito la roca ($V_s > 1000$ m/s), se encuentra a 90 metros de profundidad. Sin embargo, se continuó profundizando el

estudio por el diseño propuesto y por ser un sector considerado como patrimonial (Aguiar, 2017).

Caso diferente sucede en el sur del DMQ específicamente en el punto ubicado en el sector de la Magdalena en el cual no se pudo apreciar roca ($V_s > 1000$ m/s) a pesar de que el sondeo llegó a 90 m, como consecuencia de esto no se puede asegurar a la profundidad que se encuentre roca. Es probable que la roca competente ($V_a > 1500$ m/s) se encuentre a una profundidad de 150 m, o mayor (Aguiar, 2017).

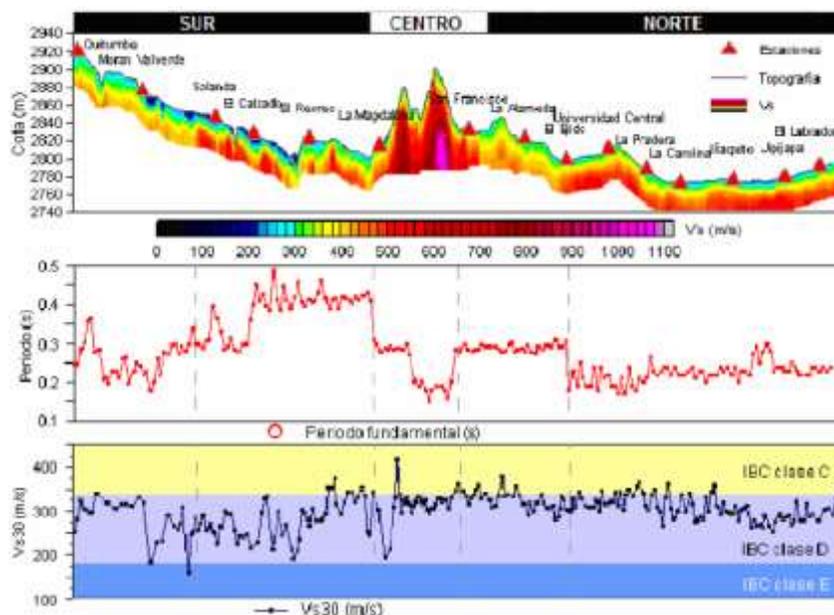


Figura 7. Resultados del sondeo para el proyecto Metro de Quito.

Fuente: (Aguiar, 2017).

Mientras tanto en el cuadro central de la Figura 7 se aprecia los periodos de vibración del suelo obtenidos en los sondeos efectuados, obteniendo así para el punto ubicado en el sector de San Francisco, centro del DMQ un periodo de 0.1 s, que se cataloga como un suelo muy duro. En el sector sur del DMQ, se obtiene un periodo de

0.5 s, mientras que en los puntos ubicados en el centro norte del DMQ, se tiene valores menores, lo que indica que en el sector centro norte del DMQ, se tiene un suelo más resistente (Aguiar, 2017).

En el cuadro inferior de la Figura 7 se indican los valores determinados en los puntos del sondeo del parámetro de velocidad de onda de corte en los primeros treinta metros denominado V_{s30} . Este parámetro deja en evidencia que en gran parte de los suelos del DMQ son de Tipo "D" acorde con la clasificación propuesta por el IBC (International Building Code 2003). Este tipo de suelos están entre un rango de velocidades de onda de corte en el rango de 180 y 340 m/s, que demuestran un suelo de capacidad media en el DMQ (Aguiar, 2017).

2.5 Nueva clasificación para suelos del Distrito Metropolitano de Quito para determinar cargas sísmicas

El estudio geológico de suelos realizado por Avíles (2013) explica la composición de los suelos con el fin de conocer la naturaleza de los mismos. En esta sección se presenta la nueva clasificación de suelos respecto a su aplicación para cargas sísmicas del Distrito Metropolitano de Quito, que tiene como base la propuesta realizada en el 2002 por la Escuela Politécnica Nacional, a esta se ha adicionado los estudios referentes al sondeo en los puntos propuestos para la construcción del proyecto Metro de Quito, que han permitido calcular el parámetro V_{s30} que indica la velocidad de la onda de corte a los 30 m, de igual manera se ha incluido los estudios realizados por el ERN-12 que han sido enfocados en lugares donde se encuentran centros de educación municipal para la Microzonificación de Quito, finalmente los

estudios realizados por la Universidad de las Fuerzas Armadas en el Parque Metropolitano, teniendo así en la Figura 8 una gráfica que indica la división del DMQ en sus diferentes zonas, Sur, Centro Sur, Centro, Centro Norte y Norte. Adicionalmente la simbología del tipo de suelo encontrado en cada una de las mencionadas, es importante acotar que se debe realizar estudios más profundos en las zonas marcadas con tipología “E”, dado el problema que podría causar ante un evento sísmico (Aguiar, 2017).

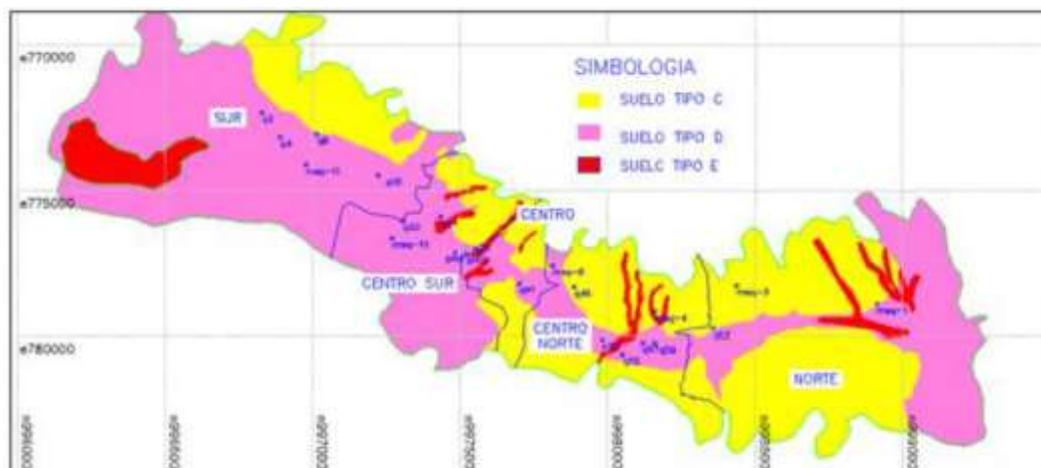


Figura 8. Clasificación nueva de suelos del DMQ.
Fuente: (Aguiar, 2017)

Es importante destacar que mediante los estudios realizados se ha propuesto esta nueva clasificación en la que su simbología se sugiere en tres tipos de suelo, siendo el tipo “C” que se aprecia en la NEC-15 el equivalente a la zona S2 planteada en el CEC-2000, que tiene como principal característica la presencia de cangahuas poco consolidadas y de bajo espesor, así mismo existen depósitos de lahares y restos lacustres. El suelo tipo “D” que se aprecia en la NEC-15 corresponde a la zona S3 planteada en el CEC-2000, que posee como característica principal periodos de

vibración mayores a 0.6 s, finalmente el suelo tipo “E” que se aprecia en la NEC-15 corresponda e la zona S4 planteada en el CEC-2000, en la que se ha catalogado como suelos especiales por su alta sensibilidad, lo cual los vuelve susceptibles a un colapso además de poseer un alto riesgo de licuación, estas características se pueden encontrar en suelos orgánicos, turbas, lodos, rellenos realizados sin supervisión técnica, limos y arcillas con alta plasticidad es decir con un índice de plasticidad mayor a 75 ($IP > 75$).

2.6 Taxonomías constructivas en el Ecuador

El estudio desarrollado por SARA (South America Risk Assessment) elaboró una clasificación de tipologías constructivas mediante el ultimo censo realizado en 2010, se encuentra que Ecuador tiene aproximadamente 4 millones de viviendas divididas en 29 categorías taxonómicas a nivel nacional, las categorías que predominan son materiales no confinados tales como mampostería no reforzada y pórticos de hormigón armado. En la Tabla 5 se muestran las principales taxonomías constructivas encontradas en el país.

Tabla 5
Principales taxonomías constructivas del Ecuador

Taxonomía	Clase
MUR+ADO	Tapial + adobe
MUR	Mampostería no reforzada
MCF	Mampostería confinada
MR	Mampostería reforzada
CR/LWAL-LDUAL	Pórticos + Muros de Hormigón Armado
CR/LFM-LFINF	Pórtico de Hormigón Armado Resistente a momento con muros de relleno
ER+ERT	Bahareque
W	Madera
MUR+ST	Mampostería no reforzada + Piedra

Fuente: (South America Risk Assessment, 2018)

En la Tabla 6 se muestran las taxonomías estructurales encontradas en principales ciudades del Ecuador.

Tabla 6
Principales taxonomías por ciudad.

Ciudad/ Taxonomía	MUR+ADO	MUR	MCF	MR	CR/LWAL- LDUAL	CR/LFM- LFINF	ER+ERT	W	MUR+ST
Ciudad									
Quito	x	x	x	x	x	x	x	x	
Cuenca	x	x	x		x	x	x	x	
Ibarra	x	x	x			x	x	x	
Guayaquil		x	x	x	x	x		x	
Esmeraldas		x	x			x		x	
Manabí		x	x			x		x	
Tena		x	x			x		x	

Fuente: (South America Risk Assessment, 2018)

2.7 Construcciones informales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)

El problema de los asentamientos informales ha desencadenado en un alto porcentaje de construcciones informales, dado que según (Jácome, 2017) se estima que existe un 60% de este tipo de construcciones en la ciudad de Quito, lo que conlleva a que aumente la vulnerabilidad de la estructura debido a que la característica principal de una construcción informal son los problemas constructivos y la poca o nula supervisión de personas realmente capacitadas para evitar patologías constructivas a futuro, dado que Ecuador es un país con un alto riesgo sísmico y propenso a eventos naturales que podrían afectar la seguridad de los ocupantes. Es por eso que el cabildo se ha planteado como objetivo una evaluación de 500 mil viviendas a pesar que el número de viviendas informales bordean las 300 mil, pretendiendo detallar si las viviendas analizadas necesitan algún tipo de refuerzo estructural teniendo como criterio principal precautelar la vida de los ocupantes de este tipo de construcciones (Jácome, 2017). Es importante mencionar que al estar frente a construcciones de tipo mixta no existe una tipología que permita realizar una clasificación. Esto ocurre porque cuando inició el Plan Solanda, las viviendas en su primer piso, fueron construidas con mampostería no reforzada y para realizar ampliaciones a partir del segundo piso en adelante se han utilizado pórticos de hormigón armado.

2.8 Efectos negativos de la falta de control de obra en estructuras informales.

Las condiciones de trabajo, la falta de control de obra, la falta de normativas entre otros factores castigan el rendimiento a corto y largo plazo del sistema estructural entre las cuales (Silva J. , 2017) menciona las siguientes:

“Derivas de piso excesivas, torsión en planta, pisos blandos, otras irregularidades en planta y elevación, secciones y armados insuficientes o la pérdida de propiedades mecánicas de los materiales como la corrosión del acero y la carbonatación en el hormigón” (p. 85).

Las deficiencias estructurales se originan por la presencia de diferentes factores en la concepción del proyecto estructural como en la ejecución, el principal problema recae en la necesidad de una vivienda de bajo presupuesto, enfocado en sectores de bajo poder adquisitivo. Originando asentamientos de alto riesgo con viviendas que en su proceso de construcción no contaron con un manual de control de obra que garantizara el cumplimiento de estándares de calidad con respecto a los materiales, mano de obra, sistema constructivo, etc. (Pachacama & Proaño, 2017).

El 60% de las viviendas en Quito se catalogan como informales, se estima que ninguna de aquellas se ejecutó con un manual de control de obra, el cual debe contar con los siguientes elementos que garanticen la calidad de un proyecto como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7.*Elementos que garantizan la calidad de un proyecto civil.*

Registro y control de:
Documentación administrativa del proyecto
Personal involucrado en el proyecto
Planos y detalles constructivos
Documentos legales necesarios para la ejecución del proyecto
Inconvenientes y postergaciones
Cronograma de obra
Control de materiales
Control de calidad

Fuente: (Leceta, 2012).

2.9 Análisis del enfoque de la vulnerabilidad sísmica

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) por su ubicación en una zona de alta vulnerabilidad sísmica, por el sistema de fallas, tiene un riesgo latente a ser susceptible ante un evento sísmico de diferentes magnitudes, distancias y profundidades los cuales pueden ir desde magnitudes en escalas que no causen daño a escalas que puedan generar daños catastróficos dejando como resultado pérdidas de vidas, daños materiales e infraestructura en general, daños en el ambiente, factores que afectarían a la economía pública y privada del país (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

En el desarrollo de este trabajo de investigación se plantea el uso del formato de detección visual rápida de estructuras proporcionado por el Federal Emergency Management Agency (FEMA) P154, un formato fundamental en la metodología norteamericana para la prevención de vulnerabilidad sísmica en estructuras, que permite catalogar mediante una serie de parámetros visuales si la estructura es

susceptible basándose en una calificación estimada que será resultado de una inspección, cabe mencionar que en el DMQ se utilizará el formato de muy alta vulnerabilidad por los antecedentes anteriormente expuestos. Además, se incorporará un análisis experimental mediante el uso de un acelerómetro Waspmote permitiendo así determinar el periodo de vibración de una estructura, dato fundamental en el cálculo del índice de vulnerabilidad que posteriormente será clasificado usando una metodología chilena expuesta en el perfil Bio-Sísmico de edificios de la ciudad de Chile.

2.10 Metodología para determinar la vulnerabilidad

La metodología planteada en el perfil Bio – Sísmico, nace cuando Guendelman y un grupo de técnicos bajo su supervisión, realizan una investigación con una muestra de 585 edificios, donde se evaluaron indicadores de redundancia, ductilidad, rigidez y acoplamiento. Con los indicadores analizados se creó una base que se asemejaba a un “Perfil Bio - Químico”, destinado a la aplicación en personas, que consiste en una serie de exámenes que determinarán el estado de salud. Por esa razón que se denomina perfil Bio – Sísmico, pues mediante la aplicación de los 13 indicadores se establecerá una calificación que será indicativo del comportamiento estructural (Guendelman, Guendelman, & Lindenberg, 1997).

Su versatilidad ha permitido que sea aplicado en varios países desde Chile, país donde se originó, ya que a partir de 1985 los diferentes eventos sísmicos que se han registrado han sido varios, y esta metodología ha servido para evaluar y analizar estructuras de tipo sismorresistente (Guendelman, Guendelman, & Lindenberg, 1997).

Los ítems que se deben tener en cuenta en la aplicación de esta propuesta para análisis sismorresistente según (Guendelman, Guendelman, & Lindenberg, 1997) , los parámetros a analizar se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8.

Parámetros a analizar en el perfil Bio - Sísmico.

Relación entre la altura total de la estructura y el primer periodo de vibración
Cálculo del efecto P - Delta
Chequeo en el nivel superior del desplazamiento
Máximo desplazamiento de entresijos en centro de masas
Máximo desplazamiento de entresijos en puntos extremos
Relación entre el periodo rotacional y el periodo traslacional
Relación entre la masa rotacional acoplada y la masa traslacional directa
Relación entre la excentricidad dinámica y el radio de giro basal
Relación entre la masa traslacional acoplada y la masa traslacional directa
Relación entre el corte basal acoplado y el corte basal directo
Relación entre el momento volcante basal acoplado y el momento volcante basal directo
Chequeo del número de elementos relevantes en la resistencia sísmica
Chequeo del factor de reducción espectral efectivo (R^{**})

Fuente: (Guendelman, Guendelman, & Lindenberg, 1997)

Lo que el autor del perfil Bio-Sísmico propone para obtener un índice de vulnerabilidad en las estructuras analizadas es la aplicación del cociente entre la altura total de la estructura versus el periodo de vibración de la estructura, dado que es un valor que permite interpretar de manera acertada el estado de la rigidez en edificaciones (Guendelman, Guendelman, & Lindenberg, 1997).

De tal manera que con el pasar de los años se ha aplicado esta metodología, generando valiosos estudios de vulnerabilidad sísmica, uno de ellos muy reciente y de alto impacto es el que se generó después del evento sísmico del 16 de abril de 2016 que se produjo en la provincia de Manabí, en el noreste de Ecuador que presentó una

magnitud de 7.8 grados, lo que obligó a las estructuras a incursionar en el rango no lineal, produciendo severos daños, por esta razón se han analizado los periodos de vibración experimentales de 13 estructuras ubicadas en Bahía de Caráquez y se obtuvo un índice de vulnerabilidad mediante la aplicación de la relación H/T (Aguar & Zambrano, 2018).

2.11 Ejecución del ensayo

2.11.1 Instalación de acelerómetro

El acelerómetro Wasmote tiene un sensor de movimiento incorporado que transmite a la mota las variaciones de aceleración experimentadas en cada uno de los 3 ejes (X, Y, Z), dichas aceleraciones serán registradas a una frecuencia de 50Hz.

Las componentes de los ejes X e Y de la mota deben ser colocadas respecto a los ejes principales de la estructura respectivamente como se muestra en la Figura 9.



Figura 9 Dirección de Ejes en Wasmote Plug&Sense

Fuente: (Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2018)

El equipo Wasmote se instala en el centro de masas del último piso de la edificación por el lapso de 30 minutos, procurando mantenerlo fijo a la superficie

durante todo el ensayo, para esto se hará uso de cinta adhesiva de tela para una mayor sujeción.

2.11.2 Inicio de toma de datos

Con el equipo plantado correctamente, como se ha indicado en el apartado anterior se procede a usar un cable USB macho a macho, para efectuar la transferencia de datos, el mismo que se deberá conectar un extremo en el equipo retirando la tapa de protección y el otro extremo a una computadora, tal como se indica en la Figura 10.



Figura 10 Instalación de cable USB para transferencia de datos

Fuente: *(Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2018)*

Al terminar de ejecutar este paso y cerciorarse de que esté conectado adecuadamente el cable se procede a abrir el programa Wasmote PRO IDE, que previamente se deberá descargar de la página web del equipo Wasmote y se instalará para poder ejecutarlo en la PC, obteniendo una interfaz como la que se muestra en la Figura 11, en la que se deberá cargar el código de programación que se vaya a utilizar según sean los requerimientos, en este proyecto de investigación se usará una programación que permita la toma de datos en una frecuencia de 50 Hz.



Figura 11 Interfaz del programa Waspnote PRO IDE

En el siguiente paso se deberá chequear que la opción de puerto que se encuentra en la pestaña de herramientas sea la misma que tiene el equipo como se indica en la Figura 12 (a), de no ser el caso cambiarla, en la Figura 12 (b) se indica que se debe ingresar en la opción de monitor serie para proceder el inicio de la toma de datos dejando el equipo el tiempo establecido para cada estudio, en este proyecto de investigación se mantendrá el equipo por un tiempo de 30 minutos en cada estructura.

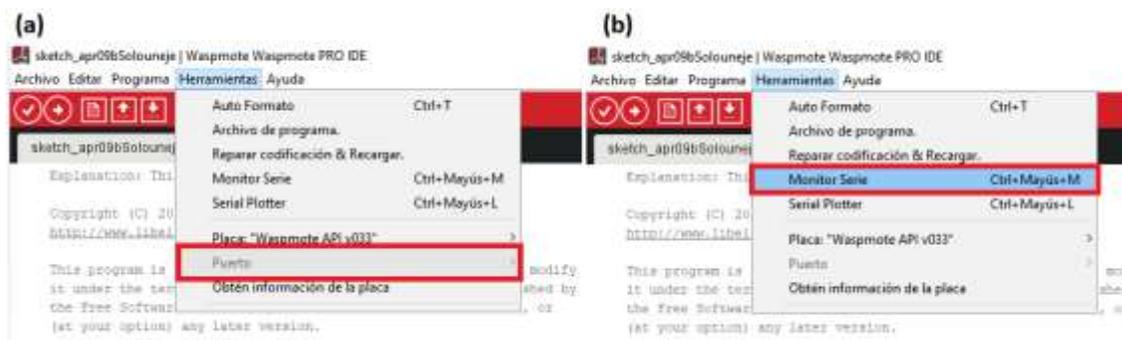


Figura 12 Pestañas a chequear en el programa Waspnote PRO IDE para inicio de toma de datos

2.11.3 Determinación del primer periodo de vibración de las estructuras

Una vez obtenidos los datos de las aceleraciones estos deben ser clasificados por sus componentes en los ejes X, Y, Z, el equipo Waspnote registra las aceleraciones en mili gravedades, para el tratamiento de los datos se hará uso del software SeismoSignal.

Se exportan las aceleraciones según el eje a analizar, en la Tabla 9 se muestran los parámetros de entrada del programa SeismoSignal y sus respectivas unidades.

Tabla 9
Parámetros de entrada Seismo Signal

Parámetro	Unidades
<i>Aceleración</i>	<i>mili-g</i>
<i>Velocidad</i>	<i>cm/sec</i>
<i>Desplazamiento</i>	<i>cm</i>

Para obtener una aproximación exacta del periodo fundamental de vibración se deben filtrar los datos con el fin de eliminar ruido y factores externos que hayan interferido en el ensayo, para calibrar los datos el programa SeismoSignal cuenta con una herramienta de corrección, mediante la cual selecciona el tipo de filtro a usar en la Figura 13 se muestra la interfaz que permite realizar el filtro de datos.

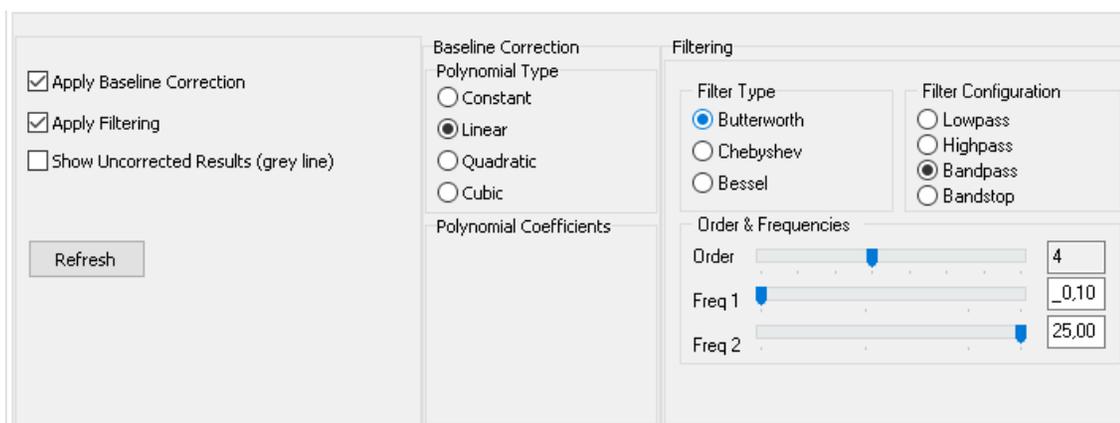


Figura 13. Corrección de Datos y Filtros.

Posteriormente se obtendrá el espectro de Fourier y de Fuerza; para obtener el periodo fundamental de la estructura se debe encontrar la mayor amplitud de Fourier. En la Figura 14 se muestra un ejemplo en el que periodo fundamental de la estructura es de 0.44 segundos y la mayor amplitud de Fourier encontrada es de 23.26.

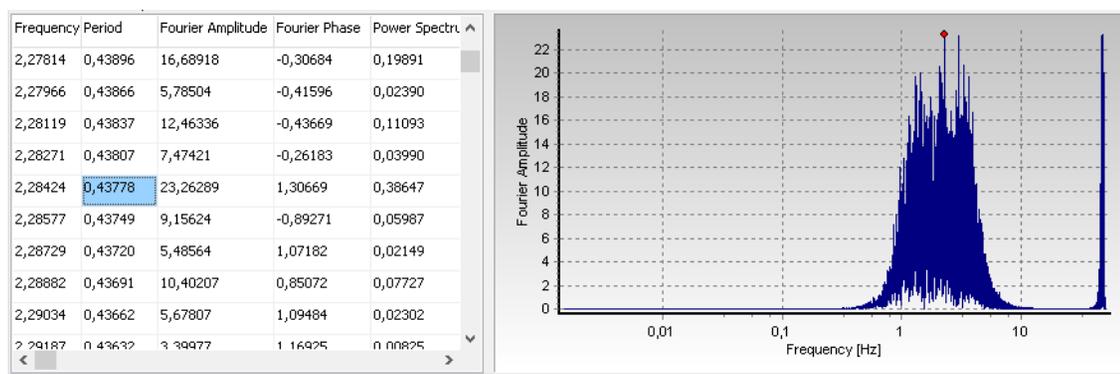


Figura 14. Periodo encontrado con su amplitud máxima.

2.11.4 Determinación de la flexibilidad de las estructuras de las estructuras

Con la determinación del periodo fundamental de las estructuras a analizar, se procede a aplicar uno de los parámetros utilizados en el perfil Bio – sísmico de la metodología chilena, donde da prioridad a la relación H/T propuesta por (Guendelman,

Guendelman, & Lindenberg, 1997), dado que permite evaluar la rigidez mediante la obtención de este índice, aplicando la Ecuación 2.

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = \frac{\text{Altura total}}{\text{Periodo de vibración}} \quad (3)$$

El valor del índice de vulnerabilidad obtenido se lo procederá a catalogar mediante el uso de la Tabla 10 que indica los rangos de valores.

Tabla 10
Clasificación de valores de Rigidez.

Índice de Vulnerabilidad (m/s)	Rigidez
< 20	Muy Flexible
20 - 40	Flexible
40 - 70	Normal
70 - 150	Rígidos

Fuente: (Guendelman, Guendelman, & Lindenberg, 1997)

2.12 Formatos de evaluación de vulnerabilidad

2.12.1 FEMA P-154: (RVS) Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards

El procedimiento de detección visual rápida (RVS) se ha desarrollado para identificar, inventariar y detectar edificios que son potencialmente peligrosos desde el punto de vista sísmico.

Una vez evaluados e identificados como vulnerables, aquellos edificios deberían pasar por un estudio más detallado que incluya modelación del sistema estructural y análisis de la resistencia de los materiales entre otros. El procedimiento RVS utiliza

una metodología basada en una encuesta de acera del edificio y un formulario de recopilación de datos, el evaluador realiza la encuesta completa basándose en la observación visual del edificio desde el exterior y, si es posible, en el interior. El formulario de recopilación de datos de dos páginas incluye espacio para documentar la información de identificación del edificio, incluyendo su uso y tamaño, una fotografía del edificio, bocetos y documentación de datos pertinentes relacionados con el desempeño sísmico. En base a los datos recopilados durante la encuesta, se calcula una puntuación que proporciona una indicación del rendimiento sísmico esperado del edificio (FEMA, 2015).

En la Figura 15 y 16 se muestran los formularios de evaluación de nivel 1 y 2 para regiones de muy alta peligrosidad sísmica.

Formato de evaluación rápida para peligrosidad sísmica																Nivel 1							
Fema P-154																MUY ALTA PELIGROSIDAD							
Fotografía																Dirección:							
																Cod. Postal:							
																Otra Identificación:							
																Nombre del Edificio:							
																Uso:							
																Latitud:		Longitud:					
																Ss:		S1:					
																Inspector:		Fecha:					
																N. Pisos: Sobre el nivel del piso:		Bajo el nivel:					
																Año de construcción		Año Código:					
																Area de construcción total (m2):							
																Adicionales: <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si, Año de Construcción:							
																Ocupación:							
																Asamblea		Comercial		Serv. Emergencia		Histórico	
																Industrial		Oficina		Colegio		Gobierno	
																Utilidad		Almacén		Residencial # Unidades:			
																Tipo de Suelo							
																<input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> F Desconocido							
																Roca Roca Suelo Suelo Suelo Suelo Si es desconocido							
																Dura Blanda Denso Rígido Blando Pobre Asuma tipo D							
Riesgo Geológico:																							
Licuefacción: SI/NO/Descn Deslizamientos: SI/NO/Descn Grietas: SI/N																							
Proximidad: <input type="checkbox"/> Golpeteo <input type="checkbox"/> Peligros de caída de un edificio adyacente																							
Irregularidad: <input type="checkbox"/> Vertical (Tipo/Gravedad)																							
<input type="checkbox"/> Planta (Tipo)																							
Riesgo de caída: <input type="checkbox"/> Chimeneas sin abrazadera <input type="checkbox"/> Revestimiento Pesado																							
Peligros: <input type="checkbox"/> Parapetos <input type="checkbox"/> Apéndices																							
<input type="checkbox"/> Otros:																							
COMENTARIOS:																							
PUNTAJE BÁSICO, MODIFICADO, Y PUNTAJE FINAL DEL NIVEL 1 SL1																							
Tipo de construcción FEMA		W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH					
Puntaje Básico		2,1	1,9	1,8	1,5	1,4	1,6	1,4	1,2	1,0	1,2	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1					
Irregularidad Vertical Severa, VL1		-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	NA					
Irregularidad Vertical Moderada, VL1		-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA					
Irregularidad en planta, PL1		-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA					
Pre-Código		-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0					
Posterior-Punto de referencia		1,9	1,9	2,0	1,0	1,1	1,1	1,5	NA	1,4	1,7	NA	1,5	1,7	1,6	1,6	NA	0,5					
Suelo tipo A o B		0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1					
Suelo tipo E (1 - 3 Pisos)		0,0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	-0,1					
Suelo tipo E (> 3 Pisos)		-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	NA	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	NA	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	NA					
Puntaje Mínimo Smin		0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1,0					
PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1 ≥ Smin																							
ALCANCE DE LA REVISIÓN						OTROS RIESGOS						ACCIÓN REQUERIDA											
Exterior: <input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Todos lados <input type="checkbox"/> Aereo						¿Hay riesgos que desencadenan una evaluación estructural detallada? <input type="checkbox"/> Potencial Golpeteo (a menos que SL2>límite, si se conoce) <input type="checkbox"/> Peligro de caída desde un edificio adyacente mas alto <input type="checkbox"/> Peligro Geológico o Suelo tipo F <input type="checkbox"/> Daño/deterioro significativo al sistema estructural						Requiere una evaluación estructural detallada? <input type="checkbox"/> Sí, tipo de edificio desconocido de FEMA u otro edificio <input type="checkbox"/> Sí, puntúa menos que el límite <input type="checkbox"/> Sí, otros peligros presentes <input type="checkbox"/> No											
Interior: <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Visible <input type="checkbox"/> Ingresó												Se recomienda una evaluación no estructural detallada? (Seleccione una) <input type="checkbox"/> Sí, se identificaron riesgos no estructurales que deberían evaluarse <input type="checkbox"/> No, existen peligros no estructurales que pueden requerir mitigación, pero no es necesaria una evaluación detallada <input type="checkbox"/> No, no se identificaron peligros no estructurales <input type="checkbox"/> Desconocido											
Revisión de planos: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No						NIVEL 2 INSPECCIÓN REALIZADA? <input type="checkbox"/> Sí, Puntaje final nivel 2 SL2: <input type="checkbox"/> No Peligros no estructurales <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No																	
Tipo de fuente de suelo:																							
Fuente de peligros geológicos:																							
Persona de contacto:																							

Figura 15. Formato de nivel 1 para regiones de muy alta peligrosidad sísmica. Fuente: (FEMA, 2015)

Formato de Evaluación Fema P-154				Nivel 2	
Nombre del edificio:		Puntaje Final Nivel 1: (no considerar puntaje mínimo)=		SL1=	
Evaluador:		Modificadores de Irregularidad del nivel 1: Irreg Vert (VL1), Irreg plant(PL1)		VL1=	PL1=
Fecha:		Puntaje de corrección: S'=(SL1-VL1-PL1)=		S' =	
Modificadores estructurales para agregar al puntaje básico					
Tipo	Descripción		Si	Subtotales	
Irregularidad Vertical, V12	Desnivel	Edificio W1: Existe al menos un piso completo de desnivel de un lado del edificio a otro		-0,9	V12 = _____
		Otros aparte de W1: Existe al menos un piso completo de desnivel de un lado del edificio a otro		-0,2	
	Piso débil o blando	Edificio W1 con muros de sótano: Deformación en muros de sótano son visibles		-0,5	
		Edificio W1 sobre garage: Debajo de un piso ocupado existe un garage abierto sin estructura de acero resistente a momento y hay menos de 20cm de muro en la misma línea (para múltiples pisos, mínimo 40cm)		-0,9	
		Edificio W1A frente abierto: Existen entradas a nivel de piso para parqueadero sobre el 50%de la longitud del edificio.		-0,9	
		Otros aparte de W1: La longitud del sistema lateral de cualquier piso es menor que el 50%de los pisos superiores, o la altura de cualquier piso es es mas de 2 veces la altura de los pisos superiores.		-0,7	
	Retiros	Otros aparte de W1: La longitud del sistema lateral de cualquier piso está entre 50%75% de los pisos superiores, o la altura de cualquier piso está entre 1,3 y 2 veces la altura de los demas pisos(por lo general el primero)		-0,4	
		Los elementos verticales del sistema lateral en una planta superior están fuera de los que se encuentran en piso inferior, causando que el diafragma quede en cantiliver.		-0,7	
		Los elementos verticales del sistema lateral en los pisos superiores están en el interior de los que están en los pisos más bajos		-0,4	
	Columna corta	Elementos en cantiliver de mayor dimensión que el resto de elementos		-0,2	
C1, C2, C3, PC1, PC2, RM 1, RM 2: Al menos el 20%de las columnas (o pilares) a lo largo de una línea de columnas en el sistema lateral tienen relaciones de altura / profundidad inferiores al 50%de la relación altura / profundidad nominal en ese nivel			-0,4		
C1, C2, C3, PC1, PC2, RM 1, RM 2: la profundidad de la columna es inferior a la mitad de la profundidad del espacio entre la parte superior de la ventana en un piso y el alféizar de la ventana en el piso anterior, o hay paredes de relleno o pisos adyacentes que acortan la columna			-0,4		
Dos Niveles	Existe una división de niveles en un piso o en el techo.		-0,4		
Otra irregularidad	Hay otra irregularidad vertical severa observable que obviamente afecta el rendimiento sísmico del edificio		-0,7		
	Hay otra irregularidad vertical moderada observable que puede afectar el rendimiento sísmico del edificio		-0,4		
Irregularidad torsional, PI2	Irregularidad torsional: el sistema lateral no parece estar bien distribuido en el plano en una o ambas direcciones. (No incluya la		-0,5	PI2 = _____	
	Sistemas no paralelos: hay uno o más elementos verticales principales del sistema lateral que no son ortogonales entre sí.		-0,2		
	Esquina reentrante: ambas proyecciones de una esquina interior superan el 25%de la dimensión general exterior.		-0,2		
	Abertura del diafragma: hay una abertura en el diafragma con un ancho superior al 50%del ancho total del diafragma en ese nivel		-0,2		
	C1, C2 construcción en cantiliver fuera del plano: las vigas exteriores no se alinean con las columnas en el plano		-0,2		
Otra irregularidad: hay otra irregularidad en el plano observable que obviamente afecta el rendimiento sísmico del edificio.		-0,5			
Redundancia	El edificio tiene al menos dos divisiones de elementos laterales en cada lado y cada dirección del edificio.		0,2		
Golpeteo	El edificio está separado de una estructura adyacente por menos del 1%de la altura del edificio mas corto.	Los pisos no se alinean verticalmente por 60 cm		-0,7	
		Un edificio es 2 o mas pisos mas alto que el otro		-0,7	
		El edificio está al final de un bloque de edificios		-0,4	
Estructura S2	Sistema de refuerzo 'K' es visible		-0,7		
Estructura C1	Placa plana sirve como viga en porticos de momento		-0,3		
Estruct PC1/RM	Existen arriostramientos que son visibles o conocidos a partir de dibujos que no trabajan a flexión transversal		0,2		
Estruct PC1/RM	El edificio tiene paredes interiores muy espaciadas y de altura completa		0,2		
Estruct URM	Existencia de paredes tipo Gable		-0,3		
EstructMH	Hay un sistema complementario de apuntalamiento sísmico provisto entre la cimentación y el suelo		0,5		
Adaptaciones	Modificación sísmica integral es visible o se conoce a partir de planos		1,2		
PUNTAJACIÓN FINAL NIVEL 2 SL2=(S'+V12+PI2+M) ≥ Smin:					
Existe daño observable o deterioro u otra condición que negativamente afecte el desempeño sísmico del edificio, si la respuesta es si describa la condición en el cuadro de debajo indicando en la forma 1 que detalla que se requiere evaluación independiente a estas formas.					
SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
Peligros no estructurales observables					
Lugar	Descripción		Si	No	
Exterior	Hay un parapeto de mampostería no reforzado sin armadura, o una chimenea de mampostería no reforzada sin armadura				
	Hay un revestimiento pesado o chapado gruesa				
	Hay un toldo pesado sobre las puertas de salida o las aceras peatonales que parece estar inadecuadamente colocado				
	Hay un accesorio de albañilería no reforzado sobre las puertas de salida o los pasillos peatonales.				
	Hay un cartel publicado en el edificio que indica que hay materiales peligrosos presentes				
	Hay un edificio adyacente más alto con una pared URM sin anclaje o un parapeto o chimenea URM sin abrazadera				
Interior	Otro peligro de caída no estructural exterior observado				
	Hay tabiques de arcilla hueca o ladrillo en cualquier corredor de escalera o salida				
	Otro peligro de caída no estructural interior observado				
Estimar el rendimiento sísmico no estructural (Escoger una y adjuntarla a las conclusiones de la forma del nivel 1)					
<input type="checkbox"/> Posibles riesgos no estructurales con una amenaza significativa para la seguridad de vida de los ocupantes Se recomienda una evaluación no estructural detallada					
<input type="checkbox"/> Riesgo no estructural identificado con una amenaza significativa para la seguridad de vida de los ocupantes, pero no se requiere una evaluación no estructural detallada					
<input type="checkbox"/> Amenaza de riesgo no estructural bajo o nulo para la seguridad de vida de los ocupantes No se requiere una evaluación no estructural detallada					
Comentarios:					

Figura 16. Formato de nivel 2 para regiones de muy alta peligrosidad sísmica. Fuente: (FEMA, 2015)

2.12.2 Formato para evaluación rápida estructural de viviendas informales.

El formulario de evaluación se plantea usando como referencia la metodología utilizada por el CENAPRED y el ATC-20 Rapid Evaluation Safety Assesment Form en el que se evalúa aspectos como: secciones de elementos estructurales, irregularidades en planta y elevación, presencia de daños; el formato evalúa cada parámetro y asigna una calificación de 1 a 5 que se sumaran y al final una puntuación de más de 20 puntos se considera altamente vulnerable.

En la Figura 17 se muestran el formulario para evaluación rápida estructural de viviendas informales propuesto por (Silva J. , 2017).

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES										
Nombre del Evaluador			Ing/ Arq.		Estudiante		Otro			
PARAMETROS GENERALES										
Nombre del Proyecto										
Dirección										
Ciudad			Sector			Referencia				
Propietario				Teléfono			C.I			
Número de Habitantes			Número Familias			Telf. Contacto				
Fecha			Vivienda en Arriendo			SI		NO		
Niveles en Altura			Subsuelos			Área Terreno (m2)				
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]		Topografía	Planicie		Ladera		Relleno		
	Fondo (Y) [m]			Topografía Irregular (pendiente)						
Año Construcción				Rehabilitación		Año		Notas		
Año Reconocimiento Informal por el Municipio				SI						
Altura Típica de Entrepiso [m]				NO						
SISTEMA LIGERO ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)										
	1		2		3		4		5	
1. Secciones en columnas existentes (cm2)	Todas ≥ 900		Al menos 70% $600 < X < 900$		Al menos 70% $400 < X < 600$		Al menos 70% $200 < X < 400$		≤ 200	
2. Vigas existentes	Peraltadas				Banda					
3. Peralte de losas de entrepiso	25 cm		20cm		15 cm		Otro valor inferior			
4. Irregularidades en Planta	Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso 2: Retrocesos excesivos en esquinas, Caso 3: Discontinuidades en el sistema de piso, Caso 4: Ejes estructurales no paralelos									
Caso 1									Casos de Irregularidades Basados en los tipificados por la NEC 15	
Caso 2	Sin Irregularidad		1 Irregularidad		2 Irregularidades		3 o más Irregularidades			
Caso 3										
Caso 4										
5. Irregularidades en Elevación	Caso 1: Piso Flexible, Caso 2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica									
Caso 1	Sin Irregularidad		1 Irregularidad		2 Irregularidades		más de 2 Irregularidades		Casos de Irregularidades Basados en los tipificados por la NEC 15	
Caso 2										
Caso 3										
6. Daños existentes por eventos sísmicos previos	Daño Leve: nivel mampostería, Moderado: nivel vigas, Severo: nivel Columnas									
	Sin daño visible		Daño leve		Daño Moderado		Daño Severo			
ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN										
Área de Construcción (m2)			Área promedio por planta (m2)							
Acabados (precio por m2)	Se considera el precio por m2 de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232		Luzo (410 USD/m2)		Primera (365 USD/m2)		Normal (230 USD/m2)		Económico (150 USD/m2)	
Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)									USD	
NOTAS, ACLARACIONES Y CROQUIS										

Figura 17. Formulario para evaluación rápida estructural de viviendas informales.
Fuente: (Silva J. , 2017)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

El presente capítulo describe la metodología de desarrollo del proyecto abordando temas como: la delimitación del sector de estudio, tamaño de la muestra, socialización del proyecto, recopilación de registros fotográficos, fuentes y técnicas de recopilación de información y análisis de datos.

3.1 Metodología de desarrollo del proyecto

El alcance que tendrá el proyecto es de tipo correlacional ya que se encarga de establecer relaciones entre las variables a analizar, determinadas para el proyecto como: tipología estructural e índice de vulnerabilidad. Lo que inicialmente se realizará son estudios bibliográficos, recopilación de información, clasificación, ensayos de campo; para luego conjugar todos los resultados obtenidos en el análisis de la vulnerabilidad mediante el uso de la relación H/T y formato de evaluación de estructuras para finalmente poder llegar a determinar las conclusiones del proyecto de investigación.

El procedimiento al que se regirá el proyecto se detalla a continuación:

- Recopilación de información referente a la zona de estudio
- Clasificación por tipología estructural de los inmuebles.
- Ensayo con Acelerómetro Waspmote e inspección de los inmuebles clasificados por tipología.

- Tratamiento de datos y determinación de periodos de vibración e índice de vulnerabilidad.

3.2 Delimitación del sector de estudio

Se ha seleccionado el Distrito Metropolitano Quito por ser catalogada como una de las ciudades de mayor riesgo sísmico dada su ubicación sobre un sistema de fallas activas que se han explicado en los apartados anteriores, consecuencia de esto se debe enfocar el estudio en lugares más críticos de la ciudad, los cuales se encuentran ubicados en los barrios del Sur de Quito por sus condiciones precarias de construcción y de asentamientos de grupos informales, así como por su tipología estructural. La zona estudiada es el barrio Solanda, Sector 1, el cual se encuentra delimitado al norte por la calle José Abarcas, al sur por la avenida Solanda, al este por la calle José María Alemán y al oeste por la avenida Cardenal de la Torre tal como se puede apreciar en la Figura 18, teniendo las siguientes coordenadas geográficas.



Figura 18. Delimitación del Sector 1 de Solanda.

3.3 Tamaño de la muestra

En el presente proyecto se realizará el análisis de la vulnerabilidad sísmica de 95 inmuebles, tomados de una población de aproximadamente 1850 viviendas en el Sector 1 del barrio Solanda (Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda, 2016). Esta cantidad fue obtenida haciendo uso de la fórmula para calcular la muestra en poblaciones finitas (Aguilar, 2005). Como se muestra en la Ecuación 3, con un margen de error del 5% y un nivel de confianza del 90%,

$$\text{Tamaño de la muestra} = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (3)$$

Donde:

N: Tamaño de la muestra,

Z: Valor de varianza para el nivel de confianza

d: Error máximo admisible

p: probabilidad de éxito

q: probabilidad de fracaso

Reemplazados los valores se obtiene:

$$Tamaño\ de\ la\ muestra = \frac{1850 * 1.96^2 * 0.95 * 0.05}{0.05^2 * (1850 - 1) + 1.645^2 * 0.95 * 0.05} = 92.998\ viviendas$$

Posteriormente se partirá por la recopilación de datos, que comprenden planos y registros fotográficos de los inmuebles los mismos que serán proporcionados por la Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda del Distrito Metropolitano de Quito para su clasificación por tipología estructural propuesta por SARA y la selección aleatoria de las viviendas de estudio (South America Risk Assessment, 2018).

Una vez obtenida la clasificación se socializará el proyecto con el fin de solicitar el permiso a los dueños de los inmuebles para realizar la inspección que constará de:

- Toma de datos mediante formato de evaluación rápida para vulnerabilidad sísmica FEMA p-154 y formato para evaluación rápida estructural de viviendas informales (Silva, Guía de reforzamiento para estructuras informales aporricadas según estudio de vulnerabilidad en el Distrito Metropolitano de Quito., 2017).
- Registro aceleraciones en los ejes X, Y, Z mediante el uso de un acelerómetro Waspnote, posteriormente se procederá a determinar el periodo de vibración de la estructura para obtener el índice de vulnerabilidad mediante la relación H/T.

3.4 Socialización del proyecto

La socialización de este proyecto de investigación, contó con 3 etapas diferentes, la primera fue una reunión con los funcionarios de la Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda donde se explicó el alcance de la investigación, el desarrollo del proyecto en sus diferentes instancias para culminar un índice de vulnerabilidad en las viviendas y una ecuación que permita realizar un cálculo aproximado de periodos de vibración en construcciones informales. En segundo lugar se mantuvo una reunión con un funcionario de la Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda y un funcionario de la Administración Zonal Eloy Alfaro, dicha reunión tuvo como punto principal realizar una práctica del uso del acelerómetro Waspnote, destinado a tomar datos de aceleraciones en las estructuras y su posterior procesamiento para la obtención de los datos, tal como se aprecia en la Figura 19.



Figura 19 Ensayo realizado a funcionarios municipales, de izquierda a derecha: Arq. Pablo Salme (Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda), Arq. Marco Galarza (Administración Zonal Eloy Alfaro), Sr. Jonathan Gualoto (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE).

Finalmente, la tercera parte de la socialización fue la que permitió llegar a la comunidad, ya que en primera instancia se realizó una reunión con el presidente del barrio Solanda, para exponer el proyecto y la forma de proceder en la ejecución del ensayo. Posterior a eso se nos comunicó que debemos presentar este proyecto ante la comunidad en una asamblea para que sean los asistentes y propietarios los que decidan. En la Figura 20, se puede apreciar la exposición ante los asistentes de la asamblea, el comité ejecutivo de Solanda, y la presencia de la Policía Nacional, quienes mostraron su satisfacción ante el proyecto de investigación que se iba a realizar y dieron apertura al mismo por lo que se procedió a realizar una lista de los propietarios que estuvieron de acuerdo para realizar la inspección técnica.



Figura 20 Exposición de proyecto de investigación en asamblea de Solanda.

Es importante mencionar que a pesar de que se realizó la socialización en esta asamblea, y del apoyo de todos los presentes, hubo viviendas donde se negó el ingreso para realizar la inspección. Argumentaban que delegados de otras universidades ya habían realizado inspecciones similares y no les habían proporcionada ningún dato o resultado hasta la fecha. Esto sin duda retrasó el proceso de las inspecciones, pero la oportuna coordinación del Dr. Fernando Chamba

presidente de Solanda ayudó a realizar una nueva lista con la que se continuó las inspecciones.

3.5 Recopilación registro fotográfico

Para realizar la evaluación de vulnerabilidad es necesario obtener un registro fotográfico con el fin de identificar las deficiencias estructurales, patologías y daño presente en las estructuras.

Posterior al registro fotográfico se procede a elaborar una ficha, que documente las patologías por vivienda, que pueden ser encontradas en el capítulo de anexos. Esta contiene datos generales del propietario, fotografías de fachadas y la ubicación esquematizada de cada una de las patologías o daños estructurales encontrados en la inspección.

El registro fotográfico completo de cada vivienda se encuentra en la sección de anexos.

3.6 Fuentes y técnicas de recopilación de información y análisis de datos

Para realizar la recopilación de información se hará uso de dos fuentes:

Primarias; basadas en el estudio en campo que comprende la toma de aceleraciones con acelerómetro Waspmote y el registro con formulario de evaluación. Secundarias; corresponden a la revisión bibliográfica.

Para la ejecución del ensayo y la correcta evaluación de vulnerabilidad es preciso contar con materiales y herramientas que se describen a continuación:

Acelerómetro Waspnote. - Equipo de medición que registra aceleraciones en tres sentidos de análisis de la estructura, proporcionado por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Flexómetro. - Es necesario el uso de un flexómetro o cinta para registrar las dimensiones de las viviendas a analizar (frente y fondo), altura de entre piso, dimensiones de elementos estructurales.

Formatos de evaluación rápida. - El objetivo de la utilización de los Formatos de evaluación rápida Fema P-154 y el formato para evaluación rápida estructural de viviendas informales es de obtener un registro de las patologías y tipologías propias de cada vivienda mediante el cual determinar un índice de vulnerabilidad preliminar de manera rápida sin uso de ningún elemento extra.

Para la clasificación de datos obtenidos con el acelerómetro Waspnote se hizo uso del programa Excel para filtrar las aceleraciones en los diferentes ejes de análisis, además de la construcción de tablas de resultados y gráficas estadísticas.

El procesamiento de aceleraciones para la obtención de los periodos de vibración de las estructuras, se realizó con la ayuda del software SeismoSignal 2018 de la empresa Seismosoft.

La construcción de mapas de calor y vulnerabilidad fueron realizados con la versión 10.5 de ArcMap de la empresa ArcGIS.

3.7 Registro de datos mediante formatos de evaluación rápida

3.7.1 FEMA P-154

El objetivo del uso del formato FEMA P-154 es el de identificar, inventariar, y visualizar edificaciones por potencial peligrosidad sísmica, para el uso del formulario se deben tomar las siguientes consideraciones.

Se consideran tres tipos de escenarios de evaluación: baja, moderada, alta y muy alta sismicidad. Para la correcta aplicación del formulario es preciso identificar el peligro sísmico correspondiente a la región de análisis. En base a los parámetros de aceleración de respuesta espectral (MCE_R) del sismo máximo considerado S_s y S_1 , como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

Rango de respuestas de aceleración para MCE_R para cada región de sismicidad

Sismicidad de la Región	Rango de aceleraciones de respuesta para cada región	
	$S_s(g)$	$S_1(g)$
Baja (L)	$S_s < 0.250g$	$S_1 < 0.100g$
Moderada (M)	$0.250g \leq S_s < 0.500g$	$0.100g \leq S_1 < 0.200g$
Moderadamente Alta (MH)	$0.500g \leq S_s < 1.000g$	$0.200g \leq S_1 < 0.400g$
Alta (H)	$1.000g \leq S_s < 1.500g$	$0.400g \leq S_1 < 0.600g$
Muy Alta (VH)	$S_s \geq 1.500g$	$S_1 \geq 0.600g$

Fuente: (FEMA, 2015)

Los valores de aceleraciones S_s y S_1 son obtenidos del ASCE/SEI-7-10 como se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12*Respuestas de aceleración para MCE_R para la ciudad de Quito.*

Fuente	S_s	S₁
ASCE/SEI-7-10	2.04g	0.82g

Fuente: (United States Geological Survey, 2018)

Para el presente estudio se utilizó el formato de evaluación FEMA P-154 para una región de sismicidad muy alta.

El Formulario empieza con una sección de datos generales de la edificación, que incluye espacio para documentar la información de identificación de la vivienda, uso y tamaño, una fotografía del edificio, bocetos, ocupación, número de pisos y sección de comentarios, tipo de suelo y peligros geológicos.

El siguiente paso consiste en identificar el tipo de estructura y los materiales del que se compone la edificación. En la Tabla 13 se muestran los tipos de edificaciones que el FEMA P-154 puede evaluar.

Tabla 13*Edificaciones tipo*

Código	Característica
W1	Pórticos de madera ligera de una o varias viviendas familiares, una o más plantas de altura.
W1A	Pórticos de madera ligera, unidades residenciales, edificios residenciales de varios pisos con áreas planas en cada piso de más de 300 metros cuadrados
W2	Edificios comerciales e industriales con pórticos de madera con una superficie de más de 450 metros cuadrados.
S1	Edificios con pórticos de acero resistentes a momento.
S2	Edificios con pórticos de acero
S3	Edificios de metal ligero
S4	Edificios con pórticos de acero con muros de corte de hormigón.

CONTINUA →

S5	Edificios con pórticos de acero con paredes de relleno de mampostería no reforzada
C1	Edificios con pórticos de hormigón resistente a momento
C2	Edificios con muros de corte de hormigón.
C3	Edificios con estructura de hormigón con muros de relleno de mampostería no reforzada
PC1	Galpones prefabricados
PC2	Edificios prefabricados de hormigón.
RM1	Construcciones de mampostería reforzada con piso flexible y diafragmas de techo.
RM2	Construcciones de mampostería reforzada con piso rígido y diafragmas de techo.
URM	Edificios con mampostería no reforzada.
MH	Vivienda prefabricada

Fuente: (FEMA, 2015)

Para el presente proyecto de tesis se trabajó con la tipología URM (Edificios con mampostería no reforzada), tomando como base las 4 tipologías más comunes en la ciudad de Quito que corresponden a edificaciones de 1 a 4 pisos obtenidas del estudio de (Celi, Pantoja, Sosa, & Ayala, 2018).

Para cada tipología estructural se asigna un puntaje básico que será modificado por el evaluador. Los modificadores de puntaje están relacionados con los atributos de desempeño observados como: Irregularidades, código de construcción, tipo de suelo, que se suman (o restan) al puntaje básico para obtener un puntaje final.

Terminada la evaluación de nivel uno se obtendrá un puntaje relacionado con vulnerabilidad. En la Tabla 14 se muestran los puntajes y su respectivo grado de vulnerabilidad.

Tabla 14
Puntaje final asociado a vulnerabilidad sísmica.

Puntaje Final	Característica
<2	Alta Vulnerabilidad
entre 2 y 2,5	Media Vulnerabilidad
>2.5	Baja Vulnerabilidad

Fuente: (FEMA, 2015)

Una vez realizada la evaluación de primer nivel, y determinada la vulnerabilidad de la estructura, si se requiere una evaluación más detallada se puede utilizar el formulario de nivel 2. En ésta el evaluador se encontrará con modificadores adicionales de irregularidad vertical, irregularidad en planta, redundancia, golpeteo, entre otros, con el fin de ajustar el puntaje final y obtener una descripción más detallada de la vulnerabilidad estructural.

3.7.2 Formato para evaluación rápida estructural de viviendas informales.

El formato que propone el autor sirve para evaluar la vulnerabilidad de las estructuras existentes destinadas en su generalidad a viviendas. La forma en la que el formato da la puntuación final es mediante la calificación de diferentes deficiencias estructurales importantes que afectan a las estructuras por la tipología estructural presente en la construcción ecuatoriana. El formato se divide en tres secciones diferentes que serán explicadas a continuación.

En la Figura 21, se puede apreciar la primera parte del formato, donde se ubica lo referente a la información general de la vivienda como son el año de construcción, dimensiones de terreno y área de construcción. Adicionalmente se debe detallar la información general del número de residentes de la vivienda y los teléfonos de contacto (Silva J. , 2017).

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES						
Nombre del Evaluador		Ing / Arq.	Estudiante	Otro		
PARAMETROS GENERALES						
Nombre del Proyecto						
Dirección						
Ciudad		Sector	Referencia			
Propietario		Telefono	C.I.			
Número de Habitantes		Número Familias	Telf. Contacto			
Fecha		Vivienda en Arriendo	SI	NO		
Niveles en Altura		Subsuelos	Area Terreno (m2)			
Dimensiones de la estructura:	Frente (X) [m]	Topografía	Planicie	Ladera	Relleno	
	Fondo (Y) [m]		Topografía Irregular (pendiente)			
Año Construcción		Rehabilitación	Año	Notas		
Año Reconocimiento Informal por el Municipio		SI				
Altura Típica de Entrepiso [m]		NO				

Figura 21 Primera parte del formato de evaluación rápida.

Fuente: (Silva J. , 2017)

En la Figura 22, se aprecia la segunda parte del formato de evaluación. Corresponde a la evaluación visual de elementos estructurales y las diferentes características estructurales. Entre éstas se tiene: sección de columnas, tipo de vigas existentes, espesor de losas de entrepiso, irregularidades presentes en el sistema estructural en planta y elevación, daños visuales producidos por diferentes eventos sísmicos. La forma de calificar cada uno de los parámetros mencionados es asignar un valor entre 1 y 5, teniendo como 1 al valor de menor vulnerabilidad, mientras que 5 será el de mayor vulnerabilidad. Es importante mencionar que no se ha considerado el valor cero, dado que eso implicaría una vivienda que se comporte de manera correcta y sin fallas, lo cual en el medio en el que se realiza la investigación no se presenta por ser viviendas construidas sin parámetros técnicos (Silva J. , 2017).

SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)						
	1	2	3	4	5	
1. Secciones en columnas existentes (cm ²)	Todas ≥ 900	Al menos 70% $600 \leq X < 900$	Al menos 70% $400 \leq X < 600$	Al menos 70% $200 \leq X < 400$	≤ 200	
2. Vigas existentes	Peralteadas		Banda			
3. Peralte de losas de entrepiso	25 cm	20 cm	15 cm	Otro valor inferior		
4. Irregularidades en Planta	Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso 2: Retrocesos excesivos en esquinas, Caso 3: Discontinuidades en el sistema de piso, Caso 4: Ejes estructurales no paralelos					
Caso 1	Sin Irregularidad	1 Irregularidad	2 Irregularidades	3 o más Irregularidades	Casos de Irregularidades Basados en los tipificados por la NEC 15	
Caso 2						
Caso 3						
Caso 4						
5. Irregularidades en Elevación	Caso 1: Piso Flexible, Caso 2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica					
Caso 1	Sin Irregularidad	1 Irregularidad	2 Irregularidades	más de 2 Irregularidades	Casos de Irregularidades Basados en los tipificados por la NEC 15	
Caso 2						
Caso 3						
6. Daños existentes por eventos sísmicos previos	Daño Leve: nivel mampostería, Moderado: nivel vigas, Severo: nivel Columnas					
	Sin daño visible	Daño leve	Daño Moderado	Daño Severo		

Figura 22 Segunda parte del formato de evaluación rápida.

Fuente: (Silva J. , 2017)

Finalmente, se detalla la tercera parte que consta de la estimación de costos. Como se puede apreciar en la Figura 23, la calificación indicará el tipo de refuerzo. Adicionalmente está el costo de los acabados de reposición, pudiendo elegir entre económicos, normal, de primera y de lujo. De tal manera que si se obtiene un valor que va en el rango de menores a 10 hace referencia a un enchapado de paredes más colocación de Cfrp en los lugares donde sea necesario, a los valores que van entre 10 a 14, se recomienda realizar un trabajo de encamisado en columnas, enchapado de paredes y colocación de Cfrp en los lugares donde sea necesario, para el rango de 15 a 19 se recomienda realizar un trabajo de encamisado en columnas, enchapado de paredes y colocación de Cfrp en vigas, columnas y de ser necesario en losas. Finalmente, el rango entre 20 a 25 donde se propone la construcción de un muro de hormigón de un espesor entre 5 a 7 cm con malla electrosoldada y realizar un

encamisado en las columnas (Silva J. , 2017). Con esto se obtiene los cuatro rangos en la estimación de costos de reposición que son económico, normal, de primera y de lujo. Es importante mencionar que estos costos son referenciales y se pueden modificar de acuerdo al criterio de cada evaluador.

ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN					
Área de Construcción (m ²)		Área promedio por planta (m ²)			
Acabados (precio por m ²)	Se considera el precio por m ² de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232	Lujo (410 USD/m ²)	Primera (365 USD/m ²)	Normal (230 USD/m ²)	Económico (150 USD/m ²)
Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)					USD

Figura 23, Tercera parte del formato de evaluación rápida.
Fuente: (Silva J. , 2017)

CAPÍTULO IV

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS

En este capítulo se procede a presentar los datos preliminares de las viviendas que serán inspeccionadas, de éstas se seleccionará dos para tomarlas como ejemplos, explicando con detalle cada parámetro asignado en su calificación referente a los formatos de evaluación visual rápida del FEMA P-154, de (Silva J. , 2017). Finalmente se presentará la forma de determinar los valores que corresponden al índice de vulnerabilidad determinado de manera experimental. Los valores obtenidos por estas tres formas de calificar, indicarán el grado de vulnerabilidad que posee cada estructura inspeccionada.

4.1 Datos preliminares

En la Tabla 15, se presenta los datos preliminares de las viviendas analizadas en el sector 1 del barrio Solanda.

Tabla 15
Datos preliminares de viviendas a analizar.

No.	No. pisos	Propietario	Coord X	Coord Y	Año de construcción	Altura Total(m)
1	3	Cesar Villacís	495211,3	9970182,17	1986	6,36
2	3	Ángel Valdivieso	495216,63	9970176,16	1987	6,54
3	2	Luz Angélica Jiménez	495205,92	9970169,18	1986	5
4	2	Nelson Guzmán	495196,21	9970159,79	1986	5
5	2	Gerardo Toapanta	495191,42	9970155,48	1986	5
6	1	Martha Puco Tipan	495198,2	9970178,44	1986	2,45
7	3	Diogenes Varela	495268,27	9970070	1986	7,29
8	3	Antonio Rojas	495225,87	9970023,03	1986	6,45
9	3	Fausto Silva	495232,05	9970028,56	1986	6,75
10	2	Augusto Tenesaca	495236,78	9970032,86	1986	5
11	2	Fernando Freire	495241,56	9970037,18	1986	5,16
12	2	Juana Vizquete	495246,31	9970041,5	1986	4,36

CONTINUA →

13	3	María Juana Cevallos	495240,21	9970082,75	1986	6,57
14	3	Matilda Sarabia	495255,36	9970084,38	1986	6,75
15	2	Jorge Lema	495263,31	9970108,62	1986	4,5
16	5	Alfonso Landeta	495228,39	9970042,38	1986	12
17	3	Héctor Álvarez	495253,21	9970047,69	1986	8,01
18	2	Luis Alberto Pérez	495182,07	9970108,66	1986	5,16
19	2	Enrique Altamirano	495186,17	9970103,81	1986	5,12
20	3	Luis Fernando Borja	495177,76	9970113,44	1986	7,35
21	2	Rosa Angélica Cóndor	495456,9	9970255,96	1986	4,6
22	3	Adriana Rosero	495430,35	9970257,85	1986	6,51
23	2	Mabel Romero	495469,45	9970257,83	1986	4,34
24	3	Eduardo Villamar	495388,17	9970185,3	1986	6,9
25	3	Paulina Delgado	495393,01	9970189,53	1986	7,74
26	3	Polidoro Andrade	495402,49	9970198,08	1986	6,3
27	3	Servio Guzmán Erazo	495409,49	9970204,3	1986	6,69
28	1	Rodrigo Armas	495397,67	9970193,73	1986	2,5
29	2	Zoila Piedad Granda	495372,54	9970171,6	1986	4,3
30	3	Martha Valarezo	495383,46	9970180,84	1986	7,86
31	3	Carlos Patiño	495396,63	9970175,98	1993	7,86
32	2	Maricela Flores	495401,36	9970180,2	1990	4,8
33	3	Beatriz Herrera	495423,68	9970208,96	1990	7,05
34	2	Jaime Ruiz	495379,43	9970243,19	1986	5,12
35	3	José Julio Caiza	495396,19	9970239,71	1986	7,2
36	3	Luis Zambrano	495417,82	9970194,95	1986	6,63
37	3	Luis Zambrano	495429,46	9970203,49	1986	6,63
38	2	Luis Roberto Espinoza	495378,66	9970176,72	1986	4,8
39	3	Rigoberto Proaño	495365,23	9970230,09	1986	6,9
40	2	Fran Armas Cajas	495359,79	9970225,11	1986	4,8
41	3	Oswaldo Cruz	495363,6	9970202,5	1986	8,04
42	2	Dictor Morejon	495410,88	9970223,14	1986	5
43	2	Segundo Gerardo Mariño	495415,34	9970218,53	1986	4,52
44	2	Segundo Mora	495402,16	9970232,67	1986	5,14
45	2	María Ordoñez	495359,38	9970207,3	1986	5,64
46	3	Marlene Campos Pereira	495358,92	9970275,62	1987	6,45
47	2	Segundo Toscano	495369,84	9970234,53	1987	5,06
48	3	Jorge Tipan	495141,76	9970076,3	1987	6,48
49	2	Vicente Tapia	495078,8	9970093,75	1986	5,06
50	3	Carmen Aguilar	495112,92	9970085,01	1990	7,26
51	2	Jaime Moreta	495093,99	9970067,98	1986	4,48
52	2	Jaime Moreta Casa 2	495088,26	9970062,63	1986	4,4

CONTINUA →

53	2	Zoila Saltos	495130,07	9970065,86	1989	5
54	2	Marcos Cañas	495125,41	9970061,62	1989	4,84
55	2	María Bastidas	495373,87	9970191,02	1986	4,32
56	3	Ángel Quishpe	495108,12	9970080,82	1986	7,59
57	3	Mario Herrera	495103,34	9970076,59	1986	7,5
58	3	Luis Uyana	495128,12	9970111,81	1986	7,56
59	2	Janeth Coronel	495386,95	9970167,14	1986	5,36
60	2	Laura Barrio Nuevo	495391,54	9970171,59	1986	5,06
61	3	Francisco Salgado	495406,47	9970227,87	1988	2,8
62	3	Yolanda López	495419,68	9970231,11	1995	7,29
63	2	María Apolo	495448,16	9970220,47	1986	4,26
64	2	Luis Gallardo	495419,43	9970213,74	1986	4,26
65	2	Antonio Espinosa	495244,94	9970056,92	1986	4,86
66	2	Rosa Gonzales	495149,8	9970067,29	1986	4,4
67	2	Patricio Arcatiles	495374,63	9970238,88	1986	4,96
68	3	Ángel Díaz	495367,92	9970197,72	1986	6,45
69	2	Raúl Segovia	495384,15	9970247,44	1986	4,3
70	3	Carlos Reinoso	495411,11	9970240,59	1986	7,62
71	3	Cecilia Navarro	495120,72	9970057,56	1986	6,6
72	3	María López	495115,95	9970072,07	1986	7,5
73	3	Luis Vergara	495115,91	9970053,09	1986	6,45
74	2	Marcelo Villalba	495105,89	9970064,15	1986	5
75	2	David Coba	495110,75	9970068,43	1986	5
76	4	Verónica Torres	495111,12	9970048,8	1986	8,68
77	3	Marcelo Ordoñez	495120,58	9970076,31	1986	7,8
78	3	Juan Mendiliva	495125,46	9970080,59	1986	7,5
79	3	Patricia Franco	495132,21	9970086,73	1986	6,42
80	3	Mónica Larcos	495194,54	9970079,43	1986	7,5
81	2	Pablo Alboran	495322,79	9970109,65	1986	6,04
82	2	María Galindo	495327,51	9970113,87	1986	6,04
83	3	Lidia Domínguez	495483,63	9970270,68	1986	7,6
84	3	Andrés Rodríguez	495445,18	9970348,55	1986	6,9
85	2	José Antonio Márquez	495291,96	9970216,02	1986	6,15
86	5	Izán Cortes Álvarez	495287,45	9970138,92	1986	12,5
87	3	Guillermo Carmona	495142,06	9970004,38	1986	7,64
88	2	Gabriela Herrera Soto	495253,28	9970211,07	1986	5,2
89	3	Marina Parra Pascual	495272,56	9970228,17	1986	7,45
90	5	José Manuel Casas	495210,6	9970018,36	1986	12,7
91	2	Jimena Reyes Campos	495298,85	9970088,22	1986	6,5
92	3	Adriana Santos Torres	495169,77	9970055,02	1986	7,2

CONTINUA →

93	2	José Manuel Casas	495272,89	9970198,91	1986	6,2
94	2	Celia Sola Cortes	495426,97	9970305,25	1986	6,4
95	3	Samuel Hernández	495487,44	9970256,93	1986	7,6

4.2 Mediante uso de Formato de evaluación rápida del FEMA P-154

4.2.1 Vivienda perteneciente al Sr. Servio Guzmán Erazo

Información de identificación del edificio

El primer apartado del formulario FEMA P-154 tiene el fin de recoger información general de la vivienda, además de parámetros de aceleración Ss y S1 que ayudan a describir las características del sitio, los datos recogidos se muestran en la Figura 24.

Dirección: Solanda SMZ. 3 Oe4e S22-29 S22A	
Otra identificación: Tienda esquinera	
Nombre del Edificio: Vivienda perteneciente al Sr. Servio Guzmán Erazo	
Uso: Residencial	
Latitud: 9970204,30	Longitud: 495409,49
Ss: 2.04	S1: 0.82
Inspector: (Omar y Jonathan)	Fecha: 27/09/2018

Figura 24. Información de identificación del edificio datos de nivel 1.

Características de la estructura

En la Figura 25 se muestra es espacio destinado para documentar las características más importantes de la vivienda, tales como el año de construcción y el área total de la construcción.

N. Pisos: Sobre el nivel del piso: 3	Bajo el nivel del piso: 0	Año Constr: 1986
Área de construcción total (m2): 236.16		Año Código: Pre código
Construcciones adicionales: <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si		Año de Construcción: NA

Figura 25. Características de construcción datos de nivel 1.

Fotografía del edificio

En la Figura 26 se muestra la fotografía de la fachada de la vivienda del Servio Guzmán Erazo.



Figura 26. Fachada de la vivienda del Sr Servio Guzmán Erazo.

Ocupación del edificio

En la Figura 27 se muestra La ocupación del edificio, esta se refiere al tipo de uso que tiene la edificación, este dato se usa para determinad la prioridad de posibles mitigaciones.

Ocupación:				
Asamblea	Comercial	Emergencia	Histórico	Refugio
Industrial	Oficina	Colegio	Gobierno	
Utilidad	Almacén	Residencial # Unidades: 3 Familias		

Figura 27. Ocupación del edificio.

Tipo de suelo

El tipo de suelo para el sector se asume como suelo tipo D, en base a la nueva clasificación de suelos planteada por (Aguiar, 2017) en la Figura 28 se muestra el tipo asumido.

Tipo de Suelo						
<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input checked="" type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> Desconocido
Roca Dura	Roca Blanda	Suelo Denso	Suelo Rígido	Suelo Blando	Suelo Pobre	Si es desconocido asuma tipo D

Figura 28. Tipo de suelo.

Riesgo Geológico

En la Figura 29 se muestra el espacio dispuesto para la identificar peligros geológicos, de existir alguna de los riesgos se recomienda realizar una evaluación de nivel 2.

Riesgo Geológico:	Licuefacción: S/NO/Descn	Deslizamientos: S/NO/Descn	Grietas: S/NO/Descn.
--------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------

Figura 29. Riesgo geológico.

Proximidad

El criterio para considerar el golpeteo de edificios depende del escenario de peligrosidad, en regiones de muy alta sismicidad la separación mínima es de 0.30 m, alta sismicidad 0.22, sismicidad moderadamente alta 0.15m, sismicidad moderada o baja 0.07m (FEMA, 2015). Para Quito se adopta el valor de 0,30m por ubicarse en una región de muy alta sismicidad.

En la Figura 30 se muestra la inexistencia de separación mínima entre viviendas.



Figura 30. Golpeteo presente en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

En la Figura 31 se muestra el criterio seleccionado.

Proximidad:	<input checked="" type="checkbox"/> Golpeteo	<input type="checkbox"/> Peligros de caída de un edificio adyacente
--------------------	--	---

Figura 31. Proximidad.

Irregularidad

Las irregularidades se agrupan en dos categorías: irregularidades verticales e irregularidades en planta. Para el procedimiento de RVS de Nivel 1, las irregularidades verticales se dividen en irregularidades verticales severas (aquellas que tienen un efecto adverso significativo en el rendimiento del edificio) e irregularidades verticales moderadas (aquellas que tienen un efecto adverso menos significativo en el rendimiento del edificio). En la Figura 32 se muestra el criterio seleccionado.

Irregularidad:	<input checked="" type="checkbox"/> Vertical	(Tipo/Gravedad): Piso blando; Severa
	<input type="checkbox"/> Planta	(Tipo): Torsión

Figura 32. Irregularidad

En puntos posteriores se explica con detalle las irregularidades.

Peligros de caída exterior

Los riesgos de caídas no estructurales, tales como chimeneas, parapetos, revestimientos pesados pueden presentar riesgos para la seguridad de la vida si no se anclan adecuadamente a la estructura, en la Figura 33 se destina un espacio para registrar esta patología. En la Figura 33 se muestra el criterio seleccionado.

Riesgo de caída	<input type="checkbox"/> Chimeneas sin abrazadera	<input type="checkbox"/> Revestimiento Pesado
Exterior:	<input checked="" type="checkbox"/> Parapetos	<input type="checkbox"/> Apéndices
	<input type="checkbox"/> Otros:	

Figura 33. Peligros de caída exterior.

En la Figura 34 se muestra la presencia de parapetos que representan un riesgo de caída.



Figura 34. Parapetos en la fachada de la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

Selección de la tipología estructural y puntaje básico según FEMA P154

En la Tabla 16 se muestran las tipologías y simbologías estructurales.

Tabla 16
Edificaciones tipo

Código	Característica
W1	Pórticos de madera ligera de una o varias viviendas familiares, una o más plantas de altura.
W1A	Pórticos de madera ligera, unidades residenciales, edificios residenciales de varios pisos con áreas planas en cada piso de más de 300 metros cuadrados
W2	Edificios comerciales e industriales con pórticos de madera con una superficie de más de 450 metros cuadrados.
S1	Edificios con pórticos de acero resistentes a momento.
S2	Edificios con pórticos de acero
S3	Edificios de metal ligero
S4	Edificios con pórticos de acero con muros de corte de hormigón.
S5	Edificios con pórticos de acero con paredes de relleno de mampostería no reforzada
C1	Edificios con pórticos de hormigón resistente a momento
C2	Edificios con muros de corte de hormigón.
C3	Edificios con estructura de hormigón con muros de relleno de mampostería no reforzada
PC1	Galpones prefabricados
PC2	Edificios prefabricados de hormigón.
RM1	Construcciones de mampostería reforzada con piso flexible y diafragmas de techo.
RM2	Construcciones de mampostería reforzada con piso rígido y diafragmas de techo.
URM	Edificios con mampostería no reforzada.
MH	Vivienda prefabricada

Fuente: (FEMA, 2015)

En base a la Tabla 16 se determina que es de tipo URM. En la Figura 35 se muestra el puntaje básico y la selección para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo que corresponde a un edificio con mampostería no reforzada (URM).

Tipo de construcción FEMA	W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
Puntaje Básico	2.1	1.9	1.8	1.5	1.4	1.6	1.4	1.2	1.0	1.2	0.9	1.1	1.0	1.1	1.1	0.9	1.1

Figura 35. Tipo de edificio FEMA y puntaje básico.

Fuente: (FEMA, 2015)

Modificadores de puntuación básica

La matriz de puntuación, que se muestra en la Figura 36, proporciona la puntuación básica y los modificadores de puntuación relacionados con las características de construcción o los atributos de rendimiento. Las características del edificio que afectan positivamente el rendimiento del edificio tienen modificadores de puntuación positivos y aumentan la puntuación. Las que afectan negativamente el rendimiento del edificio tienen modificadores de puntuación negativos y disminuyen la puntuación.

Tipo de construcción FEMA	W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
Puntaje Básico	2,1	1.9	1.8	1.5	1.4	1.6	1.4	1.2	1.0	1.2	0.9	1.1	1.0	1.1	1.1	0.9	1.1
Irregularidad Vertical Severa, VL1	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	NA
Irregularidad Vertical Moderada, VL1	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	NA
Irregularidad en planta, PL1	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	NA
Pre-Código	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	0.0
Posterior-Punto de referencia	1.9	1.9	2.0	1.0	1.1	1.1	1.5	NA	1.4	1.7	NA	1.5	1.7	1.6	1.6	NA	0.5
Suelo tipo A o B	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1
Suelo tipo E (1 - 3 Pisos)	0.0	-0.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	-0.1
Suelo tipo E (> 3 Pisos)	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	NA	-0.3	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	NA	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	NA
Puntaje Mínimo Smin	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	1.0

Figura 36. Matriz de puntuación del nivel 1.

Irregularidad Vertical

La estructura evaluada sufre dos irregularidades severas, existe discontinuidad vertical debido a que los elementos verticales del sistema son externos a los inferiores como se aprecia a la izquierda en la Figura 37.



Discontinuidad vertical.

Figura 37. Discontinuidad vertical en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

En la Figura 38 se puede observar la presencia de piso blando, debido a que el primer piso es más alto que el segundo.



Figura 38 Piso blando en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo

Irregularidad en planta

Para el edificio evaluado se identifica un problema de torsión ya que el sistema resistivo de la vivienda no responde a una configuración geométrica, debido a una

rigidez excéntrica en pisos superiores que causa irregularidad torsional como se muestra la Figura 39.



Figura 39 Irregularidad torsional en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo

Pre-Código

Este modificador de puntaje es aplicable si el edificio que se está examinando fue diseñado y construido antes de la adopción inicial y la aplicación de códigos de construcción con aplicación sísmica. Para este modificador hay que considerar la aplicación de los códigos de construcción adoptados en Ecuador (NEC 2001), si la edificación fue construida antes de la implementación de esta normativa abra que marcar la casilla del modificador, caso contrario se deja en blanco.

Para el edificio analizado cumple con este modificador ya que el diseño y construcción fueron realizados en el año 1986.

Posterior punto de referencia

Este modificador de puntaje es aplicable si el edificio que se está evaluando se diseñó y construyó después de que la jurisdicción local adoptó y aplicó los códigos sísmicos mejorados.

Tipo de suelo

Los modificadores de puntuación se proporcionan para el tipo de suelo A o B y para el tipo de suelo E.

Los puntajes básicos de cada tipo de estructura fueron calculados asumiendo el tipo de suelo C y D (el promedio del tipo de suelo C y el tipo de suelo D). Por lo tanto, ningún modificador de puntuación se aplica cuando ocurre uno de estos tipos de suelo. No hay un modificador de puntaje para el tipo de suelo F porque los edificios en el tipo de suelo F no se pueden analizar de manera efectiva con el procedimiento RVS.

Si el edificio se encuentra en una zona de Tipo F, el evaluador debe tener en cuenta que “Peligros geológicos o Tipo de suelo F” están presentes en la sección “otros peligros” del formulario, lo que determina que se debe llevar a cabo una evaluación estructural detallada del edificio.

Para la zona de estudio se identificó suelo de Tipo D, por lo que no se selecciona ningún modificador.

Puntaje Mínimo S_{MIN}

La suma de los Modificadores de puntuación múltiples puede sobreestimar el efecto combinado de múltiples condiciones y puede dar como resultado una puntuación final inferior a cero. Una puntuación negativa implica una probabilidad de colapso superior al 100%, lo cual no es posible.

Para abordar esto, se proporciona una puntuación mínima, S_{MIN} . El puntaje mínimo se desarrolló considerando la peor combinación posible de irregularidades del tipo de suelo, vertical, planta, y edad de construcción, todo al mismo tiempo.

Determinación del puntaje final de nivel 1

El puntaje final de nivel 1, SL_1 , se determina al agregar los modificadores de puntajes circulos o marcados para ese edificio al puntaje básico. El evaluador debe verificar la suma de la puntuación básica y los modificadores de la puntuación con la puntuación mínima, S_{MIN} , y usar S_{MIN} de darse el caso de un puntaje negativo o menor.

En la Figura 40 se muestra la matriz de puntajes final para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

Tipo de construcción FEMA	W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
Puntaje Básico	2,1	1,9	1,8	1,5	1,4	1,6	1,4	1,2	1,8	1,2	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1
Irregularidad Vertical Severa, VLI	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	NA
Irregularidad Vertical Moderada, VLI	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Irregularidad en planta, PLL	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Pre-Código:	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0
Posterior-Punto de referencia:	1,9	1,9	2,0	1,0	1,1	1,1	1,5	NA	1,4	1,7	NA	1,5	1,7	1,6	1,6	NA	0,5
Suelo tipo A o B:	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
Suelo tipo E (1 - 3 Pisos)	0,0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	-0,1
Suelo tipo E (> 3 Pisos)	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	NA	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	NA	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	NA
Puntaje Mínimo S_{MIN}	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1,0

Figura 40. Matriz de puntuación del nivel 1 para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

La suma de los modificadores da como resultado 0.0 debido a que la sumatoria del puntaje básico y los modificadores dan como resultado una puntuación final menor al puntaje mínimo, se considera el S_{MIN} como Puntaje final de nivel 1.

Registro del alcance de la revisión

En la Figura 41 se muestra el alcance de la evaluación estructural para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

Alcance de la revisión	
Exterior:	<input type="checkbox"/> Parcial <input checked="" type="checkbox"/> Todos lados <input type="checkbox"/> Aéreo
Interior:	<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Visible <input checked="" type="checkbox"/> Ingresó
Revisión de planos:	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> No
Tipo de fuente de suelo:	ninguno
Fuente de peligros geológicos:	ninguno
Persona de contacto:	ninguno

Figura 41. Alcance de la revisión para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo

Registro de otros peligros

Riesgos que no son considerados en la puntuación de nivel 1 como se muestran en la Figura 42 pueden afectar el rendimiento de la edificación.

OTROS RIESGOS
¿Hay riesgos que desencadenan una evaluación estructural detallada?
<input checked="" type="checkbox"/> Potencial Golpeteo
<input type="checkbox"/> Peligro de caída desde un edificio adyacente más alto
<input type="checkbox"/> Peligro Geológico o Suelo tipo F
<input checked="" type="checkbox"/> Daño/deterioro significativo al sistema estructural

Figura 42. Otros riesgos encontrados en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

En la evaluación se determinaron riesgos adicionales tales como grietas y fisuras en mampostería que afectan el rendimiento ante un evento sísmico en el Anexo 9.2 registro 8 se muestran el detalle de esta patología.

Determinación de la acción requerida

El último paso para completar el Formulario de Recolección de Datos de Nivel 1 es indicar la acción requerida. Sobre la base de la información recopilada durante la selección, el evaluador indica si se requiere una evaluación detallada del edificio como se muestra en la Figura 43.

ACCIÓN REQUERIDA	
¿Requiere una evaluación estructural detallada?	
<input type="checkbox"/>	Sí, tipo de edificio desconocido de FEMA u otro edificio
<input checked="" type="checkbox"/>	Sí, puntúa menos que el límite
<input type="checkbox"/>	Sí, otros peligros presentes
<input type="checkbox"/>	No
Se recomienda una evaluación no estructural detallada? (Seleccione una)	
<input checked="" type="checkbox"/>	Sí, se identificaron riesgos no estructurales que deberían evaluarse
<input type="checkbox"/>	No, existen peligros no estructurales que pueden requerir mitigación, pero no es necesaria una evaluación detallada
<input type="checkbox"/>	No, no se identificaron peligros no estructurales
<input type="checkbox"/>	Desconocido

Figura 43. Acción requerida evaluación de Nivel 1.

Una vez terminada la evaluación de nivel 1 en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo se determina que es necesario realizar una evaluación estructural detallada, que permita ajustar el puntaje de evaluación especificando el tipo de patologías estructurales registradas en la vivienda y debido a que en la inspección se encontraron daños en mampostería, ya que la puntuación final resulto el valor mínimo, por lo que se procede a evaluar la vivienda con el Formato de Nivel 2.

Evaluación con Formato de Evaluación Rápida de Vulnerabilidad de Nivel 2

El Formato de Nivel 2 empieza con los datos preliminares de la Evaluación de Nivel 1 tales como: la puntuación final, los modificadores de irregularidades y datos de identificación como se muestra en la Figura 44.

Nombre del edificio: Sr. Servio Guzmán	Puntaje Final Nivel 1: (no considerar puntaje mínimo)= SL1=0.0
Evaluador: Jonathan y Omar	Modificadores de Irregularidad del nivel 1: Irreg Vert (VL1), VL1=-0.6
Fecha: 27/09/2018	Irreg plant(PL1)= PL1=-0.3
	Puntaje de corrección: $S'=(SL1-VL1-PL1)=$ S'=0.9

Figura 44. Datos preliminares para evaluación de nivel 2.

Modificadores estructurales para agregar al puntaje básico de nivel 2

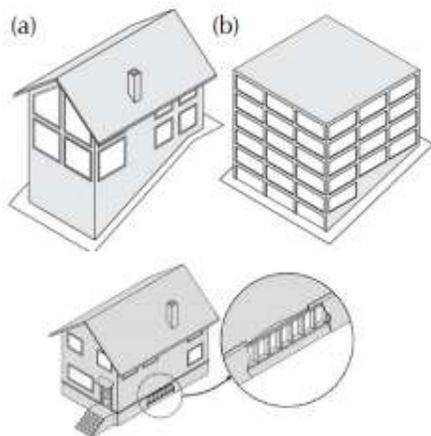
Irregularidad Vertical de nivel 2

Para el Nivel 2 se debe identificar el tipo de irregularidad asociada a la estructura para lo cual hay que referirse a la guía de referencias de irregularidades que muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

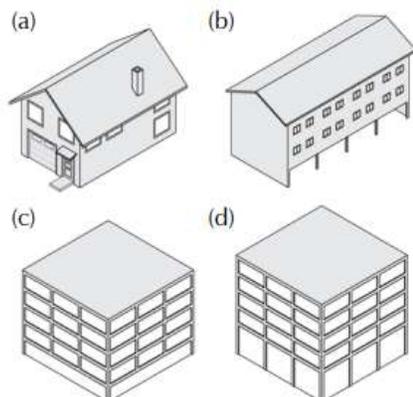
Guía de referencia de irregularidades verticales

Irregularidad vertical	Gravedad	Instrucciones de nivel 2
Desnivel	Varía	Aplique si hay más de un piso de diferencia en una pendiente. Evalúe como Grave para edificios W1 como se muestra en la Figura (a); evalúe como Moderado para todos los demás tipos de edificios como se muestra en la Figura (b).
Viviendas con cimentación tipo Cripple Wall	Moderado	Aplique si la cimentación de la estructura de tipo W1 carece de arrostramiento, si el subsuelo está ocupado se considera como piso blando.



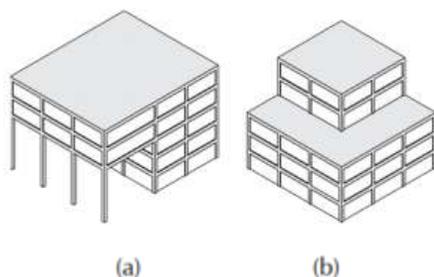
CONTINUA →

Piso débil o blando



Severo Figura (a): para una casa W1 con espacio ocupado sobre un garaje. Figura (b): para un edificio W1A con un frente abierto en la planta baja. Figura (c): cuando una de los pisos tiene menos paredes o menos columnas que los otros. Figura (d): cuando una de los pisos es más alto que los otros (generalmente el primero).

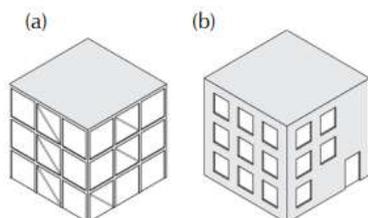
Discontinuidad vertical



Severo Aplique si las paredes del edificio no se alinean verticalmente en planta. Esta irregularidad es más grave cuando los elementos verticales del sistema lateral en los niveles superiores son externos a los de los niveles inferiores, como se muestra en la Figura (a). La condición en la Figura (b) también desencadena esta irregularidad.

Se aplica si la discontinuidad es mayor o igual a 0.60m.

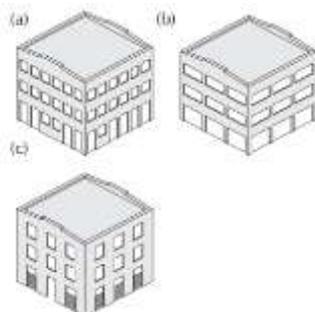
Discontinuidad lateral



Moderado Aplicar si hay discontinuidades en el plano del sistema lateral. Por lo general, esto se puede observar en el marco reforzado (Figura (a)) y en los edificios de muro cortante (Figura (b)).

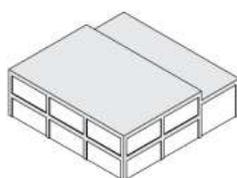
CONTINUA →

Columna corta



Severo Figura (a): Algunas columnas / muelles son mucho más cortas que las columnas / muelles típicos en la misma línea. Figura (b): Las columnas / pilares son estrechos en comparación con la profundidad de las vigas. Figura (c): hay paredes de relleno que acortan la altura libre de la columna.

Niveles divididos



Moderado

Aplice si los pisos del edificio no se alinean o si hay un escalón en el nivel del techo.

Fuente: (FEMA, 2015)

La vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo presenta discontinuidad vertical debido a que los elementos verticales del sistema son externos a los inferiores como se aprecia a la izquierda en la Figura 45.



Figura 45. Discontinuidad vertical en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

En la Figura 46 se puede observar la presencia de piso blando, debido a que el primer piso es más alto que el segundo.



Figura 46 Piso blando en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo

En la Figura 47 se muestran los criterios seleccionados para irregularidad vertical de nivel 2.

Tipo		Descripción	Si
Irregularidad Vertical, (VI2)	Desnivel	Edificio W1: Existe al menos un piso completo de desnivel de un lado del edificio a otro	-0,9
		Otros aparte de W1: Existe al menos un piso completo de desnivel de un lado del edificio a otro	-0,2
	Piso débil o blando	Edificio W1 con muros de sótano: Deformación en muros de sótano son visibles	-0,5
		Edificio W1 sobre garaje: Debajo de un piso ocupado existe un garaje abierto sin estructura de acero resistente a momento y hay menos de 20cm de muro en la misma línea (para múltiples pisos, mínimo 40cm)	-0,9
		Edificio W1A frente abierto: Existen entradas a nivel de piso para parqueadero sobre el 50% de la longitud del edificio.	-0,9
		Otros aparte de W1: La longitud del sistema lateral de cualquier piso es menor que el 50% de los pisos superiores, o la altura de cualquier piso es más de 2 veces la altura de los pisos superiores.	-0,7
		Otros aparte de W1: La longitud del sistema lateral de cualquier piso está entre 50%-75% de los pisos superiores, o la altura de cualquier piso está entre 1.3 y 2 veces la altura de los demás pisos(por lo general el primero)	-0,4
	Retiros	Los elementos verticales del sistema lateral en una planta superior están fuera de los que se encuentran en piso inferior, causando que el diafragma quede en cantiléver.	-0,7
		Los elementos verticales del sistema lateral en los pisos superiores están en el interior de los que están en los pisos más bajos	-0,4
		Elementos en cantiléver de mayor dimensión que el resto de elementos	-0,2
	Columna corta	C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: Al menos el 20% de las columnas (o pilares) a lo largo de una línea de columnas en el sistema lateral tienen relaciones de altura / profundidad inferiores al 50% de la relación altura / profundidad nominal en ese nivel	-0,4

		C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: la profundidad de la columna es inferior a la mitad de la profundidad del espacio entre la parte superior de la ventana en un piso y el alféizar de la ventana en el piso anterior, o hay paredes de relleno o pisos adyacentes que acortan la columna	-0,4
	Dos Niveles	Existe una división de niveles en un piso o en el techo.	-0,4
	Otra irregularidad	Hay otra irregularidad vertical severa observable que obviamente afecta el rendimiento sísmico del edificio	-0,7
		Hay otra irregularidad vertical moderada observable que puede afectar el rendimiento sísmico del edificio	-0,4

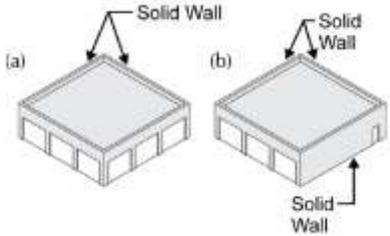
Figura 47. Irregularidad vertical Nivel 2 para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

Irregularidad en planta Nivel 2

Si se identificó alguna irregularidad en planta en el nivel 1, en esta sección se detalla el tipo con base en la guía de referencia de la Tabla 18.

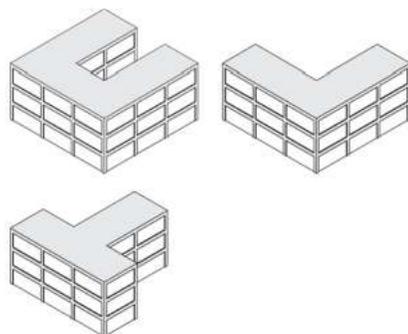
Tabla 18

Guía de referencia de irregularidades en planta

	Irregularidad en planta	Instrucciones de nivel 2
Torsión		Aplique si hay una buena resistencia lateral en una dirección, pero no en la otra, o si hay una rigidez excéntrica en el plano (como se muestra en las Figuras (a) y (b); paredes sólidas en dos o tres lados con paredes con muchas aberturas en los lados restantes).
Sistemas n paralelos		Aplicar si los lados del edificio no forman ángulos de 90 grados.

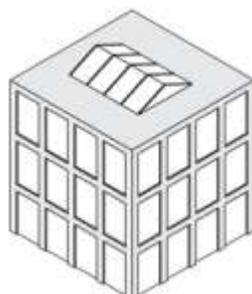
CONTINUA →

Esquinas
reentrantes



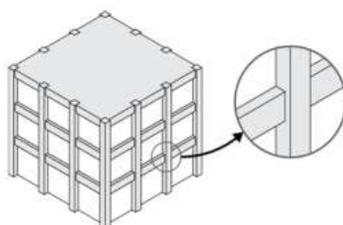
Aplique si hay una esquina de reentrada, es decir, el edificio tiene forma de L, U, T o +, con proyecciones de más de 6m. Donde sea posible, verifique si hay separaciones sísmicas donde se encuentran las alas. Si es así, evaluar el golpeteo.

Apertura
en
diafragmas



Aplique si hay una apertura que tenga un ancho de más del 50% del ancho del diafragma en cualquier nivel.

Vigas no
alineadas
con las
columnas



Aplique si las vigas exteriores no se alinean con las columnas en planta. Típicamente, esto se aplica a edificios de concreto, donde las columnas perimetrales están fuera de las vigas perimetrales.

Fuente: (FEMA, 2015)

La vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo presenta torsión ya que el sistema resistivo de la vivienda no responde a una configuración geométrica, debido a una rigidez excéntrica en pisos superiores que causa irregularidad torsional como se muestra la Figura 48.



Figura 48 Irregularidad torsional en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo

La Figura 49 muestra los modificadores seleccionados para la sección de irregularidad en planta de nivel 2.

Irregularidad en planta, (PI2)	Irregularidad torsional: el sistema lateral no parece estar bien distribuido en el plano en una o ambas direcciones.	-0,5
	Sistemas no paralelos: hay uno o más elementos verticales principales del sistema lateral que no son ortogonales entre sí.	-0,2
	Esquina reentrante: ambas proyecciones de una esquina interior superan el 25% de la dimensión general exterior.	-0,2
	Abertura del diafragma: hay una abertura en el diafragma con un ancho superior al 50% del ancho total del diafragma en ese nivel	-0,2
	C1, C2 construcción en cantiléver fuera del plano: las vigas exteriores no se alinean con las columnas en el plano	-0,2
	Otra irregularidad: hay otra irregularidad en el plano observable que obviamente afecta el rendimiento sísmico del edificio.	-0,5

Figura 49. Irregularidad en planta Nivel 2 .

Redundancia

Si el edificio tiene al menos dos distribuciones (vanos) de elementos de resistencia sísmica en cada lado del edificio en cada dirección, en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo existe un nivel suficiente de redundancia como se muestra en la Figura 50, por lo tanto se aplica este modificador.



Figura 50. Ejes de resistencia en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo

La edificación cuenta con 3 pórticos en cada sentido por lo que el modificador es aplicable como se muestra en la figura 51.

Redundancia (M)	El edificio tiene al menos dos divisiones de elementos laterales en cada lado y cada dirección del edificio.	+0,2
-----------------	--	-------------

Figura 51. Redundancia .

Golpeteo

En regiones de sismicidad muy alta, si el edificio en evaluación está separado de una estructura adyacente en menos del 1.50% de la altura del más corto de los dos edificios, el golpeteo puede ser un problema. Se diferencian tres casos de potencial golpeteo.

Los pisos no se alinean verticalmente por 60 cm como se muestra en la Figura 52.

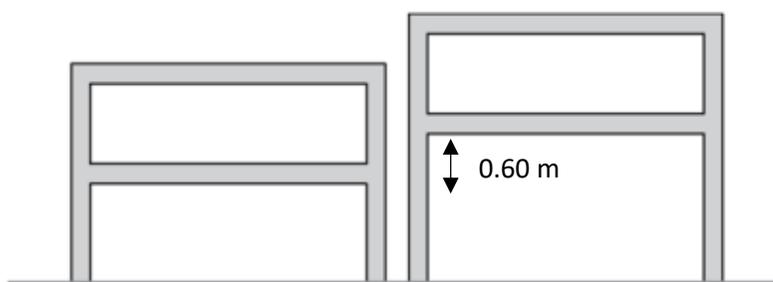


Figura 52. Pisos no alineados verticalmente.

Fuente: (FEMA, 2015)

Un edificio es 2 o más pisos más alto que el otro como se muestra en la Figura 53.



Figura 53 Edificio adyacente más alto
Fuente: (FEMA, 2015)

El edificio está al final de un bloque de edificios como se muestra en la Figura 54.

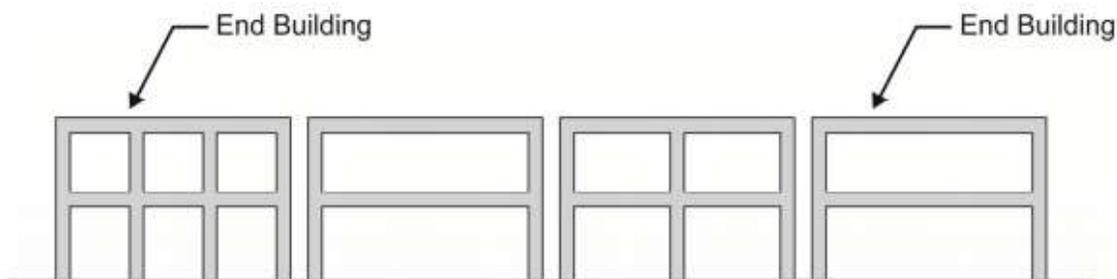


Figura 54 Edificio al final de un bloque.
Fuente: (FEMA, 2015)

La vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo se encuentra al final de un bloque de viviendas por lo que se selecciona el tercer modificador como se muestra en la Figura 55.

Golpeteo	El edificio está separado de una estructura adyacente por menos del 1.5% de la altura del edificio más corto	Los pisos no se alinean verticalmente por 60 cm	-0.7
		Un edificio es 2 o más pisos más alto que el otro	-0.7
		El edificio está al final de un bloque de edificios	-0,4

Figura 55 Golpeteo Nivel 2.

Puntuación final de nivel 2

La puntuación final de nivel 2, SL2, se calcula sumando la puntuación de corrección S', y los modificadores de puntuación de nivel 2, VL2, PL2 y M, tomando en consideración el puntaje mínimo de nivel 1. El puntaje final representa con mayor precisión el rendimiento esperado del edificio, el puntaje del nivel 2 se muestra en la Figura 56.

$\text{Puntuación final nivel 2 SL2} = (S' + VL2 + PL2 + M) \geq S_{\text{min}}: 0.9 - 0.4 - 0.7 - 0.5 + 0.2 - 0.4 = -0.9$
--

Figura 56 Puntuación final de nivel 2 para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo

La puntuación final de nivel 2 refleja las condiciones de la estructura y reitera lo encontrado en el nivel 1 con más detalle, debido a que el puntaje es negativo se toma como resultado final el mínimo correspondiente a 0.2 asociado a una Alta vulnerabilidad como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19

Puntaje final asociado a vulnerabilidad sísmica

Puntaje Final	Característica
<2	Alta Vulnerabilidad
entre 2 y 2,5	Media Vulnerabilidad
>2.5	Baja Vulnerabilidad

Fuente: (FEMA, 2015)

Otras condiciones

Si el evaluador de nivel 2 observa una condición que indica que el edificio es potencialmente sísmicamente peligroso, incluso si esa condición no se trata aquí, el evaluador debe describir esta condición en el cuadro de comentarios e indicar en el formulario del nivel 1 que se requiere una evaluación estructural detallada.

Peligros no estructurales observables

La parte inferior de la forma del Nivel 2 se enfoca en los peligros no estructurales. Los modificadores no estructurales no afectan fuertemente la probabilidad de colapso, por lo tanto, estos modificadores no afectan el puntaje final del edificio, en la Figura 57 se muestran los peligros no estructurales encontrados.

Peligros no estructurales observables			
Lugar	Descripción	Si	No
Exterior	Hay un parapeto de mampostería no reforzado sin armadura, o una chimenea de mampostería no reforzada sin armadura	X	
	Hay un revestimiento pesado o chapado gruesa		X
	Hay un toldo pesado sobre las puertas de salida o las aceras peatonales que parece estar inadecuadamente colocado		X
	Hay un accesorio de albañilería no reforzado sobre las puertas de salida o los pasillos peatonales.		X
	Hay un cartel publicado en el edificio que indica que hay materiales peligrosos presentes		X
	Hay un edificio adyacente más alto con una pared URM sin anclaje o un parapeto o chimenea URM sin abrazadera		X
	Otro peligro de caída no estructural exterior observado		X
Interior	Hay tabiques de arcilla hueca o ladrillo en cualquier corredor de escalera o salida		X
	Otro peligro de caída no estructural interior observado		X

Figura 57. Peligros no estructurales para la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo
Fuente: (FEMA, 2015)

En la Figura 58 se estima una acción considerada con respecto a los peligros no estructurales, en base al criterio del evaluador.

Estimar el rendimiento sísmico no estructural	
<input type="checkbox"/>	Posibles riesgos no estructurales con una amenaza significativa para la seguridad de vida de los ocupantes Se recomienda una evaluación no estructural detallada
<input checked="" type="checkbox"/>	Riesgo no estructural identificado con una amenaza significativa para la seguridad de vida de los ocupantes, pero no se requiere una evaluación no estructural detallada
<input type="checkbox"/>	Amenaza de riesgo no estructural bajo o nulo para la seguridad de vida de los ocupantes No se requiere una evaluación no estructural detallada

Figura 58 Acción requerida para riesgos no estructurales.

4.2.2 Vivienda perteneciente al Sra. Marlene Campos Pereira

Información de identificación del edificio

Dirección: Pedro Benavente S22-03 y Bonifacio Aguilar	
Otra Identificación: Ninguna	
Nombre del Edificio: Vivienda perteneciente a la Sra. Marlene Campos Pereira.	
Uso: Residencial	
Latitud: 9970275.62	Longitud: 495358.92
Ss: 2.04	S1: 0.82
Inspector: (Omar y Jonathan)	Fecha: 27/09/2018

Figura 59. Información de identificación del edificio datos de nivel 1.

Características de la estructura

N. Pisos: Sobre el nivel del piso: 3	Bajo el nivel del piso: 0	Año Constr: 1986
Área de construcción total (m2): 226.8		Año Código: Pre código
Construcciones adicionales: <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si		Año de Construcción: NA

Figura 60. Características de construcción datos de nivel 1.

Fotografía del edificio

En la Figura 61 se muestra la fotografía de la fachada de la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.



Figura 61. Fachada de la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.

Ocupación del edificio

Ocupación:				
Asamblea	Comercial	Emergencia	Histórico	Refugio
Industrial	Oficina	Colegio	Gobierno	
Utilidad	Almacén	Residencial # Unidades: 2 Familias		

Figura 62. Ocupación del edificio.

Tipo de suelo

El tipo de suelo para el sector se asume como suelo tipo D, en base a la nueva clasificación de suelos planteada por (Aguiar, 2017) en la Figura 63 se muestra el tipo asumido.

Tipo de Suelo						
<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input checked="" type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> Desconocido
Roca Dura	Roca Blanda	Suelo Denso	Suelo Rígido	Suelo Blando	Suelo Pobre	Si es desconocido asuma tipo D

Figura 63. Tipo de suelo.

Riesgo Geológico

Riesgo Geológico:		
Licuefacción: SI/NO/Descn	Deslizamientos: SI/NO/Descn	Grietas: SI/NO/Descn.

Figura 64. Riesgo geológico.

Proximidad

Proximidad:	<input checked="" type="checkbox"/> Golpeteo	<input type="checkbox"/> Peligros de caída de un edificio adyacente
--------------------	--	---

Figura 65. Proximidad.

En la Figura 66 se muestra la inexistencia de separación mínima entre viviendas.



Figura 66. Golpeteo presente en la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.

Irregularidad

Irregularidad:	<input type="checkbox"/> Vertical (Tipo/Gravedad): Piso blando; Severa
	<input type="checkbox"/> Planta (Tipo): Torsión

Figura 67. Irregularidad

En puntos posteriores se explica con detalle las irregularidades.

Peligros de caída exterior

Riesgo de caída Exterior:	<input type="checkbox"/> Chimeneas sin abrazadera	<input type="checkbox"/> Revestimiento Pesado
	<input type="checkbox"/> Parapetos	<input type="checkbox"/> Apéndices
	<input type="checkbox"/> Otros:	

Figura 68. Peligros de caída exterior.

En la Figura 69 se muestra la presencia de parapetos que representan un riesgo de caída.



Figura 69. Parapetos en la fachada de la vivienda de la Sra. Marlene Campos.

Selección de la tipología estructural y puntaje básico según FEMA P154

Se determina que es de tipo URM. En la Figura 70 se muestra el puntaje básico y la selección para la vivienda del Sra. Marlene Campos Pereira que corresponde a un edificio con mampostería no reforzada (URM).

Tipo de construcción FEMA	W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
Puntaje Básico	2.1	1.9	1.8	1.5	1.4	1.6	1.4	1.2	1.0	1.2	0.9	1.1	1.0	1.1	1.1	0.9	1.1

Figura 70. Tipo de edificio FEMA y puntaje básico.
Fuente: (FEMA, 2015)

Modificadores de puntuación básica

La matriz de puntuación, que se muestra en la Figura 71, proporciona la puntuación básica y los modificadores de puntuación relacionados con las características de construcción o los atributos de rendimiento.

Tipo de construcción FEMA	W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
Puntaje Básico	2,1	1,9	1,8	1,5	1,4	1,6	1,4	1,2	1,0	1,2	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1
Irregularidad Vertical Severa, VL1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	NA
Irregularidad Vertical Moderada, VL1	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Irregularidad en planta, PL1	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Pre-Código	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0
Posterior-Punto de referencia	1,9	1,9	2,0	1,0	1,1	1,1	1,5	NA	1,4	1,7	NA	1,5	1,7	1,6	1,6	NA	0,5
Suelo tipo A o B	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
Suelo tipo E (1 - 3 Pisos)	0,0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	-0,1
Suelo tipo E (> 3 Pisos)	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	NA	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	NA	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	NA
Puntaje Mínimo Smin	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1,0

Figura 71. Matriz de puntuación del nivel 1.

Irregularidad Vertical

La estructura evaluada sufre una irregularidad moderada, existen niveles divididos ya que existe un escalón a nivel del techo como se aprecia a la izquierda en la Figura 72, la mitad de la vivienda tiene la segunda planta con cubierta de zinc, la otra con losa de hormigón y una diferencia de 1.00m.

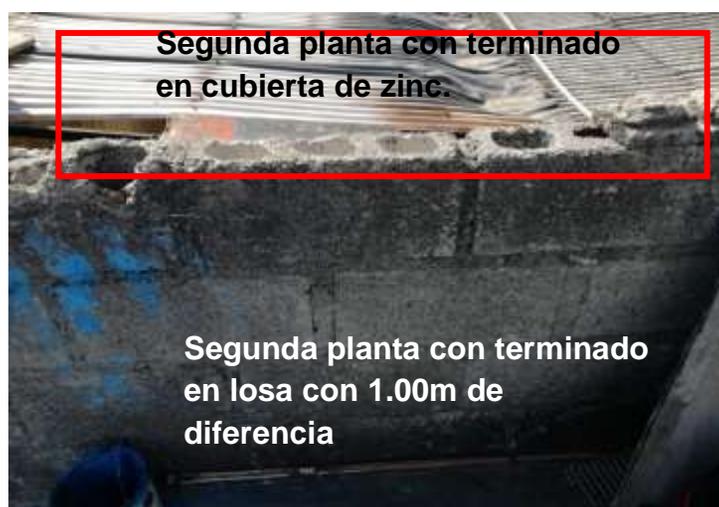


Figura 72. Niveles divididos en nivel de techo en la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.

En la Figura 73 se muestra un esquema de esta patología.



Figura 73. Esquema de niveles divididos en nivel de techo en la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.

Irregularidad en planta

Para el edificio evaluado se identifica un problema de torsión ya que el sistema resistivo de la vivienda no responde a una configuración simétrica, como se muestra la Figura 74.



Figura 74 Irregularidad torsional en la vivienda de la Sra. Marlene Campos.

Pre-Código.

Para el edificio analizado cumple con este modificador ya que el diseño y construcción fueron realizados en el año 1986.

Tipo de suelo

Para la zona de estudio se identificó suelo de Tipo D, por lo que no se selecciona ningún modificador.

Determinación del puntaje final de nivel 1

En la Figura 75 se muestra la matriz de puntajes final para en la vivienda de la Sra. Marlene Campos.

Tipo de construcción FEMA	W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
Puntaje Básico	2,1	1,9	1,8	1,5	1,4	1,6	1,4	1,2	1,0	1,2	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1
Irregularidad Vertical Severa, VLI	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	NA
Irregularidad Vertical Moderada, VLI	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Irregularidad en planta, PLI	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Pre-Código	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0
Posterior-Punto de referencia	1,9	1,9	2,0	1,0	1,1	1,1	1,5	NA	1,4	1,7	NA	1,5	1,7	1,6	1,6	NA	0,5
Suelo tipo A o B	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
Suelo tipo E (1 - 3 Pisos)	0,0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	-0,1
Suelo tipo E (> 3 Pisos)	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	NA	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	NA	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	NA
Puntaje Mínimo S_{MIN}	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1,0

Figura 75. Matriz de puntuación del nivel 1 para la vivienda de la Sra. Marlene Campos.

La suma de los modificadores da como resultado 0.3, a continuación, se realizará la evaluación de nivel 2.

Registro del alcance de la revisión

En la Figura 76 se muestra el alcance de la evaluación estructural para la vivienda de la Sra. Marlene Campos.

Alcance de la revisión	
Exterior:	<input type="checkbox"/> Parcial <input checked="" type="checkbox"/> Todos lados <input type="checkbox"/> Aéreo
Interior:	<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Visible <input checked="" type="checkbox"/> Ingresó
Revisión de planos:	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> No
Tipo de fuente de suelo:	ninguno
Fuente de peligros geológicos:	ninguno
Persona de contacto:	ninguno

Figura 76. Alcance de la revisión para la vivienda de la Sra. Marlene Campos.

Registro de otros peligros

Riesgos que no son considerados en la puntuación de nivel 1 como se muestran en la Figura 77 pueden afectar el rendimiento de la edificación.

OTROS RIESGOS
¿Hay riesgos que desencadenan una evaluación estructural detallada?
<input checked="" type="checkbox"/> Potencial Golpeteo
<input type="checkbox"/> Peligro de caída desde un edificio adyacente más alto
<input type="checkbox"/> Peligro Geológico o Suelo tipo F
<input checked="" type="checkbox"/> Daño/deterioro significativo al sistema estructural

Figura 77. Otros riesgos encontrados en la vivienda de la Sra. Marlene Campos.

En la evaluación se determinaron riesgos adicionales tales como grietas y fisuras en mampostería que afectan el rendimiento ante un evento sísmico.

Determinación de la acción requerida

ACCIÓN REQUERIDA
¿Requiere una evaluación estructural detallada?
<input type="checkbox"/> Sí, tipo de edificio desconocido de FEMA u otro edificio
<input type="checkbox"/> Sí, puntúa menos que el límite
<input checked="" type="checkbox"/> Sí, otros peligros presentes
<input type="checkbox"/> No
Se recomienda una evaluación no estructural detallada? (Seleccione una)
<input checked="" type="checkbox"/> Sí, se identificaron riesgos no estructurales que deberían evaluarse
<input type="checkbox"/> No, existen peligros no estructurales que pueden requerir mitigación, pero no es necesaria una evaluación detallada
<input type="checkbox"/> No, no se identificaron peligros no estructurales <input type="checkbox"/> Desconocido

Figura 78. Acción requerida evaluación de Nivel 1.

Una vez terminada la evaluación de nivel 1 en la vivienda de la Sra. Marlene Campos se determina que es necesario realizar una evaluación estructural detallada, que permita ajustar el puntaje de evaluación especificando el tipo de patologías estructurales registradas en la vivienda y debido a que en la inspección se encontraron daños en mampostería, por lo que se procede a evaluar la vivienda con el Formato de Nivel 2.

Evaluación con Formato de Evaluación Rápida de Vulnerabilidad de Nivel 2

Nombre del edificio: Marlene Campos	Puntaje Final Nivel 1: (no considerar puntaje mínimo)=	SL1=0.3
Evaluador: Jonathan y Omar	Modificadores de Irregularidad del nivel 1: Irreg Vert (VL1),	VL1=-0.3
Fecha: 28/09/2018	Irreg plant(PL1)=	PL1=-0.3
	Puntaje de corrección: $S'=(SL1-VL1-PL1)=$	S'=0.9

Figura 79. Datos preliminares para evaluación de nivel 2 .

Modificadores estructurales para agregar al puntaje básico de nivel 2

Irregularidad Vertical de nivel 2

En la Figura 80 se muestran los criterios seleccionados para irregularidad vertical de nivel 2, el detalle de estas irregularidades se indicó en las Figuras 72 y 73 del nivel 1.

Tipo		Descripción	Si
Irregularidad Vertical, (VI2)	Desnivel	Edificio W1: Existe al menos un piso completo de desnivel de un lado del edificio a otro	-0.9
		Otros aparte de W1: Existe al menos un piso completo de desnivel de un lado del edificio a otro	-0,2
	Piso débil o blando	Edificio W1 con muros de sótano: Deformación en muros de sótano son visibles	-0,5
		Edificio W1 sobre garaje: Debajo de un piso ocupado existe un garaje abierto sin estructura de acero resistente a momento y hay menos de 20cm de muro en la misma línea (para múltiples pisos, mínimo 40cm)	-0.9
		Edificio W1A frente abierto: Existen entradas a nivel de piso para parqueadero sobre el 50% de la longitud del edificio.	-0.9
		Otros aparte de W1: La longitud del sistema lateral de cualquier piso es menor que el 50% de los pisos superiores, o la altura de cualquier piso es más de 2 veces la altura de los pisos superiores.	-0,7

	Otros aparte de W1: La longitud del sistema lateral de cualquier piso está entre 50%-75% de los pisos superiores, o la altura de cualquier piso está entre 1.3 y 2 veces la altura de los demás pisos(por lo general el primero)	-0,4
Retiros	Los elementos verticales del sistema lateral en una planta superior están fuera de los que se encuentran en piso inferior, causando que el diafragma quede en cantiléver.	-0,7
	Los elementos verticales del sistema lateral en los pisos superiores están en el interior de los que están en los pisos más bajos	-0,4
	Elementos en cantiléver de mayor dimensión que el resto de elementos	-0,2
Columna corta	C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: Al menos el 20% de las columnas (o pilares) a lo largo de una línea de columnas en el sistema lateral tienen relaciones de altura / profundidad inferiores al 50% de la relación altura / profundidad nominal en ese nivel	-0,4
	C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: la profundidad de la columna es inferior a la mitad de la profundidad del espacio entre la parte superior de la ventana en un piso y el alféizar de la ventana en el piso anterior, o hay paredes de relleno o pisos adyacentes que acortan la columna	-0,4
Dos Niveles	Existe una división de niveles en un piso o en el techo.	-0,4
Otra irregularidad	Hay otra irregularidad vertical severa observable que obviamente afecta el rendimiento sísmico del edificio	-0,7
	Hay otra irregularidad vertical moderada observable que puede afectar el rendimiento sísmico del edificio	-0,4

Figura 80. Irregularidad vertical Nivel 2 para la vivienda de la Sra. Marlene Campos.

Irregularidad en planta Nivel 2

La Figura 81 muestra los modificadores seleccionados para la sección de irregularidad en planta de nivel 2.

Irregularidad en planta, (PI2)	Irregularidad torsional: el sistema lateral no parece estar bien distribuido en el plano en una o ambas direcciones.	-0,5
	Sistemas no paralelos: hay uno o más elementos verticales principales del sistema lateral que no son ortogonales entre sí.	-0,2
	Esquina reentrante: ambas proyecciones de una esquina interior superan el 25% de la dimensión general exterior.	-0,2
	Abertura del diafragma: hay una abertura en el diafragma con un ancho superior al 50% del ancho total del diafragma en ese nivel	-0,2
	C1, C2 construcción en cantiléver fuera del plano: las vigas exteriores no se alinean con las columnas en el plano	-0,2
	Otra irregularidad: hay otra irregularidad en el plano observable que obviamente afecta el rendimiento sísmico del edificio.	-0,5

Figura 81. Irregularidad en planta Nivel 2 .

Redundancia

En la vivienda de la Sra. Marlene Campos existe un nivel suficiente de ejes de resistencia como se muestra en la Figura 82, por lo tanto, se aplica este modificador.



Figura 82. Ejes de resistencia en la vivienda de la Sra. Marlene Campos.

La edificación cuenta con 3 pórticos en cada sentido por lo que el modificador es aplicable como se muestra en la figura 83.

Redundancia (M)	El edificio tiene al menos dos divisiones de elementos laterales en cada lado y cada dirección del edificio.	+0,2
--------------------	--	-------------

Figura 83. Redundancia .

Puntuación final de nivel 2

La puntuación final de nivel 2, SL2, se calcula sumando la puntuación de corrección S', y los modificadores de puntuación de nivel 2, VL2, PL2 y M, tomando en consideración el puntaje mínimo de nivel 1. El puntaje final representa con mayor precisión el rendimiento esperado del edificio, el puntaje del nivel 2 se muestra en la Figura 84.

Puntuación final nivel 2 $SL_2=(S'+VI_2+PI_2+M)\geq S_{min}: 0.9-0.4-0.5+0.2= 0.2$
--

Figura 84. Puntuación final de nivel 2 para la vivienda de la Sra. Marlene Campos.

La puntuación final de nivel 2 refleja las condiciones de la estructura, y reitera lo encontrado en el nivel 1 con más detalle, debido a que el resultado final es el mínimo correspondiente a 0.2 asociado a una Alta vulnerabilidad como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20

Puntaje final asociado a vulnerabilidad sísmica

Puntaje Final	Característica
<2	Alta Vulnerabilidad
entre 2 y 2,5	Media Vulnerabilidad
>2.5	Baja Vulnerabilidad

Fuente: (FEMA, 2015)

Otras condiciones

Peligros no estructurales observables

Peligros no estructurales observables			
Lugar	Descripción	Si	No
Exterior	Hay un parapeto de mampostería no reforzado sin armadura, o una chimenea de mampostería no reforzada sin armadura	X	
	Hay un revestimiento pesado o chapado gruesa		X
	Hay un toldo pesado sobre las puertas de salida o las aceras peatonales que parece estar inadecuadamente colocado		X
	Hay un accesorio de albañilería no reforzado sobre las puertas de salida o los pasillos peatonales.		X
	Hay un cartel publicado en el edificio que indica que hay materiales peligrosos presentes		X
	Hay un edificio adyacente más alto con una pared URM sin anclaje o un parapeto o chimenea URM sin abrazadera		X
	Otro peligro de caída no estructural exterior observado		X
Interior	Hay tabiques de arcilla hueca o ladrillo en cualquier corredor de escalera o salida		X
	Otro peligro de caída no estructural interior observado		X

Figura 85. Peligros no estructurales para la vivienda de la Sra. Marlene Campos.

En la Figura 86 se estima una acción considerada con respecto a los peligros no estructurales, en base al criterio del evaluador.

Estimar el rendimiento sísmico no estructural	
<input type="checkbox"/>	Posibles riesgos no estructurales con una amenaza significativa para la seguridad de vida de los ocupantes Se recomienda una evaluación no estructural detallada
<input checked="" type="checkbox"/>	Riesgo no estructural identificado con una amenaza significativa para la seguridad de vida de los ocupantes, pero no se requiere una evaluación no estructural detallada
<input type="checkbox"/>	Amenaza de riesgo no estructural bajo o nulo para la seguridad de vida de los ocupantes No se requiere una evaluación no estructural detallada

Figura 86. Acción requerida para riesgos no estructurales.

4.3 Formato para evaluación rápida estructural de viviendas informales

4.3.1 Vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo



Figura 87. Fachada de la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo

Se procede a demostrar un ejemplo de la aplicación de este formato el cual ha sido explicado en el apartado anterior, donde se detalló el proceso que se debe seguir para llenar el formato. En la primera sección se obtiene los datos generales referentes al proyecto. Se ha tomado como ejemplo la vivienda que se muestra en la Figura 87,

ubicada en Solanda, Sector 1, super manzana 3, pasaje S22A Oe-4e-S22-29 perteneciente al Sr. Servio Guzmán Erazo con cédula de identidad 1703667509, número de teléfono 0983229005. En dicha vivienda residen 3 familias con un total de 8 personas, el año de construcción fue en 1986 y a partir de esa fecha no ha sido rehabilitada, este inmueble consta con tres plantas en elevación y cada planta tiene una altura aproximada de 2.23 m, teniendo así una altura total de la estructura de 6.69 m. Finalmente las medidas del terreno sobre el que está construida la estructura son de aproximadamente 6.90 m de frente y 12.80 m de fondo, estos datos se aprecian en la Figura 88.

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES								
Nombre del Evaluador J. Gualoto - O. Querembas		Ing / Arq.		Estudiante	X	Otro		
PARAMETROS GENERALES								
Nombre del Proyecto Vivienda del Sr. Servio Guzman Erazo								
Dirección Solanda SMZ. 3 Oe4e S22-29 S22A								
Ciudad Quito		Sector Solanda 1		Referencia				
Propietario Servio Guzman Erazo			Teléfono 0983229005		C.I 1703667509			
Número de Habitantes 8		Número Familias 3		Telf. Contacto				
Fecha 27/9/2018		Vivienda en Arriendo		SI	NO	X		
Niveles en Altura 3		Subsuelos		Area Terreno (m2)				
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]	6.90		Topografía	Planicie	Ladera	Relleno	X
	Fondo (Y) [m]	12.80			Topografía Irregular (pendiente)			
Año Construcción 1986				Rehabilitación		Año		Notas
Año Reconocimiento Informal por el Municipio				SI				
Altura Típica de Entrepiso [m] 2.23				NO		X		

Figura 88. Parámetros generales del formato de evaluación rápida aplicada a la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

Fuente (Silva J. , 2017).

En la segunda sección se procede a realizar la evaluación visual de los elementos estructurales en la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo, donde se obtuvieron los siguientes resultados, para el punto 1 relacionado a la sección de columnas existentes se otorgó la calificación 2 correspondiente al parámetro que indica que al menos el

70% de columnas poseen una sección de hormigón que está en el rango de $600 \leq X < 900 \text{ cm}^2$. Esto es así porque la vivienda presenta columnas con dos tipos de dimensiones, la primera de 25 x 31 cm con una sección de hormigón equivalente a 775 cm^2 y la segunda de 30 x 20 cm con una sección equivalente a 600 cm^2 . Para el segundo parámetro, que evalúa las vigas existentes, se ha asignado una calificación 3 dado que las vigas de la edificación son banda en los dos pisos de arriba, cabe mencionar que existía una viga descolgada en el primer piso. Para el tercer parámetro que evalúa el espesor de la losa, se ha asignado una calificación de 2, porque presenta una losa de 20 cm. En el cuarto parámetro, que evalúa irregularidades en planta, se reconocen dos tipos de irregularidades: torsional y discontinuidad en el sistema de entrepiso, por lo que se le asignó una calificación de 4 ya que existió más de tres irregularidades, especialmente las notorias en las discontinuidades de columnas en los pisos. En el quinto parámetro se detecta la presencia de piso flexible en la edificación tal como se aprecia en la Figura 89. Es por eso que se asigna una calificación de 3 por la presencia de dos irregularidades. Finalmente, en el sexto parámetro que se refiere al daño en mampostería, se ha asignado un valor de 2, puesto que se ha presenciado un daño leve en la mampostería, este daño responde a fisuras en varias paredes de la vivienda, tal como se puede ver en la Figura 90. Estos datos se aprecian en la Figura 91 donde se aplica el uso del formato. Finalmente, la suma de las calificaciones parciales es 16, que de acuerdo con la metodología de la matriz propuesta recomienda Encamisado de columnas + Enchapado de paredes + Cfrp, cabe mencionar que el Cfrp debe colocarse en todos los elementos estructurales. Es importante mencionar que, para dar un costo de reparación, prevalecerá el criterio del

técnico que realice la inspección y de la calidad de los materiales que se deseen aplicar.



Figura 89. Presencia de piso blando en el primer piso, vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo



Figura 90. Presencia de grietas en mampostería, vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo

SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)						
	1	2	3	4	5	
1. Secciones en columnas existentes (cm ²)	Todas ≥ 900	Al menos 70% $600 \leq S < 900$	X Al menos 70% $400 \leq S < 600$	Al menos 70% $200 \leq S < 400$		≤ 200
2. Vigas existentes:	Peraltadas		Banda	X		
3. Peralte de losas de entrepiso	25 cm	20 cm	X	15 cm	Otro valor inferior	
4. Irregularidades en Planta	Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso 2: Retrocesos excesivos en esquinas, Caso 3: Discontinuidades en el sistema de piso, Caso 4: Ejes estructurales no paralelos					
Caso 1	X					Casos de Irregularidades Basados en los tipificados por la NEC 15
Caso 2	Sin Irregularidad	1 Irregularidad	2 Irregularidades	3 o más Irregularidades	X	
Caso 3	X					
Caso 4						
5. Irregularidades en Elevación	Caso 1: Piso Flexible, Caso 2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica					
Caso 1	X	Sin Irregularidad	1 Irregularidad	2 Irregularidades	X	Casos de Irregularidades Basados en los tipificados por la NEC 15
Caso 2						
Caso 3						
6. Daños existentes por eventos sísmicos previos	Daño Leve: nivel mampostería, Moderado: nivel vigas, Severo: nivel Columnas					
	Sin daño visible	Daño leve	X Daño Moderado	Daño Severo		

Figura 91. Calificación de vulnerabilidad del formato de evaluación rápida aplicada a la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

Fuente (Silva J. , 2017).

4.3.1 Vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira



Figura 92. Fachada de la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.

En la primera sección se obtiene los datos generales referentes al proyecto. En la que se ha tomado como ejemplo la vivienda que se muestra en la Figura 92, ubicada

en Solanda, sector 1, Pedro Benavente S22-03 y Bonifacio Aguilar perteneciente a la Sra. Marlene Campos Pereira con cédula de identidad 0701320905, número de teléfono 0999884378. En dicha vivienda residen 4 familias con un total de 13 personas, el año de construcción fue en 1986 y a partir de esa fecha no ha sido rehabilitada. Este inmueble consta con tres plantas en elevación y cada planta tiene una altura aproximada de 2.15 m, teniendo así una altura total de la estructura de 6.45 m. Finalmente, las medidas del terreno sobre el que está construida la estructura son de aproximadamente 6.45 m de frente y 12.00m de fondo, estos datos se aprecian en la Figura 93.

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES													
Nombre del Evaluador		J. Gualoto - O. Querembas		Ing / Arq.	Estudiante	<input checked="" type="checkbox"/>	Otro	<input type="checkbox"/>					
PARAMETROS GENERALES													
Nombre del Proyecto							Vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira						
Dirección							Solanda Sector 1 Pedro Benavente S22-03 y Bonifacio Aguilar						
Ciudad		Quito		Sector	Solanda 1		Referencia						
Propietario			Marlene Campos Pereira		Teléfono		0999884378		C.I	0701320905			
Número de Habitantes		13		Número Familias		4		Telf. Contacto					
Fecha		1 / 10 / 2018		Vivienda en Arriendo		SI		<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>			
Niveles en Altura		3		Subsuelos		Area Terreno (m2)							
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]		6.30		Topografía	Planicie		<input type="checkbox"/>	Ladera		<input type="checkbox"/>	Relleno	<input checked="" type="checkbox"/>
	Fondo (Y) [m]		12.00			Topografía Irregular (pendiente)							
Año Construcción				1986		Rehabilitación		Año		Notas			
Año Reconocimiento Informal por el Municipio				SI		NO		<input checked="" type="checkbox"/>					
Altura Típica de Entrepiso [m]				2.15		NO		<input checked="" type="checkbox"/>					

Figura 93. Parámetros generales del formato de evaluación rápida aplicada a la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.

Fuente (Silva J. , 2017).

En la segunda sección se procede a realizar la evaluación visual de los elementos estructurales en a la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira, donde se obtuvieron los siguientes resultados. Para el punto 1 relacionado a la sección de columnas existentes se otorgó la calificación 1 correspondiente al parámetro que indica que todas las

columnas poseen una sección $\geq 900 \text{ cm}^2$, por el motivo que la vivienda presenta columnas con dimensiones iguales de $40 \times 25 \text{ cm}$ con una sección de hormigón equivalente a 1000 cm^2 . Para el segundo parámetro que evalúa las vigas existentes se ha asignado una calificación 3 dado que las vigas de la edificación son banda en los dos pisos superiores, cabe mencionar que sólo existe una viga descolgada en el primer piso. Para el tercer parámetro que evalúa el espesor de la losa, se ha asignado una calificación de 2, porque presenta una losa de 20 cm . En el cuarto parámetro que evalúa irregularidades en planta, se detecta dos tipos, irregularidad torsional y discontinuidad en el sistema de entrepiso en dos lugares, por lo que se le asignó una calificación de 4, este valor se asigna cuando se detecta tres o más irregularidades. En el quinto parámetro se detecta la presencia de distribución de masas no uniforme e irregularidad geométrica en la edificación, tal como se aprecia en la Figura 94, pues sólo se ha construido una terraza desde el centro de la vivienda hacia la parte frontal, mientras que para la parte posterior se ha dejado sin terraza. Por la presencia de esta irregularidad se ha asignado una calificación de 2. Finalmente, en el sexto parámetro referente al daño en mampostería se ha asignado un valor de 2, dado que se ha presenciado un daño leve en la mampostería. Este daño responde a fisuras en varias paredes de la vivienda, tal como se puede ver en la Figura 95. Estos datos se los aprecia en la Figura 96, donde han sido llenados aplicando el formato. Finalmente, se obtiene una calificación de 14, que de acuerdo con la metodología de la matriz propuesta se recomienda Encamisado de columnas + Enchapado de paredes + Cfrp, cabe mencionar que el Cfrp debe colocarse sólo en los elementos estructurales que presenten daño, es decir en los que presenten grietas o desprendimientos excesivos de hormigón. Es importante mencionar que, para dar un

costo de reparación, prevalecerá el criterio del técnico que realice la inspección y de la calidad de los materiales que se deseen aplicar.



Figura 94 Distribución de masas no uniforme e irregularidad geométrica, vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira



Figura 95 Presencia de grietas en mampostería interna, vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.

SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)						
	1	2	3	4	5	
1. Secciones en columnas existentes (cm ²)	Todas ≥ 900	Al menos 70% 600 \leq ($<$ 900)	Al menos 70% 400 \leq ($<$ 600)	Al menos 70% 200 \leq ($<$ 400)		≤ 200
2. Vigas existentes		Feraltadas	Banda			
3. Peralte de losas de entrepiso	25 cm	20 cm	15 cm	Otro valor inferior		
4. Irregularidades en Planta	Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso 2: Retrocesos excesivos en esquinas, Caso 3: Discontinuidades en el sistema de piso, Caso 4: Ejes estructurales no paralelos					
Caso 1	X					
Caso 2		1	2	3 o más		Casos de Irregularidades Basados en los especificados por la NEC 15
Caso 3	X	Irregularidad	Irregularidades	Irregularidades	X	
Caso 4						
5. Irregularidades en Elevación	Caso 1: Piso Flexible, Caso 2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica					
Caso 1		1	2	más de 2		Casos de Irregularidades Basados en los especificados por la NEC 15
Caso 2	X	Irregularidad	Irregularidades	Irregularidades		
Caso 3	X					
6. Daños existentes por eventos sísmicos previos	Daño Leve: nivel mampostería, Moderado: nivel vigas, Severo: nivel Columnas					
	Sin daño visible	Daño leve	Daño Moderado	Daño Severo		

Figura 96 Calificación de vulnerabilidad del formato de evaluación rápida aplicada a la vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.

Fuente (Silva J. , 2017).

4.4 Mediante el uso de acelerómetro Waspnote

4.4.1 Vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo

En este proyecto de investigación se ha ejecutado 95 ensayos en las viviendas propuestas en el Sector 1 del barrio Solanda, entre ellas se ha tomado la vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo como ejemplo práctico, para explicar la ejecución de los ensayos, teniendo en cuenta que al momento de ejecutar el ensayo se debe tomar algunas consideraciones para que el proceso sea el adecuado y los datos sean coherentes.

En primera instancia, se debe acceder a la terraza o último piso accesible para poder instalar el equipo que deberá ser ubicado en el centro de masas de la estructura, donde se procederá a inmovilizar el acelerómetro, teniendo la consideración de que los ejes de análisis estén acordes con los ejes del equipo. En este proyecto se utilizó una cinta industrial gris dado que se caracteriza por su adherencia en exteriores y en

diferentes materiales. Una vez colocado se deberá conectar el acelerómetro con un cable de transmisión de datos a un computador que contenga instalado los drivers y el programa que permitirá realizar la toma de datos. Finalmente, se procede a encender el acelerómetro para que empiece el ensayo, esto se puede apreciar en la Figura 97. Es importante mencionar que para efectos de este trabajo de investigación se ha tomado datos durante 30 minutos, pero a partir de los 10 minutos ya se tiene una base de datos con aceleraciones lo suficientemente amplia para su procesamiento.



Figura 97 Acelerómetro instalado, vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

Transcurrido el tiempo del ensayo, se debe apagar el acelerómetro evitando así que salgan picos excesivos por la manipulación del mismo. Posteriormente, se deberán copiar los datos desde la pantalla en la que el acelerómetro arroja datos en algún software que permita almacenar. En este proyecto de investigación se utilizó el software bloc de notas, es importante nombrar de manera adecuada con la fecha y un número que identifique a cada archivo para evitar confusiones. Hecho esto se procede a desconectar y guardar el acelerómetro y la computadora para su transporte seguro evitando golpes.

Los datos obtenidos se presentan distribuidos en una columna que consta con el periodo del registro de datos, las aceleraciones en los tres ejes de análisis es decir (X, Y, Z), luego se deberá tabular los datos de tal manera que se tenga cada tipo de aceleración en un archivo diferente, para proceder a analizar las aceleraciones en el sentido corto de la edificación, en el sentido Y, una vez procesado los datos de la manera que se explicó en el Capítulo 2 se obtiene el espectro de Fourier que se indica en la Figura 98, de donde se toma el valor del pico característico como periodo de vibración de la estructura analizada, en este ejemplo se ha obtenido un valor de 0.413998 s y con la altura total de la estructura, se puede determinar el índice de vulnerabilidad de la siguiente manera.

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = \frac{\text{Altura total}}{\text{Periodo de vibración}}$$

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = \frac{6.90 \text{ m}}{0.413998 \text{ s}}$$

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = 16.67$$

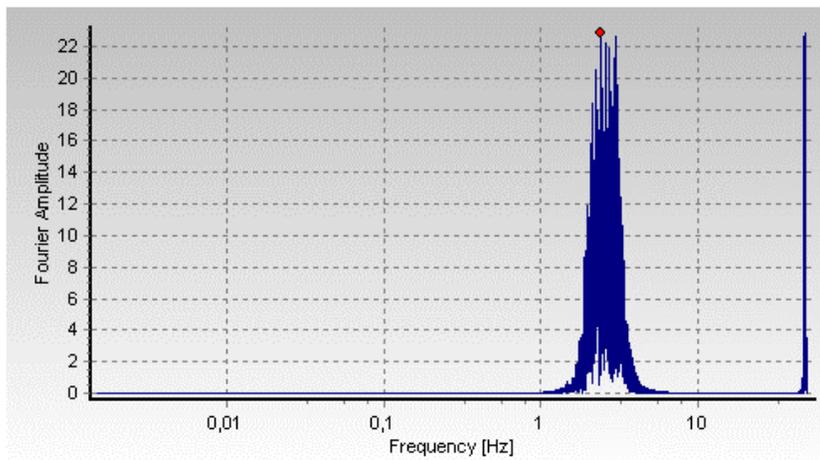


Figura 98 Espectro FFT datos de aceleración en sentido X, vivienda del Sr. Servio Guzmán Erazo.

4.4.2 Vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira

Al igual que en el ejemplo anterior se deberá acceder a la terraza o último piso accesible para poder instalar el equipo, que deberá ser ubicado en el centro de masas de la estructura, donde se procederá a inmovilizar el acelerómetro, con la ayuda de la cinta industrial gris. Se debe tener en cuenta que los ejes de análisis sean los adecuados. Una vez colocado se deberá conectar el acelerómetro con un cable de transmisión de datos a un computador que contenga instalado los drivers y el software que permita el registro de datos. Finalmente, se procede a encender el acelerómetro para que empiece el ensayo, tal como se puede apreciar en la Figura 99.



Figura 99 Acelerómetro instalado, vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.

Transcurrido el tiempo del ensayo, se debe apagar el acelerómetro evitando así que salgan picos excesivos por la manipulación o ruido. Posteriormente, se deberán copiar los datos desde la pantalla del programa que registra los datos en algún software que permita almacenar. En este proyecto de investigación se utilizó el software bloc de notas, es importante nombrar de manera adecuada cada archivo para evitar confusiones. Hecho esto, se procede a desconectar y guardar el acelerómetro y la computadora para su transporte seguro evitando golpes.

Los datos obtenidos se presentan distribuidos en una columna que consta con el periodo del registro de datos, las aceleraciones en los tres ejes de análisis es decir (X, Y, Z). Luego se deberán tabular los datos de tal manera que se tenga cada tipo de aceleración en un archivo diferente, para proceder a analizar las aceleraciones en el sentido corto de la edificación, en el sentido Y. Una vez procesado los datos de la manera que se explicó en el Capítulo 2 se obtiene el espectro de Fourier que se indica en la Figura 100, de donde se toma el valor del pico característico como periodo de vibración de la estructura analizada. En este ejemplo se ha obtenido un valor de

0.35084 s, con la altura total de la estructura, se puede determinar el índice de vulnerabilidad de la siguiente manera.

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = \frac{\text{Altura total}}{\text{Periodo de vibración}}$$

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = \frac{6.45 \text{ m}}{0.35084 \text{ s}}$$

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = 18.38$$

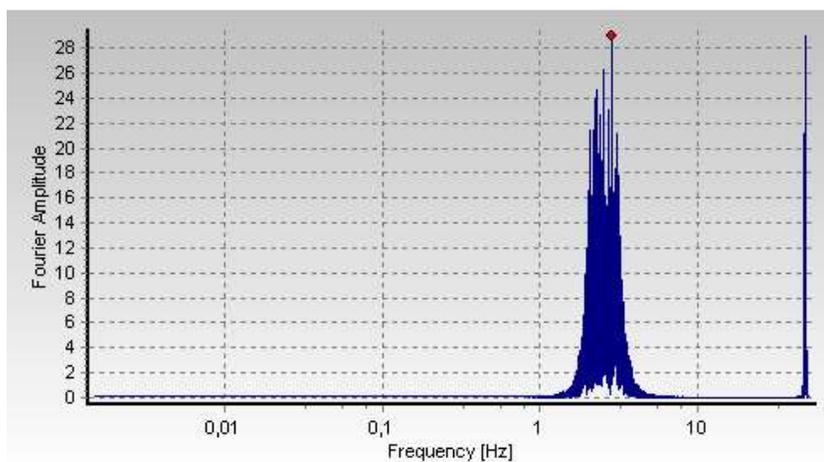


Figura 100. Espectro FFT datos de aceleración en sentido X, vivienda de la Sra. Marlene Campos Pereira.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en las inspecciones realizadas, partiendo de las patologías encontradas en cada vivienda, cabe mencionar que se ha incluido el problema de la mala construcción de gradas, por ser un peligro en las viviendas. También, los valores obtenidos mediante la evaluación visual aplicando el formulario del FEMA p154, el formato de evaluación visual rápida propuesto por (Silva J. , 2017). También se los resultados obtenidos de manera experimental mediante el uso del acelerómetro Waspmote.

5.1 Principales patologías encontradas.

El proyecto de investigación, realizado en viviendas de hormigón armado, conformadas en su parte estructural por vigas y columnas, ha dejado en evidencia patologías que, el descuido y la falta de mantenimiento ha ido agravando seriamente estos problemas, consecuencia de ello en algunos casos se empieza a registrar daño a nivel estructural, aportando de esta manera para que el índice de vulnerabilidad sea mayor, es importante mencionar que el método constructivo detectado en la totalidad de las viviendas es deficiente, pues se visualizó que en el primer piso, las columnas son de ladrillo hueco rellanado con hormigón y sin armadura, en algunos casos existen vigas descolgadas en el primer piso y a partir del segundo piso se cambia a vigas banda. En los inmuebles que se han realizado ampliaciones construyendo más pisos en elevación, a partir del segundo piso ya se visualiza columnas de hormigón armado y vigas banda, estas adaptaciones se han ejecutado sin un análisis previo sobre la

capacidad que tiene la estructura de un piso para soportar un aumento de uno o más pisos.

5.1.1 Agrietamiento

El hormigón proporciona estructuras con resistencia, rigidez y resiliencia a la deformación. Estas características, sin embargo, dan como resultado estructuras que carecen de la flexibilidad para moverse en respuesta a cambios ambientales, de volumen y carga, el agrietamiento suele ser el primer signo de agotamiento en el hormigón (Bluey Technologies Pty Ltd, 2014).

El agrietamiento puede ser leve, moderado o severo, en la Tabla 21 se muestra su clasificación.

Tabla 21

Clasificación de agrietamiento en hormigón

Tipo	Ancho (mm)	Peligro estructural
Micro Fisura	<0.05	Bajo
Fisura	0.1-0.2	
Macro fisura	0.2-0.4	Moderado
Grieta	0.4-1.0	
Fractura	1.0-5.0	Alto
Dislocación	>5	

Fuente: (Catota, 2016)

Las causas principales asociadas al agrietamiento en Solanda corresponden a asentamientos diferenciales del suelo. A continuación, se presentan los ejemplos más representativos encontrados en la ejecución del proyecto.

En la Figura 101 se muestra una grieta longitudinal a 45° en la mampostería. Se puede producir por diferentes causas tales como: asentamiento diferencial de la

cimentación, expansión del suelo, dilatación o retracción por efectos de la temperatura, fallas a flexión o corte de elementos estructurales.

La evidencia recogida en Solanda muestra que la naturaleza de las grietas a 45° corresponde a asentamientos diferenciales del suelo en todo el sector, debido a que no son casos aislados y su recurrencia es alta en todo el barrio.



Figura 101. Grieta longitudinal vivienda del Sr. Cesar Villacís.

En la Figura 102 se muestra una grieta longitudinal a 45°, que nace en el extremo inferior izquierdo de la pared y se extiende hasta la parte superior derecha, sentido al que se está asentado la estructura.



Figura 102. Grieta longitudinal vivienda del Sr. Ángel Valdivieso.

En la Figura 103 se muestra una fisura característica que se presenta cuando existe asentamiento diferencial de la cimentación, estas se ubican en los huecos de puertas y ventanas en sentido vertical en el primer piso. Este tipo de fisura por lo general viene acompañado con fisuras a 45° que indican el sentido del asentamiento como se muestra en el lado derecho de la Figura.

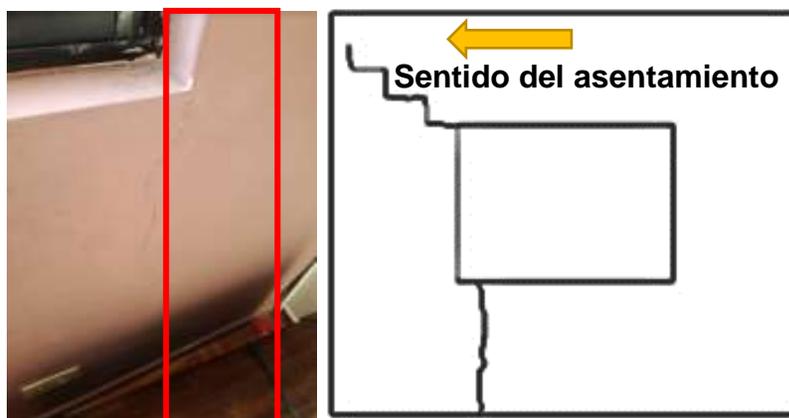


Figura 103. Fisura vertical en la vivienda de la Sra. Jeaneth Coronel.

5.1.1.1 Grietas por Falla de Fricción Cortante

Este tipo de grieta se produce por la frágil adherencia del mortero y el bloque, provocando que en las uniones horizontales se generen esfuerzos cortantes de fricción (Bonett, 2003).

Los esfuerzos horizontales de fricción en el caso de Solanda se presentan por el asentamiento diferencial del suelo, este efecto produce el movimiento de todo el pórtico y al ser el mortero de baja calidad es el primero que empieza a fisurarse y seguir la configuración de la mampostería.

En la Figura 104 se muestra la grieta por falla de fricción cortante producida por asentamiento diferencial de suelo.



Figura 104. Grieta por falla de fricción cortante vivienda Sra. Luz Jiménez.

En la figura 105 se muestra una grieta longitudinal producida por falla de fricción cortante en los elementos de mampostería.



Figura 105 Grieta por falla de fricción cortante vivienda Sr. Nelson Guzmán.

La Figura 106 muestra una grieta vertical presente en la unión entre elementos viejos y adaptaciones relativamente nuevas de columnas. Esto se produce debido a que no existe unión de la columna vieja elaborada de ladrillo hueco relleno de hormigón y la columna nueva elaborada en la mayoría de casas de estructura metálica y hormigón armado.

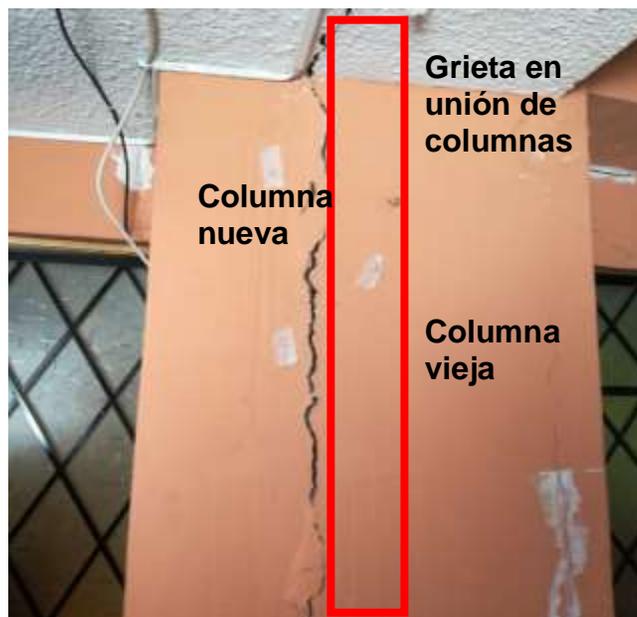
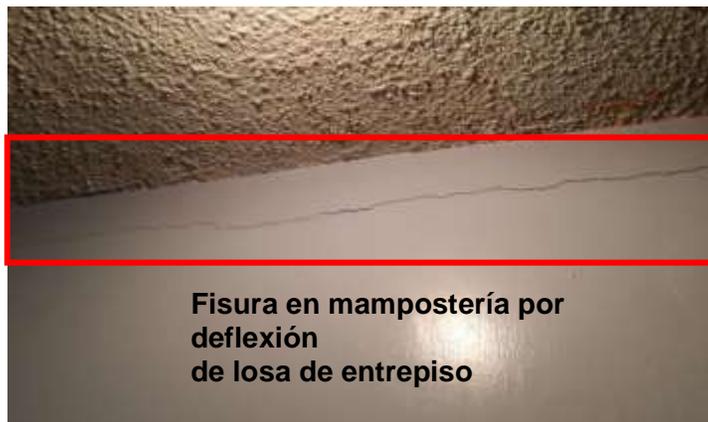


Figura 106 Grieta en unión de elementos vivienda Sra. Martha Valarezo.

5.1.1.2 Fisuras por deflexión excesiva de losa

Este tipo de fisuras aparecen debido a la deflexión excesiva de la losa superior, las fuerzas de tracción inducidas en la cara exterior de la pared de mampostería o viga exceden la tensión de tracción permisible. (Almherigh, 2014)

En la Figura 107 se muestra la vivienda de la Sra. Yolanda López en la que la fisura se presenta en la parte superior de la pared, debido a la deflexión de la losa de entrepiso.



Fisura en mampostería por deflexión de losa de entrepiso

Figura 107. Fisura en mampostería debido a deflexión de la losa de entrepiso en la vivienda de la Sra. Yolanda López.

En la Figura 108 se muestra la fisura en la unión de la viga y la losa de entrepiso. Esta fisura se genera en el enlucido entre la viga y la losa por la deflexión excesiva de la losa de entrepiso.

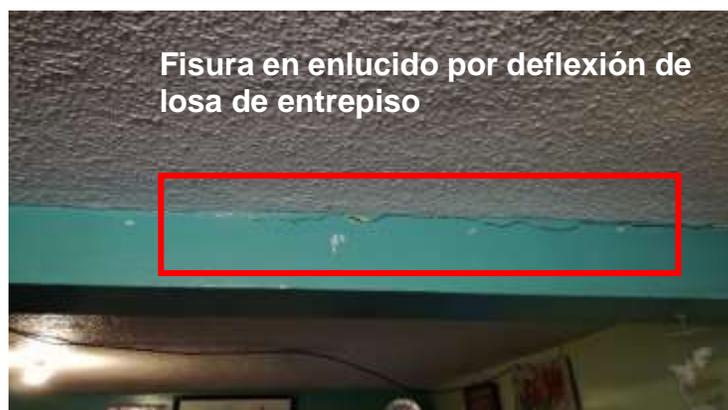


Figura 108. Fisura en elucido debido a deflexión de la losa de entrepiso en la vivienda de la Sra. Matilda Sarabia.

En la figura 109 se muestra la fisura en la unión de la mampostería y la losa de entrepiso, esta fisura se genera por la deflexión excesiva de la losa. La fisura se produce en el mortero ubicado en la unión de los elementos.



Figura 109. Fisura en unión de losa de entrepiso y mampostería en la vivienda del Sr. Jorge Lema.

5.1.2 Humedad

Esta patología de la construcción se ha detectado en el 40% de las estructuras inspeccionadas. Se presenta por la aparición accidental de agua, provocado por daños en tuberías o por influencia directa del suelo (Bonett, 2003). En este proyecto de investigación se constató que la humedad capilar es la que se presenta con mayor

recurrencia, así como se muestra en la Figura 110 y se produce porque los materiales que se utilizan en la construcción, absorben agua, puesto que los cimientos están en contacto directo con el suelo. Es por eso que se debe tomar medidas preventivas antes de construir, una de ellas es fundir un replantillo, que permita aislar el cimiento del suelo. Esta situación en varios casos se agrava cuando se construye sobre un suelo con características de alto nivel freático, y no se ha considerado la ubicación de drenes. Esto provocará que el agua ascienda en forma de humedad por los cimientos provocando manchas en las paredes, daños en la pintura y en casos graves el desprendimiento del enlucido, como se aprecia en las Figuras 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117 y 118. Es importante mencionar que, en 38 de las 95 viviendas inspeccionadas, la humedad ha causado daños que van desde problemas estéticos, desprendimientos de recubrimientos en mamposterías y en losas, causando hasta problemas estructurales como la aparición de los aceros de las losas, y su completa corrosión, lo que es evidente en la Figura 110.



Figura 110 Desprendimiento de enlucido en la vivienda del Sr. Gerardo Toapanta.

Como se aprecia en la Figura 110, el proceso de humedad por capilaridad es tan avanzado que ha causado el paulatino desprendimiento del enlucido en la mampostería ubicada en el primer piso.



Figura 111 Humedad por filtración en la vivienda de la Sra. Martha Pucó.

Como se aprecia en la Figura 111, el proceso de humedad por filtración en la losa de cubierta, ha empezado dar problemas estéticos, puesto que la pintura empieza a presentar con manchas.



Figura 112 Humedad por filtración en la vivienda del Sr. Diógenes Varela.

Como se aprecia en la Figura 112, el proceso de humedad por filtración, ha hecho que se desprenda el hormigón en la parte inferior de la losa de cubierta, dejando visible el acero que constituye vigas y nervios en la losa. Es importante mencionar que el estado de oxidación del acero es avanzado.



Figura 113 Daños en mampostería por humedad en la vivienda de la Sra. Matilda Sarabia.

Como se aprecia en la Figura 113, la humedad por capilaridad en la mampostería del primer piso está causando que se levante el enlucido, y en ciertas partes existe un ligero desprendimiento.



Figura 114 Humedad por filtración y falta de mantenimiento en la vivienda del Sr. Diógenes Varela.

Como se aprecia en la Figura 114, la falta de mantenimiento en la losa de cubierta de la vivienda del Sr. Diógenes Varela ha causado filtraciones y el daño del recubrimiento tanto en losa y mampostería. Es importante también observar la rotura que presenta la mampostería.



Figura 115 Humedad por filtración en losa de cubierta en la vivienda de la Sra. María Bastidas.

Como se aprecia en la Figura 115, existe humedad por filtración, pues las losas se han construido a desnivel. Siendo la principal causa una pequeña fisura que se ha generado en la junta entre elementos de hormigón fundidos en diferentes etapas.



Figura 116 Humedad producida por la filtración en la vivienda de la Sra. Laura Barrionuevo.

Lo que se aprecia en la Figura 116, es posiblemente por una filtración que existe en el ducto de los cables de luz, lo que se debería corregir de inmediato, puesto que el recubrimiento de los cables puede deteriorarse y ocasionar un corto circuito.



Figura 117 Humedad por filtración en la vivienda del Sr. Luis Gallardo.

En la Figura 117, se aprecia una pared que está ubicada en el tercer piso, donde se ha producido desprendimiento de pintura a causa de la humedad por las filtraciones que se producen entre los espacios de adosamientos entre las viviendas.



Figura 118 Humedad por condensación en la vivienda de la Sra. María López.

Es importante aclarar que la humedad que se aprecia en la Figura 118, es por el fenómeno de condensación, puesto que, al acumularse una humedad excesiva en el ambiente, esta se condensa en las zonas más frías de la casa, en este caso se ubica junto a las ventanas.

5.1.3 Discontinuidad Vertical

Irregularidad vertical presente cuando los elementos verticales no se alinean en planta, los elementos verticales en el piso superior se encuentran dentro del plano de los elementos en los pisos inferiores provocando irregularidades geométricas la Figura 119 muestra irregularidades en planta en las viviendas del Sr. Fran Armas (izquierda) y Sra. Matilda Sarabia (Derecha).



Figura 119 Irregularidad geométrica en planta alta.

5.1.4 Desprendimiento de enlucidos

El desprendimiento de enlucidos es la separación que existe entre dos materiales, generalmente entre una mampostería y el revestimiento final, por falta de una adherencia o por lesiones que se causen en la mampostería lo que causa una fisura y

consecuencia de eso empieza a desprenderse (Bonett, 2003). En este trabajo de investigación se detectaron varios casos de desprendimiento de enlucidos interiores a causa de la aparición de grietas, tal como se aprecia en las Figuras 120, 121 y 123, donde el enlucido se ha desprendido mientras que la mampostería de ladrillo ha quedado intacta sin la presencia de fisuras. Caso contrario es el que se aprecia en la Figura 126, donde el bloque que conforma la mampostería está totalmente roto a causa de las fisuras que han sido causa de un asentamiento de la vivienda.



Figura 120 El desprendimiento del enlucido en la mampostería de la vivienda del Sr. Ángel Valdiviezo.

En la Figura 120, se aprecia el desprendimiento del enlucido en la mampostería, producto de una grieta vertical que nace en la unión de la columna y la mampostería, posiblemente por una falta de arriostramiento entre estos dos elementos.



Figura 121 Desprendimiento del enlucido en la mampostería de la vivienda del Sr. Diógenes Varela.

En la Figura 121, se aprecia que existe un desprendimiento del enlucido en la mampostería de la vivienda del Sr. Diógenes Varela, se produce a causa de una grieta que nace en el pie de la ventana que se encuentra en la mampostería.



Figura 122 Grietas en la mampostería en la vivienda del Sr. Augusto Tenesaca.

En la Figura 122, se aprecian Las grietas que se han producido en la mampostería en la vivienda del Sr. Augusto Tenesaca, producto de ellos se ha producido el desprendimiento del enlucido.



Figura 123 Desprendimiento del enlucido en la mampostería de la vivienda del Sr. Luis Zambrano.

En la Figura 123, se parecía el desprendimiento del enlucido en la mampostería, esto sucede producto de una grieta que nace en el pie de la columna, en la esquina inferior izquierda de la fotografía y se extiende a 45° hacia la parte superior derecha de la mampostería.

5.1.5 Torsión

La torsión se presenta cuando un edificio tiene una buena resistencia a la carga lateral en un sentido, pero no en otro, o cuando existen excentricidades de rigidez importantes en el sistema de resistencia, que pueden causar torsión alrededor de un eje vertical. Las irregularidades que causan torsión son especialmente comunes en las

esquinas ya que estas son utilizadas para el bloque de escaleras lo que provoca un sistema resistente asimétrico e irregularidad torsional (FEMA, 2015).

En la Figura 124, se muestra la vivienda del Sr. Oswaldo Cruz, el sistema lateral en la esquina derecha presenta una configuración lateral diferente en un sentido por la presencia de gradas que afectan el sistema resistente.



Figura 124 Irregularidad torsional vivienda Sr. Oswaldo Cruz.

En la Figura 125 se muestra la vivienda del Sr. Luis Borja en la que existe irregularidad torsional, la ubicación del bloque de gradas en la esquina derecha de la vivienda provoca la asimetría del sistema resistente lateral, dando lugar a una rigidez excéntrica que provoca torsión.



Figura 125 Irregularidad torsional vivienda Sr. Luis Borja.

5.1.6 Piso Blando

La Normativa Ecuatoriana de la construcción, denomina piso blando cuando en el piso inferior se detecta una reducción de rigidez con respecto al piso inmediato superior (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015). Adicionalmente en la Figura 126 (b), se aprecia que el esquema que propone el FEMA es similar pues se tiene un frente abierto en la planta baja (FEMA, 2015). En este proyecto de investigación se encontró una estructura con esta patología, pues como se puede apreciar en la Figura 126 (a), los dos primeros pisos de la mitad derecha de la estructura son vacíos, lo que ocasiona una reducción de la rigidez respecto al tercer piso que está construido en su totalidad. Cabe mencionar además de observar la presencia de piso blando, las columnas no estaban alineadas en su eje.

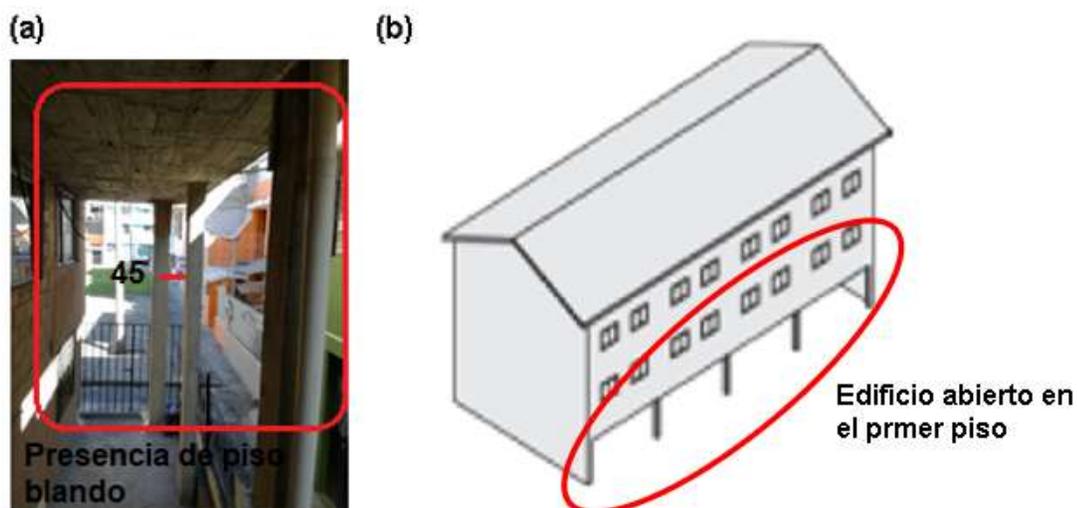


Figura 126 (a) Presencia de piso blando en la vivienda del Sr. Servio Guzmán. (b) Esquema de edificio abierto que presenta piso blando.

En la figura 126(a), se aprecia la presencia de piso blando en el primer piso, también una columna desalineada 45 cm de su eje. Adicionalmente, en la Figura 126(b), se presenta un esquema que permita identificar con claridad porque se denomina piso blando, pues se tiene un ejemplo de un edificio abierto.

5.1.7 Parapetos

Un parapeto es la parte de la pared exterior o fachada que se extiende sobre el techo, el problema se presenta cuando los parapetos son construidos con mampostería no reforzada, como ladrillos, piedras o bloques de concreto, en un sismo, estos pueden romperse y caer sobre el techo o hacia la calle (FEMA, 2015).

En la Figura 127 se muestra la vivienda de la Sra. Marlene Campos que está provista de parapetos de mampostería no reforzada en la fachada en la parte izquierda y en la parte posterior en la parte derecha.



Figura 127. Parapetos de mampostería no reforzada vivienda Sra. Marlene Campos.

En la Figura 128 se muestra fachada frontal de la vivienda de la Sra. María López a la izquierda, y la presencia de parapetos de mampostería no reforzada en fachada lateral que se extiende 2 metros desde el nivel del último piso en la imagen de la derecha.



Figura 128. Parapetos de mampostería no reforzada vivienda Sra. María López.

5.1.8 Hormigueros

Es una patología bastante usual en las construcciones sin supervisión, dado que puede producirse por una mezcla deficiente, o muchas veces por el uso excesivo del vibrador para esparcir la mezcla, sin tener en cuenta que la exposición prolongada

puede provocar la separación de los agregados finos y los agregados gruesos en la mezcla, y de esta manera todo el agregado grueso se vaya a la parte inferior del elemento que se está fundiendo, sin que la mezcla de mortero y agregado fino recubra dichos agregados, provocando una mezcla heterogénea y reduciendo la resistencia y duración de los elementos fundidos de esta manera. En las figuras 129, 130, 131, 132 y 133 se muestran ejemplos de patologías hallados en las inspecciones.



Figura 129 Presencia de hormiguero en una columna, en la vivienda del Sr. Ángel Valdiviezo.

Como podemos apreciar en la Figura 129 la presencia de hormigueros en la columna, causa sin duda una reducción en la capacidad resistente de este elemento estructural, puesto que al estar visible el acero longitudinal ha entrado en estado de oxidación.



Figura 130 Presencia de hormigüero en la parte inferior de la losa de cubierta en la, vivienda del Sr. Diógenes Varela.

En la Figura 130 se puede observar la presencia de hormigüeros en la parte inferior de la losa, y con la falta de mantenimiento, la viga banda ha quedado expuesta, y el acero de refuerzo ha entrado en un estado de oxidación ha sido acelerada.



Figura 131 Presencia de hormigüero en la parte inferior de la losa de cubierta en la, vivienda del Sr. Diógenes Varela.

En la Figura 131 se puede observar la presencia de hormigueros en la parte inferior de la losa, y con la falta de mantenimiento, los nervios que conforman la losa bidireccional han quedado expuestos, y el acero de refuerzo ha entrado en un estado de oxidación ha sido acelerada.



Figura 132 Presencia de hormiguero en una columna en la vivienda de la Sra. Maricela Flores.

Como podemos apreciar en la Figura 132 la presencia de hormigueros en la columna, causa sin duda una reducción en la capacidad resistente de este elemento estructural, puesto que al estar visible al acero longitudinal ha entrado en un estado de oxidación.



Figura 133 Presencia de hormiguero en la parte inferior de la losa de cubierta en la vivienda del Sr. Rigoberto Proaño.

El problema detectado en la Figura 133, causa sin duda una reducción de la capacidad resistente de este elemento estructural, puesto que por estar visibles los nervios de la losa, han entrado en un estado de oxidación, es importante mencionar que los nervios indican que es una losa bidireccional.

5.1.9 Irregularidad en elevación

Las irregularidades en elevación que se constataron en las inspecciones realizadas son principalmente: piso blando y volados de gran dimensión en la parte frontal de las estructuras, los mismos que van aumentando de dimensión cada que se aumenta un nivel. Adicionalmente, existe en varias casas una discontinuidad en el sistema de entrepiso, es decir que las columnas del primer piso, han sido movidas de sus ejes y en el segundo piso se encuentran en ubicaciones diferentes.



Figura 134. Volados sucesivos teniendo en total 95 cm en el último piso en la vivienda del Sr. Nelson Guzmán.

5.1.10 Columna corta

Esta patología sucede cuando algunas columnas o pilares son más cortos que las columnas típicas, estas columnas más cortas y rígidas absorben más carga cortante, en consecuencia, pueden experimentar daños frágiles. También se presentan columnas cortas cuando hay paredes de relleno de altura parcial que acortan la altura libre de la columna o cuando se ha agregado una losa entre los niveles del piso (por ejemplo, para un entrepiso). Las columnas o pilares cortos se consideran irregularidades verticales severas. Esta deficiencia se observa típicamente en edificios de concreto y acero (FEMA, 2015).

En la figura 135 se muestra una pared de mampostería que acorta la longitud de la columna generando dos elementos la longitud del vano corresponde a 3.5m, la altura de entrepiso es de 2.56m, y la columna corta que se genera en la imagen es de 0.35m.



Figura 135 Columna corta vivienda Sr. Enrique Altamirano.

Otra causa típica de columna corta es la presencia de escaleras que, cortan la longitud de la columna en la figura 136 se muestra esta patología.

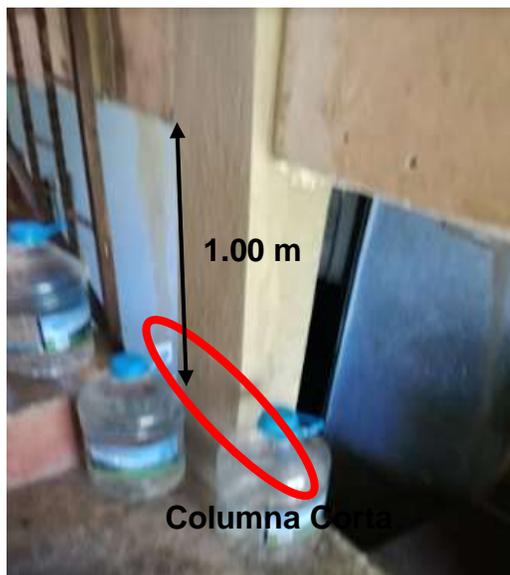


Figura 136 Columna corta generada por losa de entepiso en la vivienda Sr. Segundo Mora.

En la Figura 137 se muestra una toma frontal de escalera de la imagen anterior. Se observa una columna corta de 1.00m.



Figura 137 Columna corta vivienda del Sr. Segundo Mora.

5.1.11 Secciones deficientes de elementos estructurales

Esta patología fue recurrente en las viviendas analizadas, puesto que las dimensiones que se presentan en las columnas son menores a 25 cm en viviendas de tres pisos. Esto se ha producido dado que en el año 1986 que comenzó la construcción del proyecto Solanda, el primer piso se construyó aplicando el sistema de mampostería no reforzada, con proyección a dos pisos. La falta de supervisión técnica ocasionó que las viviendas fueran ampliadas hasta tres pisos implementando pórticos de hormigón armado, sin tener en consideración dimensiones adecuadas para este tipo de ampliaciones.



Figura 138 En la vivienda del Sr. Segundo Mora, se aprecia una columna corta.

Tal como se muestra en la Figura 138 del primer piso de esta residencia, las columnas son de 20 x 20 cm, lo que conlleva a que sea una estructura muy vulnerable.

Pues, la vivienda consta con dos pisos y con una terraza accesible, es importante mencionar que existe punzonamiento en esta columna por ser demasiado esbelta y encontrarse en la periferia.



Figura 139 En la vivienda de la Sra. Verónica Torres, se tienen columnas de sección deficiente.

En la figura 139, se aprecia como para una estructura de 4 pisos se ha utilizado columnas de 20 x 20 cm, lo cual es demasiado alarmante, puesto que es una sección deficiente para este tipo de estructura, y al mencionar sobre esto a los dueños del proyecto, argumentan que los pisos de arriba son livianos porque se ha considerado hacer con losas de 15 cm y bloques de 10 cm para mampostería.

5.1.12 Golpeteo de estructuras

En regiones de sismicidad muy alta, el golpeteo puede ser un problema, cuando existen dos estructuras y su separación es menor del 1.50% de la altura del edificio más cortó de los dos.

El criterio para considerar el golpeteo de edificios depende del escenario de peligrosidad, en regiones de muy alta sismicidad la separación mínima es de 0.30 m, alta sismicidad 0.22, sismicidad moderadamente alta 0.15m, sismicidad moderada o baja 0.07m (FEMA, 2015). La ciudad de Quito es una región de muy alta sismicidad por lo que se debe considerar una separación de viviendas de 0.30m.

El problema principal del sector es que el 100% de las viviendas son construcciones adosadas, sin la existencia de separación mínima como se muestra en la Figura 140. En este caso las edificaciones se encuentran al mismo nivel de losas, pero carece de una separación mínima.



Figura 140 Golpeteo vivienda Sr. Eduardo Villamar.

En la Figura 141 se muestra la vivienda del Sr. Héctor Álvarez, que se encuentra en la mitad de dos edificaciones como se aprecia no existe separación mínima, además de que las losas no se alinean verticalmente con la vivienda del lado derecho. Las líneas verdes indican la prolongación de la losa, en el último piso la desalineación es más evidente con una diferencia de 1.00m.



Figura 141 Golpeteo vivienda Sr. Héctor Álvarez.

5.1.13 Diseño de gradas

Se ha tomado en consideración colocar el diseño de gradas en una patología, dado que las secciones de huellas y contrahuellas en todas las viviendas que han sido parte de este proyecto de investigación, una observación que se realizó es que las huellas tenían dimensiones entre 10 a 15 cm, lo cual ocasiona inestabilidad al subir y bajar las gradas, adicionalmente no se puede asentar el pie correctamente ocasionando continuos accidentes al subir o bajar las gradas, este problema se ve agravado por

que las dimensiones de la contrahuella tiene dimensiones que superan los 23 centímetros lo cual dificulta ascender o descender, finalmente el área destinada para el hueco de gradas es todos los casos es menor a los 60 cm, provocando dificultad, inestabilidad y peligro, en las figuras 142 y 143 se aprecia con claridad el problema que poseen las gradas en las viviendas.



Figura 142. Gradadas irregulares en la vivienda del Sr. Varela.

Como se aprecia en la Figura 142, las gradas han sido construidas con huellas de 12 cm y contrahuellas de 28 cm. Siendo totalmente erróneo el diseño, pues en una huella de 12 cm, no se puede pisar con seguridad lo que ocasiona un peligro constante al momento de transitar, pues el riesgo de caída es constante.



Figura 143 Gradas con estructura sin recubrimiento en la vivienda de la Sra. Maricela Flores.

Como se aprecia en la Figura 143 se han improvisado gradas de acceso desde la planta baja a los pisos superiores. Siendo armadas con elementos de acero reciclados y sin ningún tipo de material que funda estos elementos, lo que conlleva un riesgo de caída latente al momento de transitar por este elemento.

5.2 Resultados de la evaluación mediante ensayos con acelerómetro

Waspnote.

En la Tabla 22, se presenta los resultados obtenidos de periodos de vibración de 95 viviendas, estos datos han sido obtenidos mediante el uso de un acelerómetro Waspnote, los periodos de vibración en el eje X corresponden al sentido longitudinal de las estructuras mientras que el eje Y al sentido transversal.

Tabla 22*Resultados de ensayos con el uso de acelerómetro Waspote*

N°	Pisos	Altura H (m)	Periodo X (s)	H/T (X) (s)	Periodo Y	H/T (Y)
1	3	6,36	0,43895	14,49	0,41515	15,32
2	3	6,54	0,45197	14,47	0,41685	15,69
3	2	5,00	0,32285	15,49	0,34230	14,61
4	2	5,00	0,25690	19,46	0,27875	17,94
5	2	5,00	0,27505	18,18	0,28071	17,81
6	1	2,45	0,16879	14,52	0,17008	14,40
7	3	7,29	0,38940	18,72	0,37795	19,29
8	3	6,45	0,43603	14,79	0,30899	20,87
9	3	6,75	0,34971	19,30	0,37686	17,91
10	2	5,00	0,27852	17,95	0,35102	14,24
11	2	5,16	0,22779	22,65	0,30243	17,06
12	2	4,36	0,22734	19,18	0,24834	17,56
13	3	6,57	0,38528	17,05	0,39126	16,79
14	3	6,75	0,35695	18,91	0,41716	16,18
15	2	4,50	0,32411	13,88	0,27983	16,08
16	5	12,00	0,63381	18,93	0,66602	18,02
17	3	8,01	0,32850	24,38	0,35598	22,50
18	2	5,16	0,25110	20,55	0,28139	18,34
19	2	5,12	0,32900	15,56	0,26214	19,53
20	3	7,35	0,30524	24,08	0,42374	17,35
21	2	4,60	0,26426	17,41	0,28606	16,08
22	3	6,51	0,36470	17,85	0,37926	17,17
23	2	4,34	0,21933	19,79	0,26193	16,57
24	3	6,90	0,33956	20,32	0,36633	18,84
25	3	7,74	0,40706	19,01	0,40206	19,25
26	3	6,30	0,36797	17,12	0,34384	18,32
27	3	6,69	0,39551	16,91	0,41400	16,16
28	1	2,50	0,13032	19,18	0,13682	18,27
29	2	4,30	0,24426	17,60	0,21780	19,74
30	3	7,86	0,35579	22,09	0,34384	22,86
31	3	7,86	0,37047	21,22	0,36984	21,25
32	2	4,80	0,23788	20,18	0,33267	14,43
33	3	7,05	0,31690	22,25	0,36571	19,28
34	2	5,12	0,27501	18,62	0,28706	17,84
35	3	7,20	0,30980	23,24	0,47663	15,11
36	3	6,63	0,43895	15,10	0,38058	17,42

CONTINUA →

37	3	6,63	0,33116	20,02	0,41983	15,79
38	2	4,80	0,33591	14,29	0,30913	15,53
39	3	6,90	0,38280	18,02	0,39985	17,26
40	2	4,80	0,30243	15,87	0,35329	13,59
41	3	8,04	0,45197	17,79	0,35444	22,68
42	2	5,00	0,28407	17,60	0,30725	16,27
43	2	4,52	0,25451	17,76	0,22021	20,53
44	2	5,14	0,33505	15,34	0,31178	16,49
45	2	5,64	0,28091	20,08	0,26576	21,22
46	3	6,45	0,31675	20,36	0,35084	18,38
47	2	5,06	0,31148	16,25	0,36268	13,95
48	3	6,48	0,28248	22,94	0,34620	18,72
49	2	5,06	0,38917	13,00	0,36268	13,95
50	3	7,26	0,39985	18,16	0,30710	23,64
51	2	4,48	0,25343	17,68	0,26426	16,95
52	2	4,40	0,31584	13,93	0,31178	14,11
53	2	5,00	0,27115	18,44	0,25020	19,98
54	2	4,84	0,22875	21,16	0,27092	17,87
55	2	4,32	0,48726	8,87	0,28706	15,05
56	3	7,59	0,46845	16,20	0,34991	21,69
57	2	5,00	0,30173	16,57	0,29432	16,99
58	3	7,56	0,27888	27,11	0,31035	24,36
59	2	5,36	0,36531	14,67	0,37428	14,32
60	2	5,06	0,29898	16,92	0,28031	18,05
61	3	8,40	0,38438	21,85	0,37751	22,25
62	3	7,29	0,40206	18,13	0,46479	15,68
63	2	4,26	0,32032	13,30	0,26619	16,00
64	3	6,39	0,35933	17,78	0,37211	17,17
65	2	4,86	0,25565	19,01	0,35463	13,70
66	2	4,40	0,31357	14,03	0,29708	14,81
67	2	4,96	0,21154	23,45	0,21686	22,87
68	3	6,45	0,28236	22,84	0,37926	17,01
69	2	4,30	0,21838	19,69	0,24638	17,45
70	3	7,62	0,53023	14,37	0,50181	15,19
71	3	6,60	0,31462	20,98	0,29877	22,09
72	3	7,50	0,48188	15,56	0,45322	16,55
73	3	6,45	0,38348	16,82	0,32573	19,80
74	1	2,50	0,26554	9,41	0,21342	11,71
75	2	5,00	0,47871	10,44	0,37838	13,21
76	4	8,68	0,52262	16,61	0,54342	15,97

CONTINUA →

77	3	7,80	0,35792	21,79	0,33369	23,37
78	3	7,50	0,47148	15,91	0,45574	16,46
79	3	6,42	0,41114	15,62	0,37970	16,91
80	3	7,70	0,35123	21,92	0,35851	21,48
81	2	6,04	0,37992	15,90	0,37026	16,31
82	2	6,04	0,26815	22,52	0,34493	17,51
83	3	7,60	0,28019	27,12	0,30543	24,88
84	3	6,90	0,37860	18,23	0,35910	19,21
85	2	6,15	0,28123	21,87	0,26321	23,37
86	5	12,50	0,68934	18,13	0,63123	19,80
87	3	7,64	0,38210	19,99	0,39131	19,52
88	2	5,20	0,28957	17,96	0,30122	17,26
89	3	7,45	0,39210	19,00	0,36102	20,64
90	5	12,70	0,65132	19,50	0,62312	20,38
91	2	6,50	0,26832	24,22	0,28654	22,68
92	3	7,20	0,37211	19,35	0,36192	19,89
93	2	6,20	0,31230	19,85	0,28123	22,05
94	2	6,40	0,29320	21,83	0,27123	23,60
95	3	7,60	0,36120	21,04	0,30123	25,23

5.3 Resultados de la inspección mediante la aplicación del FEMA P154.

En la Tabla 23, se presenta los resultados obtenidos de vulnerabilidad mediante la aplicación de la matriz de evaluación estructural propuesta por el FEMA P154, cabe mencionar que se ha utilizado el formato de vulnerabilidad alta.

Tabla 23*Resultados de ensayos aplicando matriz visual FEMA P154*

No. pisos	Propietario	Puntaje Fema	Puntaje Mínimo asumido	Vulnerabilidad
3	Cesar Villacís	-1.1	0,2	ALTA
3	Ángel Valdivieso	-0.8	0,2	ALTA
2	Luz Angélica Jiménez	-0.6	0,2	ALTA
2	Nelson Guzmán	-3.2	0,2	ALTA
2	Gerardo Toapanta	-0.9	0,2	ALTA
1	Martha Puco Tipan	-1.3	0,2	ALTA
3	Diogenes Varela	-1.3	0,2	ALTA
3	Antonio Rojas	-0.8	0,2	ALTA
3	Fausto Silva	0.3	0,2	ALTA
2	Augusto Tenesaca	-0,4	0,2	ALTA
2	Fernando Freire	-0,7	0,2	ALTA
2	Juana Vizuite	-1	0,2	ALTA
3	María Juana Cevallos	-1,3	0,2	ALTA
3	Matilde Sarabia	-1,6	0,2	ALTA
2	Jorge Lema	-1,9	0,2	ALTA
5	Alfonso Landeta	-2,2	0,2	ALTA
3	Héctor Álvarez	-1.1	0,2	ALTA
2	Luis Alberto Pérez	-0.8	0,2	ALTA
2	Enrique Altamirano	-0.6	0,2	ALTA
3	Luis Fernando Borja M	-3.2	0,2	ALTA
2	Rosa Angélica Cóndor	-1.1	0,2	ALTA
3	Adriana Rosero	-0.8	0,2	ALTA
2	Mabel Romero	-0.6	0,2	ALTA
3	Eduardo Villamar	-3.2	0,2	ALTA
3	Paulina Delgado	-0.9	0,2	ALTA
3	Polidoro Andrade	-1.3	0,2	ALTA
3	Servio Guzmán Erazo	-1.3	0,2	ALTA
1	Rodrigo Armas	-0.8	0,2	ALTA
2	Zoila Piedad Granda	0.3	0,2	ALTA
3	Martha Valarezo	-0.8	0,2	ALTA
3	Carlos Patiño	-0.6	0,2	ALTA
2	Maricela Flores	-3.2	0,2	ALTA
3	Beatriz Herrera	-0.9	0,2	ALTA
2	Jaime Ruiz	-1.3	0,2	ALTA

CONTINUA →

3	José Julio Caiza	-1.3	0,2	ALTA
3	Luis Zambrano	-0.8	0,2	ALTA
3	Luis Zambrano	0.3	0,2	ALTA
2	Luis Roberto Espinoza	-0,3	0,2	ALTA
3	Rigoberto Proaño	0,2	0,2	ALTA
2	Fran Armas Cajas	-0,7	0,2	ALTA
3	Oswaldo Cruz	-1.1	0,2	ALTA
2	Dictor Morejon	-0.8	0,2	ALTA
2	Segundo Gerardo M	-0.6	0,2	ALTA
2	Segundo Mora	-3.2	0,2	ALTA
2	María Ordoñez	-0.9	0,2	ALTA
3	Marlene Campos	-1.3	0,2	ALTA
2	Segundo Toscano	-1.3	0,2	ALTA
3	Jorge Tipan	-0.8	0,2	ALTA
2	Vicente Tapia	0.3	0,2	ALTA
3	Carmen Aguilar	-0,2	0,2	ALTA
2	Jaime Moreta	-0,3	0,2	ALTA
2	Jaime Moreta Casa 2	-0,4	0,2	ALTA
2	Zoila Saltos	-0,5	0,2	ALTA
2	Marcos Cañas	-0,6	0,2	ALTA
2	María Bastidas	-0,7	0,2	ALTA
3	Ángel Quishpe	-0,8	0,2	ALTA
3	Mario Herrera	-0,9	0,2	ALTA
3	Luis Uyana	-1	0,2	ALTA
2	Janeth Coronel	-1,1	0,2	ALTA
2	Laura Barrio Nuevo	-1,2	0,2	ALTA
3	Francisco Salgado	-1.1	0,2	ALTA
3	Yolanda López	-0.8	0,2	ALTA
2	María Apolo	-0.6	0,2	ALTA
2	Luis Gallardo	-3.2	0,2	ALTA
2	Antonio Espinosa	-0.9	0,2	ALTA
2	Rosa Gonzales	-1.3	0,2	ALTA
2	Patricio Arcatiles	-1.3	0,2	ALTA
3	Ángel Díaz	-0.8	0,2	ALTA
2	Raúl Segovia	0.3	0,2	ALTA
3	Carlos Reinoso	-0.8	0,2	ALTA
3	Cecilia Navarro	-0.6	0,2	ALTA
3	María López	-3.2	0,2	ALTA
3	Luis Vergara	-0.9	0,2	ALTA
2	Marcelo Villalba	-1.3	0,2	ALTA

CONTINUA →

2	David Coba	-1.3	0,2	ALTA
4	Verónica Torres	-0.8	0,2	ALTA
3	Marcelo Ordoñez	0.3	0,2	ALTA
3	Juan Mendiliva	-0,2	0,2	ALTA
3	Patricia Franco	-0,3	0,2	ALTA
3	Mónica Larcos	-0,4	0,2	ALTA
2	Pablo Alboran	-0,5	0,2	ALTA
2	María Galindo	-0,6	0,2	ALTA
3	Lidia Domínguez	-0,7	0,2	ALTA
3	Andrés Rodríguez	-0,8	0,2	ALTA
2	José Antonio Márquez	-0,9	0,2	ALTA
5	Izán Cortes Álvarez	-1	0,2	ALTA
3	Guillem Carmona O.	-1,1	0,2	ALTA
2	Gabriela Herrera Soto	-1,2	0,2	ALTA
3	Marina Parra Pascual	-1.1	0,2	ALTA
5	José Manuel Casas	-0.8	0,2	ALTA
2	Jimena Reyes Campos	-0.6	0,2	ALTA
3	Adriana Santos Torres	-3.2	0,2	ALTA
2	José Manuel Casas	-0.9	0,2	ALTA
2	Celia Sola Cortes	-1.3	0,2	ALTA
3	Samuel Hernández	-1	0,2	ALTA

5.4 Resultados de la inspección mediante la aplicación del formato de evaluación de viviendas informales.

En la Tabla 24, se presenta los resultados de la aplicación de la matriz de inspección visual rápida, donde se ha designado un puntaje final, que dará paso a una clasificación por criterios de vulnerabilidad.

Tabla 24*Resultados de la inspección aplicando matriz de inspección visual*

No. pisos	Propietario	Puntaje final	Vulnerabilidad
3	Cesar Villacís	23	ALTA
3	Ángel Valdivieso	23	ALTA
2	Luz Angélica Jiménez	23	ALTA
2	Nelson Guzmán	22	ALTA
2	Gerardo Toapanta	22	ALTA
1	Martha Puco Tipán	23	ALTA
3	Diógenes Varela	22	ALTA
3	Antonio Rojas	24	ALTA
3	Fausto Silva Rodríguez	22	ALTA
2	Augusto Tenesaca	24	ALTA
2	Fernando Freire	23	ALTA
2	Juana Vizúete	24	ALTA
3	María Juana Cevallos	24	ALTA
3	Matilda Sarabia	23	ALTA
2	Jorge Lema	23	ALTA
5	Alfonso Landeta	16	ALTA
3	Héctor Álvarez	16	ALTA
2	Luis Alberto Pérez	19	ALTA
2	Enrique Altamirano	22	ALTA
3	Luis Fernando Borja	17	ALTA
2	Rosa Angélica Cóndor	23	ALTA
3	Adriana Rosero	24	ALTA
2	Mabel Romero	19	ALTA
3	Eduardo Villamar	19	ALTA
3	Paulina Delgado	20	ALTA
3	Polidoro Andrade	20	ALTA
3	Servio Guzmán Erazo	20	ALTA
1	Rodrigo Armas	25	ALTA
2	Zoila Piedad Granda	22	ALTA
3	Martha Valarezo	18	ALTA
3	Carlos Patiño	19	ALTA
2	Maricela Flores	19	ALTA
3	Beatriz Herrera	18	ALTA
2	Jaime Ruiz	21	ALTA
3	José Julio Caiza	18	ALTA

CONTINUA →

3	Luis Zambrano	23	ALTA
3	Luis Zambrano	18	ALTA
2	Luis Roberto Espinoza	23	ALTA
3	Rigoberto Proaño	23	ALTA
2	Fran Armas Cajas	23	ALTA
3	Oswaldo Cruz	22	ALTA
2	Dictor Morejón	22	ALTA
2	Segundo Gerardo	22	ALTA
2	Segundo Mora	23	ALTA
2	María Ordoñez	19	ALTA
3	Marlene Campos	19	ALTA
2	Segundo Toscano	23	ALTA
3	Jorge Tipán	18	ALTA
2	Vicente Tapia	24	ALTA
3	Carmen Aguilar	20	ALTA
2	Jaime Moreta	20	ALTA
2	Jaime Moreta Casa 2	23	ALTA
2	Zoila Saltos	23	ALTA
2	Marcos Cañas	20	ALTA
2	María Bastidas	25	ALTA
3	Ángel Quishpe	20	ALTA
3	Mario Herrera	17	ALTA
3	Luis Uyana	15	ALTA
2	Jeaneth Coronel	24	ALTA
2	Laura Barrio Nuevo	25	ALTA
3	Francisco Salgado	18	ALTA
3	Yolanda López	18	ALTA
2	María Apolo	24	ALTA
2	Luis Gallardo	25	ALTA
2	Antonio Espinosa	24	ALTA
2	Rosa Gonzales	25	ALTA
2	Patricio Arcatiles	22	ALTA
3	Ángel Díaz	18	ALTA
2	Raúl Segovia	20	ALTA
3	Carlos Reinoso	23	ALTA
3	Cecilia Navarro	19	ALTA
3	María López	23	ALTA
3	Luis Vergara	23	ALTA
2	Marcelo Villalba	25	ALTA
2	David Coba	25	ALTA

CONTINUA →

4	Verónica Torres	22	ALTA
3	Marcelo Ordoñez	20	ALTA
3	Juan Mendiliva	23	ALTA
3	Patricia Franco	23	ALTA
3	Mónica Larcos	19	ALTA
2	Pablo Alborán	22	ALTA
2	María Galindo	19	ALTA
3	Lidia Domínguez	15	ALTA
3	Andrés Rodríguez	22	ALTA
2	José Antonio Márquez	18	ALTA
5	Izán Cortes Álvarez	22	ALTA
3	Guillem Carmona	22	ALTA
2	Gabriela Herrera Soto	23	ALTA
3	Marina Parra Pascual	22	ALTA
5	José Manuel Casas	22	ALTA
2	Jimena Reyes Campos	18	ALTA
3	Adriana Santos Torres	22	ALTA
2	José Manuel Casas	22	ALTA
2	Celia Sola Cortes	20	ALTA
3	Samuel Hernández	20	ALTA

5.5 Resumen de patologías encontradas.

En la Tabla 25, se aprecia un resumen de las patologías encontradas en las 95 viviendas inspeccionadas, es importante mencionar que, en la nomenclatura de la tabla, se ha colocado Si y No, para identificar la presencia o ausencia de cada patología.

Tabla 25
Resultados de la inspección visual

Casa	Grietas	Humedad	Golpeteo	Torsión	Parapetos	Columna Corta	Desprendimiento de enlucido
1	Si	No	Si	No	Si	No	Si
2	Si	Si	Si	No	Si	No	Si
3	Si	Si	Si	No	Si	No	No
4	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
5	Si	Si	Si	No	Si	No	No
6	Si	Si	Si	Si	No	No	No
7	Si	Si	Si	No	Si	Si	No
8	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
9	Si	No	Si	No	Si	No	No
10	Si	No	Si	No	Si	No	Si
11	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
12	Si	No	Si	Si	Si	No	No
13	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
14	Si	No	Si	No	Si	No	Si
15	Si	No	Si	Si	No	No	Si
16	Si	No	Si	No	Si	No	No
17	Si	No	Si	No	Si	No	No
18	Si	No	Si	No	Si	No	No
19	Si	No	Si	No	Si	No	No
20	Si	No	Si	Si	Si	No	No
21	Si	No	Si	Si	Si	No	No
22	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
23	Si	No	Si	No	Si	No	No
24	Si	No	Si	No	Si	No	No
25	Si	No	Si	No	Si	No	No
26	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
27	Si	No	Si	Si	Si	No	No
28	Si	Si	Si	No	Si	No	Si
29	Si	No	Si	No	No	No	No
30	Si	No	Si	No	No	No	No
31	Si	No	Si	No	Si	No	No
32	Si	Si	Si	No	Si	No	No
33	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
34	Si	No	Si	Si	No	No	No
35	Si	No	Si	Si	Si	No	No

CONTINUA →

36	Si	No	Si	No	No	No	No
37	Si	Si	Si	No	Si	No	Si
38	No	No	Si	No	Si	No	No
39	Si	No	Si	No	Si	No	No
40	Si	No	Si	Si	Si	No	No
41	No	No	Si	Si	Si	No	No
42	Si	No	Si	Si	Si	No	No
43	No	No	Si	No	No	No	No
44	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No
45	Si	No	Si	Si	Si	No	No
46	Si	Si	Si	No	Si	No	No
47	Si	No	Si	No	Si	No	Si
48	Si	No	Si	Si	Si	No	No
49	Si	No	Si	Si	Si	No	No
50	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
51	Si	Si	Si	No	Si	No	Si
52	Si	No	Si	No	Si	No	Si
53	Si	No	Si	No	Si	No	No
54	Si	No	Si	No	Si	No	No
55	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
56	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
57	Si	Si	Si	No	Si	No	No
58	No	No	Si	Si	Si	No	No
59	Si	No	Si	No	Si	No	No
60	Si	Si	Si	No	Si	No	No
61	Si						
62	Si	No	Si	Si	Si	No	No
63	Si	Si	Si	No	Si	No	No
64	Si	Si	Si	No	Si	No	No
65	Si	No	Si	No	Si	No	No
66	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
67	No	No	Si	Si	Si	No	No
68	Si	No	Si	No	Si	Si	No
69	No	No	Si	No	Si	No	No
70	Si	No	Si	Si	Si	No	No
71	Si	Si	Si	No	Si	No	No
72	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
73	Si	Si	Si	No	Si	No	No
74	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
75	Si	No	Si	No	Si	No	No

CONTINUA →

76	Si	No	Si	Si	Si	Si	No
77	Si	No	Si	No	Si	No	No
78	Si	No	Si	No	Si	No	No
79	Si	No	Si	Si	Si	No	No
80	Si	No	Si	No	Si	No	No
81	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si
82	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si
83	No	Si	Si	No	Si	Si	Si
84	No	No	Si	No	Si	No	No
85	No	Si	Si	Si	Si	No	No
86	Si	No	Si	No	Si	No	No
87	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No
88	Si	No	Si	Si	Si	No	No
89	Si	No	Si	No	Si	No	No
90	Si	Si	Si	No	Si	No	Si
91	No	Si	Si	Si	Si	No	No
92	Si	No	Si	Si	Si	Si	No
93	Si	No	Si	No	Si	No	No
94	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
95	Si	No	Si	No	Si	Si	No

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se procederá a realizar un tratamiento estadístico con los resultados obtenidos para plantear diferentes tipos de gráficos, de tal manera que se pueda explicar de una forma sencilla y rápida lo que se ha obtenido en las inspecciones realizadas. Es importante mencionar que también se propondrá una ecuación que permita el cálculo de los periodos de vibración de estructuras construidas de manera informal.

6.1 Análisis de la muestra estudiada.

En la Figura 144, se aprecia el porcentaje encontrado con relación a los números de piso que posee la muestra estadística de viviendas del sector 1 del barrio Solanda, en la que se destacan las viviendas de 2 y 3 pisos con 45.26% y 47.37%, respectivamente, ubicando a las viviendas de 1, 4, 5 pisos con un porcentaje menor al 6% del total. Es importante recalcar que existe una vivienda de 4 pisos y tres de 5 pisos que previamente fueron derrocadas del proyecto inicial del barrio Solanda, para iniciar una construcción nueva.



Figura 144. Viviendas encontradas en el Sector 1 del barrio Solanda.

6.2 Análisis de las patologías encontradas.

6.2.1 Grietas

En la Figura 145 se aprecia que en el 89.47% de las 95 viviendas analizadas, se identificaron grietas en mampostería, y tan sólo el 10.53% es decir 10 de las viviendas analizadas, se encontraban sin muestra de agrietamientos visibles, lo cual indica el alto porcentaje de daño que están teniendo los inmuebles del sector 1 del barrio Solanda. Es importante mencionar son producto de un asentamiento diferencial del suelo, lo que es notorio pues al ingresar en las viviendas se siente un desnivel en el piso. También se puede apreciar hundimientos en veredas y calles.



Figura 145. Viviendas con presencia de grietas en el Sector 1 del barrio Solanda.

6.2.2 Humedad.

La Figura 146, indica que existe una gran cantidad de viviendas afectadas por problemas de humedad, teniendo así 38 viviendas, equivalentes al 40.00 % que poseen rastros de daños en mamposterías y losas. Los mismos que no han podido ser controlados, dado que aparecen con recurrencia. Caso contrario sucede con las 57 viviendas restantes, equivalentes al 60% de la muestra, en las cuales no se han registrado problemas de humedad.



Figura 146. Viviendas con presencia de humedad en el Sector 1 del barrio Solanda.

6.2.3 Golpeteo

La figura 147, indica que el golpeteo es una de las patologías en la que el 100% de las viviendas que equivalen a las 95 inspeccionadas en este proyecto de investigación poseen riesgo de enfrentarse a este problema ante un evento sísmico, esto ocurre puesto que en este sector las viviendas en su totalidad son adosadas.

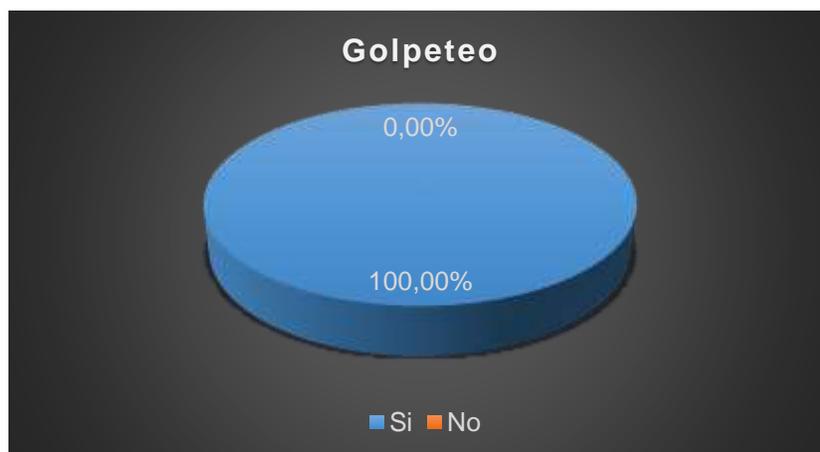


Figura 147. Viviendas con riesgo de golpeteo entre edificios en el Sector 1 del barrio Solanda.

6.2.4 Torsión

La torsión, a pesar de ser un problema grave es común. En la figura 148, se aprecia que el 44.21% de viviendas analizadas poseen problemas de torsión, haciendo que estas viviendas sean muy vulnerables ante un evento sísmico, mientras que el 55.79% de viviendas no poseen esta patología.

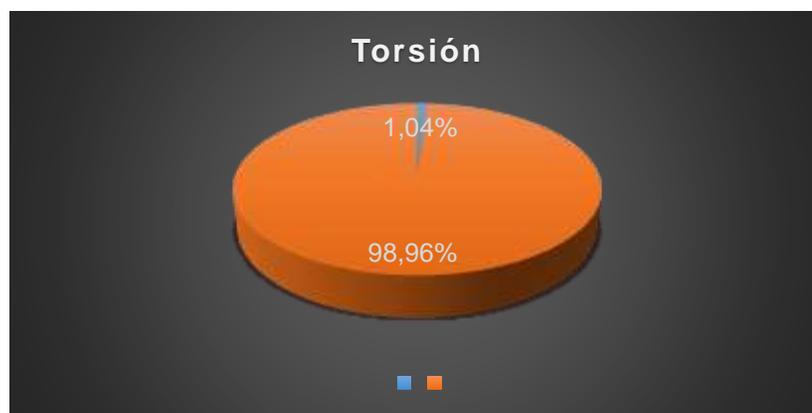


Figura 148. Viviendas con presencia de torsión en el Sector 1 del barrio Solanda.

6.2.5 Parapetos.

En la Figura 149, se aprecia que el porcentaje del riesgo de caída de parapetos ante un evento sísmico es de 92.63%. Esto se produce dado que, en las viviendas inspeccionadas, existen antepechos en el último nivel, los mismos que no han sido construidos con supervisión técnica y en su totalidad no poseen un refuerzo que ancle la mampostería con algún elemento estructural. Es importante destacar que sólo un 7.37% de viviendas inspeccionadas no poseen este riesgo, dado que estas estructuras no poseen losas de cubierta accesibles, por lo tanto, no se han construido antepechos.



Figura 149. Viviendas con presencia de parapetos en el Sector 1 del barrio Solanda.

6.2.6 Columna Corta.

La patología de columna corta, se debe evitar en cualquier tipo de construcción, por el problema que conlleva su comportamiento frente a un evento sísmico. En la Figura 150, a pesar de obtener un porcentaje bajo de viviendas con esta patología, se tiene riesgo puesto que lo ideal es que ninguna vivienda se construya de esta manera, para evitar daños graves en estructuras frente a un evento sísmico.

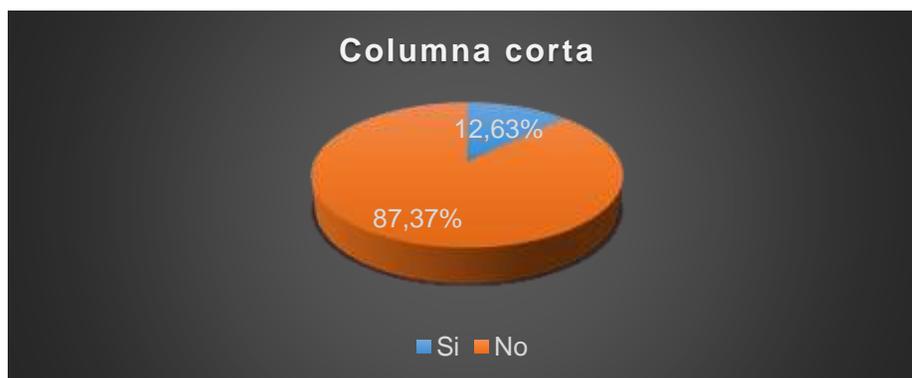


Figura 150. Viviendas con presencia de parapetos en el Sector 1 del barrio Solanda.

6.2.7 Desprendimiento de recubrimientos.

Esta patología se la toma en cuenta en este proyecto de investigación, puesto que, a causa de fisuras, grietas y humedades, empiezan a desprenderse los recubrimientos, tanto en mamposterías como en losas. En la figura 151 se aprecia como el 18.84% de viviendas han tenido este problema de manera recurrente, ya que según información levantada en las inspecciones se corrige la falla, pero nuevamente surge, empezando con fisuras posteriormente grietas que finalmente se terminan desprendiendo el enlucido. Mientras que el 83.16%, aún no ha tenido este problema, pero se muestran temerosos pues saben del problema en las viviendas de sus vecinos.



Figura 151. Viviendas con problemas de desprendimiento de recubrimientos en el Sector 1 del barrio Solanda.

6.3 Análisis de los periodos de vibración.

En la Figura 152, se muestra los periodos de vibración mínimos, medios y máximos del sentido de análisis crítico (Eje Y) con relación al número de pisos, con el fin de determinar una ecuación que permita encontrar dicho periodo de vibración, se traza una línea de tendencia con respecto a los valores promedios y mínimos, obteniendo una ecuación para cada caso de análisis.

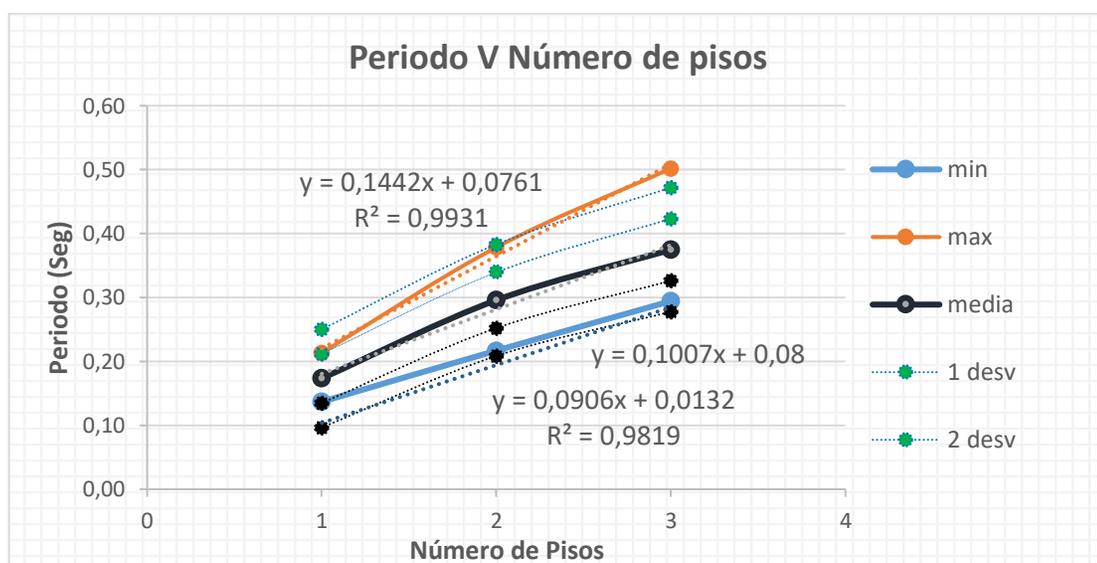


Figura 152. Periodo de vibración vs número de pisos.

En la Figura 153, se presenta el gráfico de los periodos de vibración en función del número de patologías estructurales para viviendas de 2 pisos. De esta manera se determina la relación entre las variables, pues al aumentar el número de patologías aumenta el periodo fundamental de vibración. También se encuentra que la mayor cantidad de viviendas de dos pisos poseen de 2 a 3 patologías.

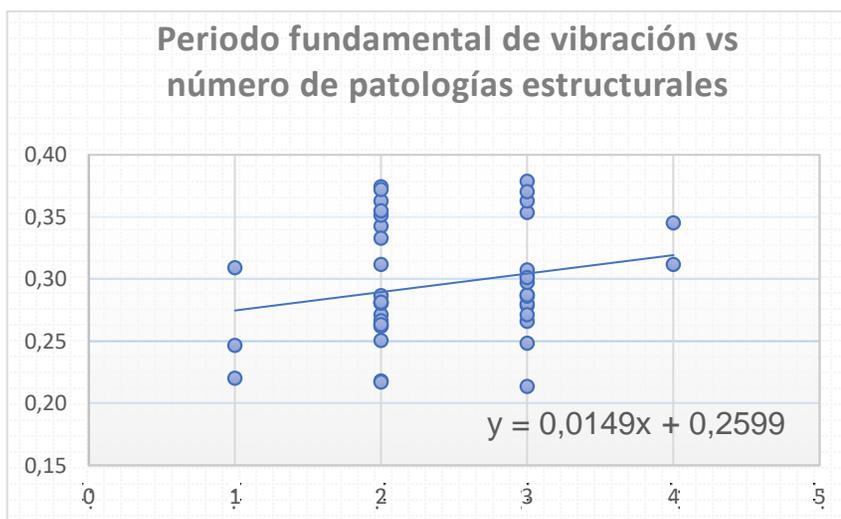


Figura 153. Periodo fundamental de vibración vs número de patologías estructurales en viviendas de 2 pisos.

En la Figura 154, se presenta el gráfico de los periodos de vibración en función del número de patologías estructurales para viviendas de 3 pisos. De esta manera se determina la relación entre las variables, pues al aumentar el número de patologías aumenta el periodo fundamental de vibración. También, se encuentra que la mayor cantidad de viviendas de 3 pisos poseen de 2 a 3 patologías.

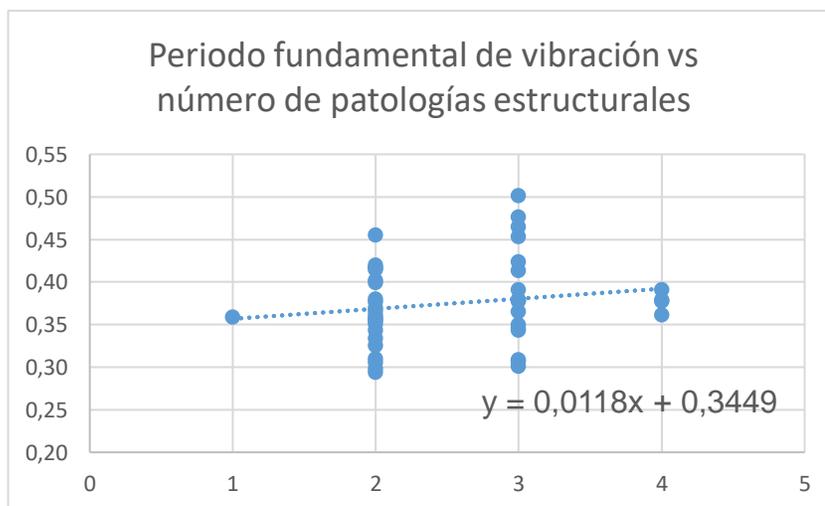


Figura 154. Periodo fundamental de vibración vs número de patologías estructurales en viviendas de 3 pisos.

6.4 Análisis del índice de vulnerabilidad H/T.

En la Figura 155, se muestra la cantidad de viviendas que han obtenido los diferentes valores de índices de vulnerabilidad. Resaltando que 71 estructuras analizadas se encuentran en un rango menor a 20 lo que implica que sean extremadamente flexibles, consecuencia de ello se catalogan como altamente vulnerables. Pues según la teoría estas estructuras presentarán problemas relacionados al cumplimiento de desplazamientos que ha planteado las normas de la construcción. Caso similar presentan las 24 viviendas restantes que poseen un índice de vulnerabilidad mayor a 20, esto hace que se las catalogue como flexibles, implicando que estas estructuras van a sufrir daños ante un evento sísmico, por ende, son vulnerables.

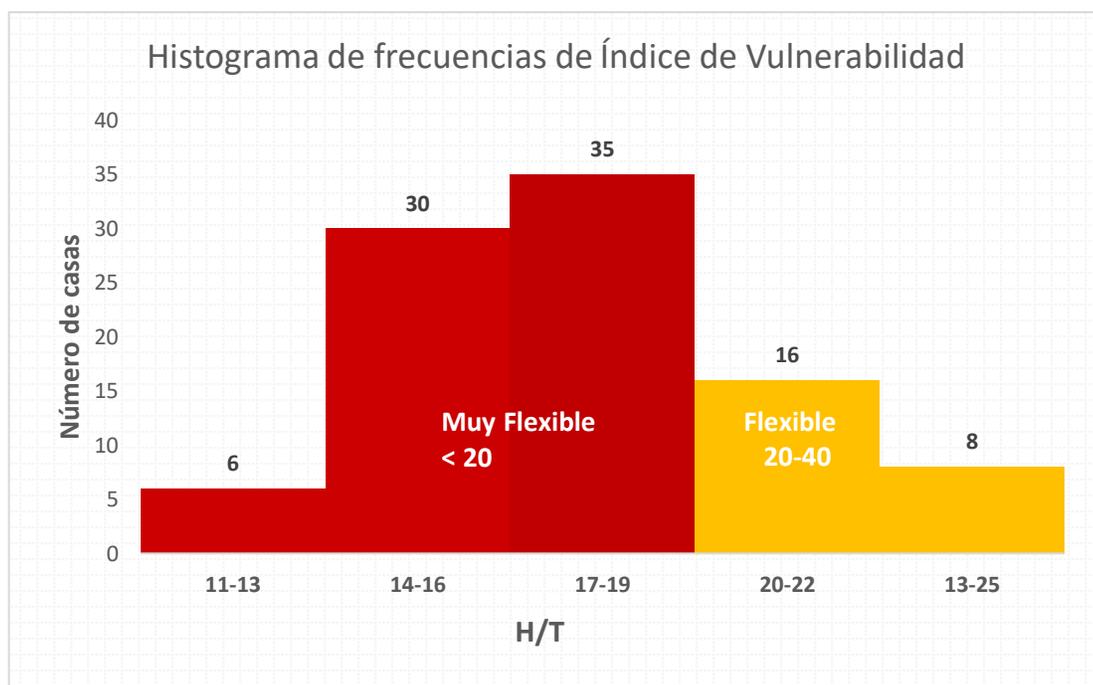


Figura 155. Índice de vulnerabilidad.

6.5 Análisis del índice de vulnerabilidad H/T, distribución normal

En la figura 156 y en la figura 157, se muestra la distribución normal encontrada para el índice de vulnerabilidad asociado a viviendas de 2 pisos, teniendo una media de 17, lo cual es realmente bajo pues la mitad de viviendas es menor a 20, lo que permite catalogarles como muy flexibles.

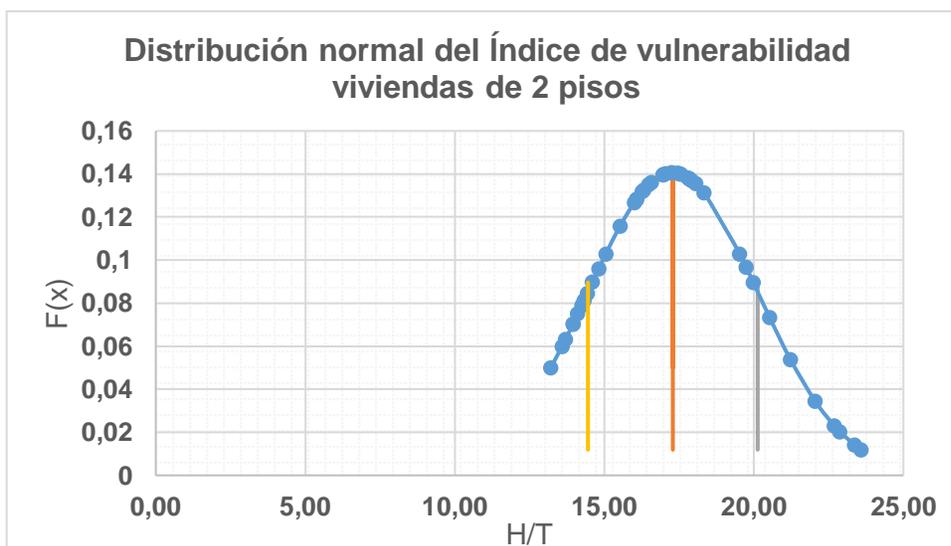


Figura 156. Distribución normal del Índice de vulnerabilidad viviendas de 2 pisos.

En la Figura 157, se muestra la distribución normal encontrada para el índice de vulnerabilidad asociado a viviendas de 3 pisos, teniendo una media de 19, lo cual es realmente bajo pues la mitad de viviendas es menor a 20, lo que permite catalogarles como muy flexibles.

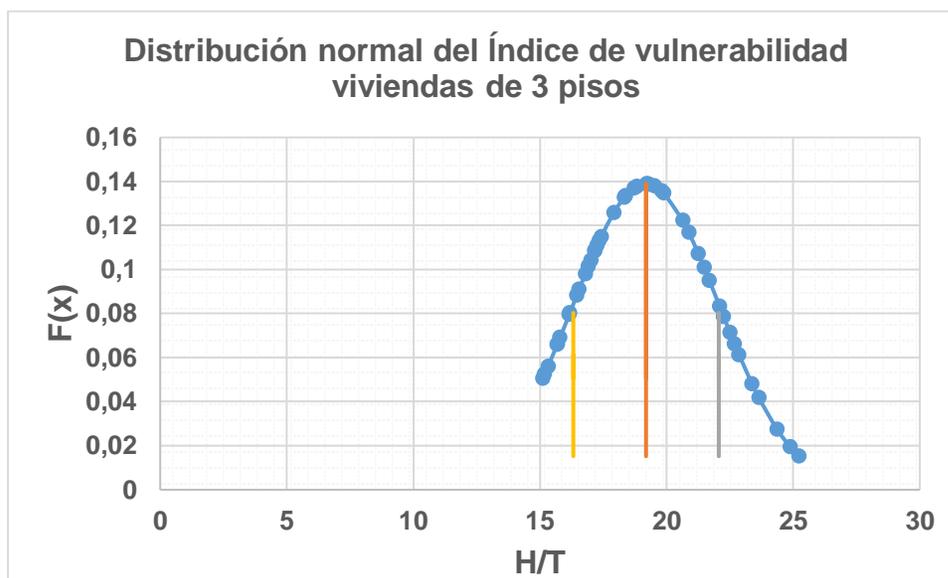


Figura 157. Distribución normal del Índice de vulnerabilidad viviendas de 3 pisos.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

El estudio de los antecedentes sísmico y geológico del Distrito Metropolitano de Quito, nos indica que está situado sobre un sistema de fallas activas, lo cual lo hace propenso ante eventos sísmico de magnitudes superiores a los 6 grados, que afectan a la ciudad en promedio cada 50 años.

La clasificación del suelo del Barrio de Solanda, por la naturaleza de su conformación, permite que se clasifique como un suelo blando o tipo D.

El barrio de Solanda se encuentra asentado sobre rellenos de mejoramiento de suelos y escombros, depositados sobre ambientes fluvio lacustres originados por lagunas y lluvias.

Las principales tipologías estructurales encontradas en el proyecto de investigación corresponden a la combinación de dos sistemas constructivos, conformados por mampostería no reforzada en el primer piso y pórticos de hormigón armado en los pisos superiores.

Consecuencia del crecimiento acelerado de la población, se registra un 98% de viviendas de la muestra analizada en el Sector 1 del barrio Solanda en las que se han efectuado ampliaciones sin supervisión técnica.

A pesar de que el proyecto se socializó en la asamblea general del barrio Solanda, existió un pequeño grupo de habitantes que decidieron no abrir las puertas de su vivienda

para que se realice la inspección y el ensayo, ya que desconocen la importancia de la ejecución de estos estudios y el alto impacto que tendrán estos datos para investigaciones futuras.

De la muestra analizada, se encuentra que 89% de viviendas de tres pisos, han sido construidas sobre las viviendas entregadas por el Plan Solanda, que fue planificado con viviendas de un piso con proyección máximo a dos. La construcción informal ha comprometido la vulnerabilidad de estas estructuras puesto que las secciones de los elementos estructurales son deficientes.

Las inspecciones realizadas, han dejado en evidencia patologías, tales como humedad, golpeteo, columna corta, riesgo de caída de parapetos, irregularidad torsional, piso blando, fisuras, grietas y desprendimiento de recubrimientos.

La principal patología encontrada en la totalidad de las viviendas inspeccionadas es el riesgo de golpeteo, debido a que todas las estructuras están adosadas, puesto que no hubo un control en los retiros.

El riesgo de caída que existe en un parapeto al no estar anclado ante un elemento estructural en las viviendas inspeccionadas, se pudo constatar que es del 93% de los casos.

El 44% de viviendas inspeccionadas presentan problemas de irregularidad torsional, principalmente la ubicación del bloque de gradas que genera asimetría en la estructura.

El 40% de viviendas inspeccionadas, presentan problemas de humedad, principalmente por filtración en la parte superior de las estructuras y por capilaridad en la parte inferior de las estructuras.

El 17% de las viviendas inspeccionadas presentan desprendimiento de recubrimientos, debido principalmente a la presencia de grietas recurrentes, agravando este problema el espesor del recubrimiento, dado que un grosor excesivo compromete la flexibilidad.

La presencia de columna corta en las viviendas inspeccionadas es del 13%, debido principalmente a la ubicación de ventanas pequeñas, junto a las columnas.

El principal daño encontrado en las viviendas inspeccionadas son fisuras y grietas en mampostería y elementos estructurales, es evidente puesto que el 93% de los casos de estudio se encuentran afectados. Cabe mencionar que la naturaleza de las grietas responde a asentamientos diferenciales del suelo.

Para viviendas de un piso, se encontraron periodos de vibración que están en el rango de 0.14 s y 0.25 s, para viviendas de dos pisos los periodos de vibración están en el rango de 0.22 s y 0.37 s, para viviendas de 3 pisos se tiene un rango de 0.29 s y 0.50 s. Los valores elevados de estos periodos son una clara evidencia de las patologías estructurales, así como de los daños que han sufrido los elementos estructurales y no estructurales a causa de asentamientos del suelo.

El índice de vulnerabilidad (H/T) que se encuentra con más recurrencia está en el rango de 17 a 22, cabe resaltar que responden a estructuras flexibles y muy flexibles, de alta vulnerabilidad.

Se concluye que el barrio de Solanda es una zona de alta vulnerabilidad debido a la construcción informal sin supervisión técnica. Adicionalmente el problema se agrava por la presencia de asentamientos del suelo

7.2 Recomendaciones

Realizar un estudio que permita adecuar los modificadores de calificación del FEMA P154, ya que su aplicación en zonas de alto riesgo sísmico da como resultado una vulnerabilidad en todos los casos analizados.

Se recomienda usar herramientas de difusión masiva con el fin de informar a la población de la importancia de los estudios de vulnerabilidad sísmica para que brinden las facilidades necesarias para la ejecución de las inspecciones.

Adoptar medidas de reforzamiento estructural en las viviendas inspeccionadas, teniendo como prioridad las estructuras con periodos de vibración excesivamente altos.

Tomar las medidas necesarias para el correcto funcionamiento de los equipos de medición, de manera especial con el acelerómetro por sensibilidad al momento de toma de datos.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar Falconí, R. (2008). *Análisis Sísmico de Edificios*. Quito
- Aguiar, R. (2015). *Espectros de control para la ciudad de Quito-Ecuador*. Quito.
- Aguiar, R. (2017). *Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016*. Quito, Ecuador.
- Aguiar, R. (Enero de 2017). *Espectros de Control para el Valle de los Chillos*. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/312155094>
- Aguiar, R. (2017). *Microzonificación Sísmica De Quito*. Quito: Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Aguiar, R., & Zambrano, V. (2018). *Relation H/T In Structures Of Bahía De Caraquez And The 2016 Earthquake*. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 227-241.
- Aguilar, S. (2005). *Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones*. 333-338. Villahermosa, México: Secretaría de Salud del Estado de Tabasco.
- Almherigh, M. (2014). *Common causes of cracking in masonry walls*. 14, 25-33. Libia.
- Alvarado, A. (2014). *Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity*. AGUPUBLICATIONS.

- Avilés, L. (2013). *Caracterización geológica-geotécnica del sur de la ciudad de Quito*. Quito, Ecuador.
- Beauval, C., Marinière, J., Yepes, H., Audin, L., Nocquet, J., Alvarado, A., . . . Jomard, H. (24 de Abril de 2018). *A New Seismic Hazard Model for Ecuador*. A New Seismic Hazard Model for Ecuador. Quito, Ecuador.
- Beauval, C., Yépes, H., Bakun, W., Egred, J., Alvarado, A., & Singaicho, J. (Junio de 2010). *Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587-1996)*. *Geophysical Journal International*, 181(3), 1613-1633.
- Bluey Technologies Pty Ltd. (2014). *Evaluating Cracking in Concrete*. Sidney.
- Bonett, R. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios*. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. Barcelona.
- Catota, E. (2016). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de la carrera de trabajo socila de la Universidad Central del Ecuador*. Quito.
- Celi, C., Pantoja, J. C., Sosa, D., & Ayala, C. (2018). *Vulnerabilidad sísmica de Quito Ecuador Fase I: Curvas de capacidad de las tipologías estructurales*, Proyecto GEM-SARA. Quito.
- CENAPRED. (2013). *Atlas Nacional de Riesgos*. México, México.
- CEPAL. (2015). *Estimaciones y proyecciones de población a largo plazo 1950-2100 de América Latina*. Santiago, Chile.

- Chunga, K. (2016). *Geología de Terremotos y Tsunami*. Quito, Ecuador: Imprenta y Offset Santa Rita.
- Del Pino, I., & Yépes, H. (1990). *Apuntes para una Historia Sísmica de Quito. Centro Histórico de Quito: Problemática y Perspectivas*, Sene Quito. I. Municipio de Quito y Junta de Andalucía. Min. de Asuntos Exteriores de España. 67-100. Quito.
- Domínguez, M. (05 de 2014). *Períodos de vibración de las edificaciones*. Cali. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/1939/193932724001/>
- EPN. (2016). *Informe Sísmico Especial N°17*. Quito.
- FEMA. (Enero de 2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*. Washington, D.C.
- Font, Y., Segovia, M., Vaca, S., & Theunissen, T. (31 de Enero de 2013). *Seismicity patterns along the Ecuadorian subduction zone: New constraints from earthquake location in a 3-D a priori velocity model*. Seismicity patterns along the Ecuadorian subduction zone: new constraints from earthquake location in a 3-D a priori velocity model.
- GeoHazards International. (1994). *The Quito, Ecuador, earthquake risk management project*. Quito: GeoHazards International.
- Gorosito, R. (1996). *La regularización de los asentamientos como política social y de Estado*, en MVOTMA, "Asentamientos Irregulares", Montevideo. Montevideo, Uruguay.

Guendelman, T., Guendelman, M., & Lindenberg, J. (1997). *Perfil bio-sísmico de edificios*.

VII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica y Primer Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica. La Serena.

Henocho, R. (2007). *Calificación Sísmica De Edificios Altos*. Santiago, Chile.

Jácome, E. (8 de Enero de 2017). *Cabildo busca regular viviendas informales*. Quito, Ecuador: EL COMERCIO.

La Hora. (28 de 07 de 2018). *Lahora.com.ec*. Obtenido de <https://www.lahora.com.ec/quito/noticia/1102174233/65-tecnicos-haran-estudios-de-suelos-en-solanda>

Leceta, A. R. (2012). *Manual de dirección y control de obra*. Guadalajara: Gabinete Técnico. Aparejadores Guadalajara. S.L.U.

Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (2018). *Waspote Plug & Sense: Technical Guide*. Zaragoza.

Mena, A. (Julio de 2010). *Regularización De Los Asentamientos Informales En Quito: Análisis De Las Políticas Públicas*. Quito, Ecuador.

Morales, P. (2012). *Estadística aplicada a las Ciencias Sociales*. Universidad Pontificia Comillas ICAI-ICADE.

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2015). *Atlas De Amenazas Naturales Y Exposición De Infraestructura Del Distrito Metropolitano De Quito*. Quito, Ecuador.

Naya, V., Courboux, F., Bonilla, F., Ruiz, M., Vallée, M., & Yépes, H. (2012). *A large earthquake in Quito(Ecuador): Ground motion simulations and site effects*. 15th World Conference on Earthquake, (pág. 10). Lisbon, Portugal.

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Peligro Sísmico*. Quito, Ecuador.

Pachacama, G., & Proaño, C. (2017). *Plan técnico y de negocios del conjunto residencial alejandría en la ciudad de Latacunga*. Sangolquí, Ecuador.

Parra, H. (2016). *Desarrollos metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador continental y estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Quito*. Madrid, España.

Ramón, P. B. (Diciembre de 2017). *Solanda, el caleidoscopio de la experiencia urbano-barrial*. Quito. Obtenido de <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/13627/2/TFLACSO-2017PBRN.pdf>

Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Tronconoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). *Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador*. Quito: Editora Nacional.

Robert, D., & Metzger, P. (2004). *Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*. En D. Robert, & P. Metzger, *Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito* (pág. 496). Quito: hal-01155465.

- Sarmah, T., & Sutapa, D. (11 de 2017). *Easrquake vulnerability Assessment for RCC Buildings of Guwahati City using Rapid Visual Screening*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705818300377>
- Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda. (2016). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Distrito Metropolitano de Quito No.0127*. Quito, Ecuador.
- SIEV. (2017). *Valori e valutazioni*. La rivista della siev, 17, 67-87.
- Silva, J. (2017). *Guía de reforzamiento para estructuras informales aporticadas según estudio de vulnerabilidad en el Distrito Metropolitano de Quito*. Sangolquí, Ecuador.
- South America Risk Assessmenr. (14 de Agosto de 2018). *SARA OpenQuake*. Obtenido de <https://sara.openquake.org/risk:exposure>
- United States Geological Survey. (23 de 12 de 2018). *Worldwide Seismic Desing Tool ASCE/SEI-7-10*. Obtenido de <https://asce7hazardtool.online/>
- Universidad Rovira. (2018). *Los riesgos naturales. Virgili*. Obtenido de <http://www.desenvolupamentsostenible.org/es/-los-riesgos-naturales/3-concepto-y-tipo-de-riesgo/3-1-concepto-de-riesgo>
- Valverde, J., Fernández, J., Vaca, T., & Alarcón, F. (2002). *Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito*. Quito.

Yepes, H., Chatelain, L., Fernández, J., Valverde, J., Guillier, B., Dupérier, E., . . .

Bustamante, G. (1994). *El proyecto de reducción del riesgo sísmico en la ciudad de Quito*. Quito.

Yépez, F. (01 de 2001). *Últimos avances en la evaluación del riesgo sísmico de Quito y futuros proyectos de mitigación*. Memorias del seminario “Gestión de riesgos y prevención de desastres”, FLACSO, COOPI, 16-28. Quito.