



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y
CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

TEMA: GUÍA DE REFORZAMIENTO PARA ESTRUCTURAS
INFORMALES APORTICADAS SEGÚN ESTUDIO DE
VULNERABILIDAD EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE
QUITO

AUTOR: SILVA CASTILLO, JORGE BRYAN

DIRECTOR: ING. CAIZA SANCHEZ, PABLO ENRIQUE. PhD

SANGOLQUÍ

2017



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“GUÍA DE REFORZAMIENTO PARA ESTRUCTURAS INFORMALES APORTICADAS SEGÚN ESTUDIO DE VULNERABILIDAD EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”**, realizado por el señor **SILVA CASTILLO JORGE BRYAN**, ha sido realizado en su totalidad y analizado por el software anti – plagio, 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 acreditarlo y autorizar al señor SILVA CASTILLO JORGE BRYAN para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Junio 2017

Ing. Pablo Caiza Sánchez Ph.D.

Director del Trabajo de Titulación



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **SILVA CASTILLO JORGE BRYAN**, con cédula de identidad N° 172153421-0, declaro que este trabajo de titulación **“GUÍA DE REFORZAMIENTO PARA ESTRUCTURAS INFORMALES APORTICADAS SEGÚN ESTUDIO DE VULNERABILIDAD EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, Junio 2017

Silva Castillo Jorge Bryan.

C.C 172153421-0



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **SILVA CASTILLO JORGE BRYAN**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“GUÍA DE REFORZAMIENTO PARA ESTRUCTURAS INFORMALES APORTICADAS SEGÚN ESTUDIO DE VULNERABILIDAD EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Junio 2017



Silva Castillo Jorge Bryan.

C.C 172153421-0

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme sus bendiciones, en especial en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi madre, Marlene, mi ángel, que desde el cielo me llena de aliento, fuerza y bendiciones en el día a día. Te amo madre.

A mi padre, Alfredo, a quién debo todo lo que soy.

A Helen Juliana, Matías Sebastián y Martina Rafaela, mis amados sobrinos, quienes iluminan mi vida con sus ocurrencias, sonrisas y recuerdos.

A mis hermanos, quienes siempre tuvieron una palabra de aliento, consuelo y consejo, siempre precisa y certera en cada ocasión.

A mi novia, Carolina, con quién he compartido momentos llenos de alegrías, y he aprendido lo valioso de un sentimiento puro y noble como el que nos une. Mi complemento ideal y apoyo incondicional en mi diario vivir.

Jorge Bryan Silva

AGRADECIMIENTO

A Dios, por llenarme de bendiciones y permitirme cumplir una etapa más en mi vida.

A mi madre, Marlene, por haber sido la mejor madre del mundo, la que siempre confió en mí y bendice mi camino desde el cielo. Te llevo siempre en mi corazón.

A mi padre, Alfredo, quién con su ejemplo y dedicación diaria me inculcó valores y amor, por el estudio y esta carrera.

A mi novia, Carolina, por su apoyo incondicional en todo momento, sus palabras de aliento, su confianza y compañía. Gracias por compartir día a día conmigo y tener la oportunidad de crecer personal y profesionalmente juntos.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por ser mi segundo hogar durante mis años estudiantiles.

A todos los docentes que conforman la Carrera de Ingeniería Civil por su conocimiento, dedicación, tiempo y esfuerzo a lo largo de todos los semestres cursados.

Al Doctor Pablo Enrique Caiza Sánchez, tutor de este proyecto de investigación, por siempre atender a mis requerimientos y estar presto para solventarlos; por su conocimiento y entrega los cuales me permitieron culminar este trabajo exitosamente.

A Mauricio Terán, por ser partícipe activo de este trabajo.

A mis amigos y familiares que son pilares fundamentales en mi vida. Gracias por estar ahí.

Jorge Bryan Silva

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO 1: PROBLEMA	1
1.1 Planteamiento y Formulación del Problema.....	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Justificación	5
1.4 Importancia.....	6
1.5 Objetivos.....	7
1.5.1 Objetivo General	7
1.5.2 Objetivos Específicos	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Global Earthquake Model (GEM)	9
2.2 Estudios del GEM en diferentes regiones.	14
2.2.1 África.....	14
2.2.2 Europa	14
2.2.3 Medio Oriente.....	15
2.2.4 Asia Central.....	17
2.2.5 Sudamérica.....	18
2.2.6 Asia Sudoriental y el Pacífico	19
2.2.7 Asia del Sur.....	19
2.2.8 Asia Noreste.....	19
2.3 OpenQuake: Plataforma para la evaluación del riesgo sísmico.	20

2.4	Proyecto South America Risk Assessment (SARA) y sus cinco ejes de investigación.	22
2.4.1	Experiencia Peruana	52
2.4.2	Experiencia Colombiana.....	58
2.4.3	Experiencia Chilena	69
2.5	El D.M.Q y sus ordenanzas a lo largo de la historia.	84
2.6	Quito y sus problemas de vulnerabilidad Sísmica	86
2.7	El sistema de fallas de Quito.....	89
2.8	Calidad de estructuras presentes en el D.M.Q.....	92
2.9	Construcciones informales en el D.M.Q.....	93
2.10	Deficiencias Estructurales de Construcciones Informales en el D .M.Q.	94
2.11	Análisis de Vulnerabilidad Sísmica.	98
2.12	Técnicas de Reforzamiento y su base teórica.....	100
2.13	Parámetros de análisis estructural a controlar.	102
2.14	Análisis por fuerzas. Comparación espectros NEC 15 Y ASCE 7- 10, respecto al “pushover”.....	104
2.14.1	Espectro de Aceleraciones del ASCE 7-10	105
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CONSTRUCCIONES APORTICADAS INFORMALES		
111		
3.1	Datos Preliminares.	111
3.1.1	Estructuras de 3 pisos de altura.	111
3.1.2	Estructuras de 2 pisos de altura.	116
3.2	Características Estructurales según SARA.....	122
3.3	Creación del Modelo en ETABS y SAFE.....	122
3.3.1	Modelo Vivienda Sr. Carrasco Valarezo Cesibel.	126
3.3.2	Modelo Vivienda Sr. Bonifaz Mario.....	127
3.3.3	Modelo Vivienda Sra. Flores Angélica.	129
3.3.4	Modelo Vivienda Sr. Yupanqui Enrique.	130
3.3.5	Modelo Vivienda Sr. Chicaiza Luis.	132
3.3.6	Modelo Vivienda Sr. Chango Rafael.....	133
3.3.7	Modelo Vivienda Sra. Palaquibay Luzmila.....	135
3.3.8	Modelo Vivienda Sr. Rodríguez José.	136

3.3.9	Modelo Vivienda Sr. Mora Galo.....	138
3.3.10	Modelo Vivienda Sr. Chávez José.....	139
3.4	Análisis de Resultados.....	141
3.4.1	Estructuras de tres pisos.....	142
3.4.2	Estructuras de dos pisos.....	147
3.5	Resultados de cimentación.....	154
3.6	Propuestas de Refuerzo.....	157
CAPÍTULO 4: CÁLCULO DE PROPUESTAS DE REFUERZO.....		159
4.1	Refuerzo en Columnas.....	159
4.1.1	Encamisado de Hormigón.....	160
4.1.2	Encamisado con Fibras de Carbono CFRP.....	165
4.2	Refuerzo en Vigas.....	171
4.2.1	Momento Nominal de Viga sin Refuerzo.....	172
4.2.2	Refuerzo de viga con perfiles metálicos.....	173
4.2.3	Refuerzo de viga a flexión con fibra de carbono CFRP.....	183
4.3	Refuerzo en Losas.....	188
4.4	Refuerzo en Cimentación.....	191
4.5	Enchapado en paredes de Mampostería.....	199
CAPÍTULO 5:		
ANÁLISIS ESTRUCTURAL CONSIDERANDO REFUERZOS.....		204
5.1	Datos para el Análisis.....	204
5.2	Creación del Modelo en Etabs y Safe.....	210
5.3	Análisis de Resultados.....	226
5.3.1	Estructuras de tres pisos.....	227
5.3.2	Estructuras de dos pisos.....	232
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		241
6.1	Conclusiones.....	241
6.2	Recomendaciones.....	246
CAPÍTULO 7:		
GUÍA DE REFUERZO PARA ESTRUCTURAS APORTICADAS.....		247
CAPÍTULO 8: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		273
CAPÍTULO 9: ANEXOS.....		278

9.1	ANEXO 1	278
9.2	ANEXO 2	282
9.3	ANEXO 3	285
9.4	ANEXO 4	286
9.5	ANEXO 5	296
9.6	ANEXO 6	305

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 .Resumen de Proyectos Regionales involucrados en SARA.....	24
Tabla 2. Tipologías Estructurales Predominantes en Ecuador.....	38
Tabla 3. Tipologías Estructurales Según Categorización de Calidad, según SARA	41
Tabla 4. SARA Organización Administrativa Sub-nacional de Países.....	45
Tabla 5. Subtemas, Descripciones y Variables del tema Población, según SARA.....	47
Tabla 6. Subtemas, Descripciones y Variables del tema Educación, según SARA.....	47
Tabla 7. Subtemas, Descripciones y Variables del tema Salud, según SARA	48
Tabla 8. Tipologías estructurales comunes en Perú, según SARA	53
Tabla 9. Resumen del estudio SARA en ciudades de Colombia.....	68
Tabla 10. Tipologías usadas en el estudio de SARA en Chile	70
Tabla 11. Datos de Cobertura en Chile, según SARA.....	74
Tabla 12. Resumen de Ordenanzas Municipales en Quito.	85
Tabla 13. Resumen de datos de magnitudes sísmicas asociados a segmentos de fallas del QFS.	91
Tabla 14. Reforzamiento Estructural sugerido de acuerdo a puntaje obtenido del formato de evaluación.....	99
Tabla 15. Valores de onda de corte por tipo de suelo según ASCE 7-10 y NEC - 15.....	106
Tabla 16. Parámetros para la elaboración del espectro del código ASCE 7-10.....	108
Tabla 17. Parámetros para la elaboración del espectro NEC -15 y comparación con la norma ASCE 7-10	109
Tabla 18. Resumen de Viviendas de 3 pisos de altura estudiadas	111
Tabla 19. Resumen de Viviendas de 2 pisos de altura estudiadas	116
Tabla 20. Resultado del análisis elástico de las viviendas	141

Tabla 21. Parámetros calculados del proceso de Bilinealización de viviendas de tres pisos.	144
Tabla 22. Ubicación Punto de Desempeño modelos de tres pisos.	147
Tabla 23. Parámetros calculados del proceso de Bilinealización de viviendas de dos pisos.	149
Tabla 24. Ubicación Punto de Desempeño modelos de dos pisos.	151
Tabla 25. Resumen de la evaluación rápida de las viviendas en estudio. .	158
Tabla 26. Propiedades del material SikaWrap 600C.	166
Tabla 27. Parámetros necesarios para el cálculo del número de fibras. ...	167
Tabla 28. Características del perfil IPN 160.	174
Tabla 29. Propiedades del material Sika Carbodur S52.	183
Tabla 30. Parámetros para el cálculo del reforzamiento de la viga con CFRP.	184
Tabla 31. Valores de Luz Libre en modelos de análisis.	190
Tabla 32. Solicitaciones para el diseño de la cimentación.	192
Tabla 33. Desplazamiento y Fuerza en modelos estudiados de mampostería enchapada.	205
Tabla 34. Comparación de Derivas Inelásticas en modelos de la vivienda de la Sra. Flores.	208
Tabla 35. Resultado del análisis lineal de viviendas reforzadas.	226
Tabla 36. Parámetros calculados del proceso de Bilinealización de viviendas de tres pisos después del reforzamiento.	228
Tabla 37. Ductilidad del Sistema Antes y después de reforzamiento. Viviendas de tres pisos.	229
Tabla 38. Ubicación del punto de desempeño de las viviendas de 3 pisos, antes y después del reforzamiento.	230
Tabla 39. Parámetros calculados del proceso de Bilinealización de viviendas de dos pisos después del reforzamiento.	233
Tabla 40. Ductilidad del Sistema Antes y después de reforzamiento. Viviendas de dos pisos.	234

Tabla 41. Ubicación del punto de desempeño de las viviendas de 2 pisos, antes y después del reforzamiento.	235
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Portal de recursos del GEM	10
Figura 2. Evaluación Holística de Riesgo según GEM	11
Figura 3. Socios públicos de GEM alrededor del mundo	13
Figura 4 Modelo en la ciudad de Tyr Bloques de Referencia	17
Figura 5 Modelo de la Plataforma OpenQuake	20
Figura 6 Modelo de Exposición Regional SARA	24
Figura 7. Metodología para modelos de exposición según SARA.....	26
Figura 8. Cuadro de Resultados Regionales según SARA	27
Figura 9. Estadística de Resultados Regionales según SARA.....	28
Figura 10. Estadística de Viviendas según SARA.....	29
Figura 11. Clasificación de construcciones según GEM/SARA	31
Figura 12. Resumen de Tipologías y Materiales de Vivienda según SARA .	32
Figura 13. Materiales Predominantes de Construcción según SARA.....	33
Figura 14. Tendencias en la Población según SARA.....	34
Figura 15. Concentración de Viviendas, Población y Riesgo por región, según SARA	35
Figura 16. Clasificación de construcciones por país, según SARA	37
Figura 17. Parámetros para cálculo del número de Edificios, según SARA .	39
Figura 18. Categorización de Calidad para las tipologías de Edificios, según SARA	41
Figura 19. Área y Costo de reposición promedio por categorización, según SARA.....	43
Figura 20. Clasificación Jerárquica de variables, según SARA.....	46
Figura 21. Estimación de pérdidas anuales promedio, según SARA	50
Figura 22. Datos del censo de Perú 2007, según SARA.....	54
Figura 23. Clasificación de Estructuras en Perú basadas en materiales de construcción, según SARA	55
Figura 24. Clasificación de Estructuras en Perú de acuerdo a SARA	56
Figura 25. Tipologías de viviendas en Perú según SARA	57
Figura 26. Tipologías de viviendas en Lima y Bongara según SARA.....	57

Figura 27. Tipologías de viviendas en Colombia según SARA	58
Figura 28. Costo de reposición de viviendas en Colombia según SARA.....	59
Figura 29. Porcentaje de edificios por tipología en Bogotá, según SARA	61
Figura 30. Resumen de resultados de modelo de exposición en Bogotá, según SARA	62
Figura 31. Información utilizada en cada modelo en Colombia, metodología SARA.....	63
Figura 32. Porcentaje de viviendas por elevación en zonas de Cali, según SARA.....	65
Figura 33. Porcentaje de viviendas por tipología estructural en zonas de Cali, según SARA	66
Figura 34. Porcentaje de viviendas por tipología estructural en municipalidades de Cali, estudio SARA	67
Figura 35. Resumen de resultados de análisis en Cali, según SARA	67
Figura 36. Resumen de resultados de análisis en áreas metropolitanas de Colombia, según SARA	67
Figura 37. Modelo de extrapolación para Iquique, metodología SARA	75
Figura 38. Modelo de extrapolación para Rancagua, metodología SARA....	76
Figura 39. Modelo de extrapolación para Osorno, metodología SARA	77
Figura 40. Tipologías constructivas presentes en Ecuador, según SARA....	78
Figura 41. Resumen de parámetros censales en Ecuador, según SARA	79
Figura 42. Resumen de parámetros censales en Ecuador por tipo de piso, según SARA	79
Figura 43. Tipologías estructurales por material de paredes exteriores y piso en zonas urbanas de Ecuador, según SARA.....	81
Figura 44. Tipologías estructurales por material de paredes exteriores y piso en zonas rurales de Ecuador, según SARA.....	82
Figura 45. Estadística de tipologías estructurales de acuerdo a GEM en Ecuador.	83
Figura 46. Microzonificación Sísmica de Quito.	88
Figura 47. Sistema de Fallas de Quito.....	90

Figura 48. Aplicaciones del reforzamiento con Polímetros	102
Figura 49. Curva esfuerzo – deformación.	103
Figura 50. Curva de capacidad sísmica y factores R_{μ} y R_{Ω}	104
Figura 51. Espectros de respuesta para los códigos ASCE 7-10 y NEC -15. Tipo de Suelo D en Quito	110
Figura 52. Acelerogramas del terremoto de las 18h58 (TL) del 16 de Abril del 2016, orendados con respecto a la distancia epicentral. ...	124
Figura 53. Valores de la máxima amplitud (m/s ²) para cada componente para todos los sitios con un registro disponible.	125
Figura 54. Modelo Matemático de la vivienda Sr. Carrasco Valarezo Cesibel.....	126
Figura 55. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda Sr. Carrasco Valarezo Cesibel.	127
Figura 56. Modelo Matemático de la vivienda del Sr. Bonifaz Mario.	128
Figura 57. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr. Bonifaz Mario.	128
Figura 58. Modelo Matemático de la vivienda de la Sra. Flores Angélica...	129
Figura 59. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda de la Sra. Flores Angélica.	130
Figura 60. Modelo Matemático de la vivienda del Sr. Yupanqui Enrique....	131
Figura 61. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr Yupanqui Enrique.	131
Figura 62. Modelo Matemático de la vivienda del Sr Chicaiza Luis.	132
Figura 63. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr Chicaiza Luis.....	133
Figura 64. Modelo Matemático de la vivienda del Sr Chango Rafael.	134
Figura 65. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr Chango Rafael.	134
Figura 66. Modelo Matemático de la vivienda de la Sra. Palaquibay Luzmila.	135

Figura 67. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda de la Sra. Palaquibay Luzmila.	136
Figura 68. Modelo Matemático de la vivienda del Sr. Rodríguez José.	137
Figura 69. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr. Rodríguez José.	137
Figura 70. Modelo Matemático de la vivienda del Sr. Mora Galo.	138
Figura 71. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr. Mora Galo.	139
Figura 72. Modelo Matemático de la vivienda del Sr. Chávez José.	140
Figura 73. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr. Chávez José.	140
Figura 74. Curvas de Capacidad de las viviendas de 3 pisos.	143
Figura 75. Punto de Desempeño viviendas de 3 pisos.	146
Figura 76. Curvas de Capacidad de las viviendas de 2 pisos.	148
Figura 77. Punto de Desempeño viviendas de 2 pisos.	150
Figura 78. Desplazamiento Nudo 3 sentido X. Vivienda del Sr. Chango Rafael.	152
Figura 79. Resultados del cálculo de Irregularidad Torsional en sentido X.	153
Figura 80. Resultados del cálculo de Irregularidad Torsional en sentido Y.	153
Figura 81. Presión admisible en Cimentación por combinación 1.2 D + 1.6 L, Modelos 3 pisos.	155
Figura 82. Presión admisible en Cimentación, combinación 1.2 D + 1.6 L + Sismo, Modelos 3 pisos.	155
Figura 83. Presión admisible en Cimentación, combinación 1.2 D + 1.6 L Modelos 2 pisos.	156
Figura 84. Presión admisible en Cimentación, combinación 1.2 D + 1.6 L + Sismo, Modelos 2 pisos.	157
Figura 85. Sección de columna de 20 x 30 cm. Opción Section Designer	160
Figura 86. Diagrama de Interacción Columna 20 x 30.	161
Figura 87. Diagrama de Interacción Columna C22, Modelo Vivienda Sr. Chicaiza.	162

Figura 88. Sección de columna encamisada. Opción Section Designer.....	163
Figura 89. Esquema General para el Cálculo del confinamiento en una sección de Columna.....	163
Figura 90. Diagrama de Interacción Columna C21 con refuerzo de CFRP, Modelo Vivienda Sr. Chicaiza.	170
Figura 91. Esquema General Columna C21 con refuerzo de CFRP en section Designer, Modelo Vivienda Sr. Chicaiza.	170
Figura 92. Diagrama de deformaciones y fuerzas internas en sección de viga de 40 x 20 cm. Vivienda Sr. Carrasco.....	172
Figura 93. Diagrama de deformaciones y fuerzas internas en sección de viga compuesta. Vivienda Sr. Carrasco.....	174
Figura 94. Diagrama de deformaciones y fuerzas internas en sección de viga compuesta. Primera Iteración para cálculo de momento Negativo.....	176
Figura 95. Diagrama de deformaciones y fuerzas internas en sección de viga compuesta. Iteración para calcular la localización del Eje Neutro Plástico (ENP).	177
Figura 96. Diagrama de deformaciones y fuerzas internas en sección de viga compuesta. Ubicación de fuerzas de compresión y tensión	178
Figura 97. Esquema de la ubicación de la fuerza de tensión T2.	179
Figura 98. Esquema de la ubicación de la fuerza de compresión C.	179
Figura 99. Esfuerzos cortantes en sección transformada.	181
Figura 100. Espesor mínimo de losas en dos direcciones con vigas entre apoyos.	188
Figura 101. Distribución de Presiones en zapata. Cálculo de corte Unidireccional	194
Figura 102. Perímetro Efectivo para cálculo de corte Bidireccional.....	196
Figura 103. Distribución de Presiones en zapata para el diseño a Flexión.	197
Figura 104. Esquema de ampliación de zapata aislada.	198

Figura 105. Mallas electrosoldadas estándar comercializadas por Ideal Alambrec.....	199
Figura 106. Propiedades del enchapado de mampostería de ladrillo.....	200
Figura 107. Propiedades del enchapado de mampostería de bloque.	200
Figura 108. Mampostería enchapada Vivienda Sr. Carrasco, tramo C-D en eje 1.....	201
Figura 109. Diagrama de Interacción Mampostería Enchapada. Vivienda Sr. Carrasco.	202
Figura 110. Comparación entre el comportamiento de los modelos de mampostería.....	206
Figura 111. Comparación entre curvas de capacidad para la vivienda de la Sra. Flores.	207
Figura 112. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Carrasco Valarezo Cesibel.....	211
Figura 113. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Carrasco Valarezo Cesibel.....	212
Figura 114. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Bonifaz Mario.....	213
Figura 115. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Bonifaz Mario.....	213
Figura 116. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sra. Flores Angélica.....	214
Figura 117. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sra. Flores Angélica.....	215
Figura 118. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Yupanqui Enrique.	216
Figura 119. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Yupanqui Enrique.	216
Figura 120. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Chicaiza Luis.	217

Figura 121. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Chicaiza Luis.....	218
Figura 122. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Chango Rafael.	219
Figura 123. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Chango Rafael.	219
Figura 124. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sra. Palaquibay Luzmila.	220
Figura 125. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sra. Palaquibay Luzmila.....	221
Figura 126. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Rodríguez José.	222
Figura 127. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Rodríguez José.....	222
Figura 128. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Mora Galo. ..	223
Figura 129. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Mora Galo.	224
Figura 130. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Chávez José.	225
Figura 131. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Chávez José.	225
Figura 132. Curvas de Capacidad modelos reforzados. Viviendas 3 pisos. ..	228
Figura 133. Ubicación de períodos fundamentales de las viviendas de tres pisos antes y después del reforzamiento.	231
Figura 134. Curvas de Capacidad modelos reforzados. Viviendas 2 pisos. ..	232
Figura 135. Resultados del cálculo de Irregularidad Torsional en sentido X. Viviendas Reforzadas.....	236
Figura 136. Resultados del cálculo de Irregularidad Torsional en sentido Y. Viviendas Reforzadas.....	236
Figura 137. Esfuerzos en Cimentación, después de su refuerzo. Combinación 1.2 D + 1.6 L. Viviendas 3 pisos.	238

Figura 138. Esfuerzos en Cimentación, después de su refuerzo. Combinación 1.2 D + 1.6 L + Sismo. Viviendas 3 pisos.	239
Figura 139. Esfuerzos en Cimentación, después de su refuerzo. Combinación 1.2 D + 1.6 L. Viviendas 2 pisos.	239
Figura 140. Esfuerzos en Cimentación, después de su refuerzo. Combinación 1.2 D + 1.6 L + Sismo. Viviendas 2 pisos.	240

RESUMEN

La migración de familias hacia la ciudad de Quito en las décadas de los 80's y 90's ha creado la necesidad del incremento de unidades habitacionales en sectores periféricos de la urbe. Sin respuesta oportuna de las autoridades de turno, la población se ha visto en la necesidad de optar por las construcciones informales, las mismas que no se han realizado bajo la supervisión y diseño de un profesional. Las deficiencias estructurales de estas viviendas, sumado al riesgo de la ciudad ante eventos sísmicos crean una alta vulnerabilidad en sectores tanto al norte como al sur de la capital. El presente trabajo tiene como tema principal, brindar una guía de reforzamiento estructural para viviendas de hormigón armado aporricadas, basado en un análisis visual rápido de la infraestructura; el cual permita en base a una puntuación determinar posibles combinaciones de reforzamientos. El formato de evaluación fue basado en parámetros del estudio SARA, formatos de evaluación rápida del UTC-20 y CENAPRED de México. Mientras que las viviendas estudiadas (10 en total) se analizaron en el rango lineal y no lineal a través de curvas de capacidad (producto de un análisis Pushover) Los reforzamientos previstos constituyen: encamisados de hormigón, reforzamiento de columnas con CFRP, refuerzo de vigas mediante perfiles metálicos, refuerzo de vigas mediante CFRP, refuerzo de mampostería mediante enchapado. Finalmente se comparan los resultados de las viviendas antes y después de su reforzamiento.

PALABRAS CLAVE:

INFORMALIDAD

VULNERABILIDAD

REFORZAMIENTO

REFUERZO EN MAMPOSTERIA

FIBRAS DE CARBONO

CURVA DE CAPACIDAD

RANGO NO LINEAL

ABSTRACT

The migration of families to the city of Quito in the 80's and 90's has created the necessity to increase housing units in peripheral sectors of the city. Without a timely response from the authorities on duty, the population has been forced to opt for informal constructions, the same ones that haven't been built under the supervision and design of a professional.

The structural deficiencies of these housings, added to the city's risk of seismic events, create a high vulnerability as much the north and south of the capital.

The main objective of this work is to provide a structural reinforcement guide for reinforced concrete housings based on a fast visual analysis of the infrastructure; which allows, on the basis of a score, to determine possible combinations of reinforcements.

The evaluation format was based on SARA study parameters, UTC-20 fast assessment formats, and CENAPRED from Mexico. While the studied housings (10 in total) were analyzed in the linear and non-linear range through capacity curves (product of a Pushover analysis)

The foreseen reinforcements include: concrete reinforcement and columns with CFRP, reinforcement of beams with metal iron edges, reinforcement of beams with CFRP, rubblework reinforcement by veneering. Finally, the results of households are compared before and after their reinforcement.

KEY WORDS:

INFORMALITY

VULNERABILITY

REINFORCEMENT

RUBBLEWORK REINFORCEMENT

CARBON FIBERS

CAPACITY CURVE

NONLINEAR RANGE

CAPÍTULO 1

PROBLEMA

1.1 Planteamiento y Formulación del Problema

A lo largo de las últimas décadas el Distrito Metropolitano de Quito ha sufrido un incremento considerable en cuanto a sus datos demográficos, producto principalmente de la migración de asentamientos humanos provenientes de la sierra central y de la parte norte del país, los mismos que han aumentado la demanda de vivienda en las zonas periféricas de la urbe.

Dicho incremento de vivienda junto con la precaria economía de este sector de la población ha permitido que el problema de la informalidad en la ciudad se acreciente de manera significativa, convirtiendo a estas zonas en las llamadas “zonas de riesgo” (término adoptado por parte de las autoridades del cabildo) y en los focos de preocupación después de los eventos sísmicos de los últimos años.

Según datos revelados en los distintos medios de comunicación (Diario El Comercio, 08 de Enero 2017), se ha dado a conocer que la capital posee alrededor del 60% de sus viviendas en la informalidad, esto quiere decir estructuras poco seguras ante eventos naturales tales como un sismo de magnitud considerable las mismas que no han sido construidas bajo criterios normativos o aprobación de planos, que de alguna manera aseguren un correcto funcionamiento estructural; sin duda alguna este precario control por parte de las autoridades desde años atrás se ha convertido en una bomba de tiempo que pone en riesgo a los habitantes de esta ciudad que cuenta con alrededor de 2 millones de vidas.

Desde el año 2006 en la alcaldía se han implementado ordenanzas que buscan regular este tipo de edificaciones teniendo resultados poco favorables puesto que a pesar de tres procesos regulatorios la informalidad sigue siendo alta. Una de las principales falencias de dichos procesos son las altas tasas económicas que el propietario debía asumir durante la regularización, a pesar

que el monto estaba regido únicamente por incumplimiento de normativas arquitectónicas y urbanísticas.

Una constante ha sido la falta de regulación de este tipo de edificaciones en la parte estructural, en muchos casos dando libertad al propietario de ampliar su vivienda únicamente con el correspondiente pago a la administración de turno. Esta irresponsabilidad compartida tanto de propietarios como de autoridades no ha hecho más que potencializar la vulnerabilidad sísmica de las zonas en riesgo retrasando cada vez más la solución a una realidad que se ha convertido en la principal preocupación tanto de propios como de extraños después de la cruel situación que el país tuvo que soportar en la zona costera tras el terremoto en Abril del año 2016.

Ante esto, es imperiosa la necesidad de un marco regulatorio que determine la realidad estructural de la ciudad, es decir, los diferentes sistemas constructivos de las viviendas y sus diferentes opciones de reforzamiento o en el caso más complejo la reubicación de las mismas. Cabe recalcar que se han realizado cinco diferentes estudios de microzonificación sísmica de Quito los mismos que dan idea de la tipología de suelo presente en la ciudad, estos estudios son:

- Primer estudio de Microzonificación realizado por la Politécnica Nacional en 1994, se obtuvo clasificación de suelos en la ciudad.
- Segundo estudio de Microzonificación desarrollado por el Instituto Francés de Cooperación ORSTOM en 1997, se obtuvo factores de sitio y frecuencias de vibración de suelos.
- Tercer estudio lo desarrolló la Politécnica Nacional en el 2002, se amplió el área de estudio con respecto al estudio realizado en 1994 y se clasificó los suelos de acuerdo al CEC-2000.
- El cuarto estudio lo realizó la compañía consultora ERN, (Evaluación de Riesgos Naturales en América Latina) en base a los estudios de suelos pertenecientes al análisis del diseño del Metro de

Quito otorgados por el Distrito Metropolitano de Quito a la consultora antes mencionada.

- El quinto estudio de microzonificación fue realizado por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y el Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH en el año 2012-2013, en donde se determinan factores de cercanía y se modifica la forma del espectro de diseño básicamente por la presencia de las fallas ciegas de Quito.

Desde el año 2016 se ha trabajado con mayor énfasis en proponer una nueva ordenanza que englobe la complejidad de estos sistemas constructivos partiendo de un análisis de vulnerabilidad y un estudio estructural completo para que el reforzamiento de ser el caso se convierta en algo obligatorio y no voluntario como en los anteriores procesos; sin embargo la tarea recién empieza y se necesita toda la ayuda posible tanto de la academia, las autoridades y la población en general para dar un paso gigante hacia la seguridad y cambiar esta realidad que sumerge a más de la mitad de las familias quiteñas en la inseguridad de la informalidad.

1.2 Antecedentes

El riesgo ante eventos naturales siempre ha estado latente a lo largo de la existencia de la humanidad, por este motivo el hombre ha intentado entender el comportamiento de la naturaleza con el fin de “predecir” su ocurrencia. Lamentablemente la ciencia no ha podido llegar a esa respuesta dejando a la sociedad con la incertidumbre del cuando y donde sucederán estos eventos.

El desarrollo de la ciencia y la investigación permite el desarrollo de estudios que si bien no predicen situaciones naturales como sismos, deslizamientos de tierra, inundaciones, etc., pueden informar y concienciar a la gente en el riesgo que cierta población, ciudad o país presenta ante un acontecimiento de magnitudes importantes como: erupciones volcánicas, flujos de lodo, deslizamientos de tierra, inundaciones o movimientos telúricos.

El 16 de Abril de 2016 se produjo un evento sísmico en las costas del territorio continental ecuatoriano, un sismo de 7.8 en la escala sísmica de Richter (cuyo epicentro se localizó en el cantón de Pedernales) sacudió y desmoronó varias de las edificaciones en las provincias de Manabí y Esmeraldas provocando la muerte de 671 personas y más de 8600 personas damnificadas según datos oficiales del MIDUVI. Estas cifras se relacionan con un problema muy serio como es la pobre calidad en la construcción en las viviendas del sector: falta de supervisión y diseño técnico, materiales inadecuados y errores en la concepción arquitectónica y estructural que incrementaron el problema.

Siendo el Ecuador un país altamente tectónico, el espejo de Manabí y Esmeraldas podrían ser reflejados en otras provincias y ciudades en donde las construcciones en su mayoría no obedecen a parámetros técnicos normados y controlados.

Al estar asentada sobre 4 fallas y rodeado por 20 volcanes, el DMQ está expuesto a múltiples amenazas naturales (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015); el riesgo es una condición latente y presente en el diario vivir en nuestra ciudad. Quito por su ubicación geográfica presenta múltiples condiciones de riesgo como: sismos, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, inestabilidad de taludes existentes, etc. Un factor importante constituye la ubicación de las viviendas y demás edificaciones dentro de zonas poco seguras o de riesgo, las mismas que no hacen más que ahondar el problema y aumentar desmesuradamente el riesgo ante una catástrofe.

El rápido crecimiento de la población del D.M.Q ha provocado el incremento de las necesidades de vivienda en los últimos años, las administraciones zonales que han registrado un mayor crecimiento poblacional en el período comprendido entre el año 2001 – 2010 son: Calderón (40,80%), y Quitumbe (26,88%), al norte y sur respectivamente, (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015) estos sitios son lugares de asentamientos importantes de los flujos migratorios de sectores tales como la Sierra norte y centro sur.

Las múltiples ordenanzas que han tramitado y puesto en marcha las diversas autoridades de la ciudad han tenido como objetivo reconocer las edificaciones o unidades de vivienda realizadas sin control, dichas ordenanzas han tenido fines políticos, administrativos y económicos dejando de lado la evaluación integral de las construcciones en la parte estructural, convirtiéndose esto en un problema grave para la sociedad puesto que la informalidad alcanza hasta un porcentaje alto (60%) en el Distrito (Jácome, 2017).

Ante esto es imperativo que los organismos de control dispongan de herramientas para visualizar, analizar, y proteger las zonas de mayor riesgo o vulnerabilidad en la ciudad; una de estas herramientas es la investigación realizada por el South America Risk Assessment (SARA), proyecto que al realizarse conjuntamente con la Escuela Politécnica Nacional busca determinar y mostrar las diferentes zonas de riesgo del Distrito de Quito a través de un mapeo de la ciudad tomando como base distintas tipologías estructurales propias de la investigación.

La importancia de este estudio radica en la posibilidad de escoger un núcleo de sistemas estructurales vulnerables y numerosos. SARA intenta dar un amplio panorama del riesgo de la ciudad ante distintos sismos probables con el afán de que autoridades, profesionales y población en general tomen conciencia de la realidad de la zona y trabajen conjuntamente para evitar consecuencias lamentables en un futuro.

1.3 Justificación

La falta de recursos económicos, los asentamientos no regularizados y la migración hacia la ciudad en los años 70s y 80s, son problemas sociales que han propiciado la construcción informal.

Una construcción informal se puede considerar como una edificación que tiene un alto riesgo para sus ocupantes, el riesgo se puede enfocar básicamente por 4 factores importantes: estructuración deficiente, la falta de supervisión técnica en la construcción (incluyéndose el proceso constructivo

de la misma), la pésima o precaria calidad en los materiales de construcción y la zona en donde se encuentra asentada la misma. Estos factores se resumen del Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería de la AIS.

El factor socioeconómico influye de manera fundamental en este tema, puesto que como consecuencia de los bajos salarios o ingresos percibidos por los propietarios de este tipo de construcciones, se opta muchas veces por no realizar el diseño con un profesional, parte muy significativa en este proceso; o reducir incluso materiales de construcción traduciéndose en un falso “ahorro” que no hace más que acrecentar la vulnerabilidad de la vivienda.

Debido a la situación estructural crítica en algunas zonas de riesgo del Distrito Metropolitano de Quito es necesaria la creación y divulgación de elementos que permitan dar una idea clara de los diferentes tipos de reforzamientos estructurales que se acoplen a la realidad de estas viviendas. Uno de estos elementos es el resultado que esta tesis plantea, una guía de reforzamiento para estructuras informales, un folleto práctico que permita tanto al propietario como al profesional a cargo del reforzamiento tener un proceso claro de: encamisado de columnas, adición de refuerzo en vigas mediante FRP, enchapados de paredes de mampostería y demás opciones planteadas

1.4 Importancia

La calidad en los materiales de construcción es uno de los temas muy amplios y tocados a fondo en otros trabajos investigativos como en (Páez Vargas, 2014), (Moreno Cárdenas, 2011), etc., tomando como referencia desde la calidad de los agregados hasta la manera de realizar la mezcla de hormigón. A pesar de no ser objeto primordial de este trabajo investigativo se quiere hacer énfasis que este constituye uno de los pilares fundamentales para el comportamiento favorable de la obra convirtiéndose en una parte fundamental de la estructuración que puede convertirse en un factor que

amplíe la vulnerabilidad. En la guía de reforzamiento se tomarán como base diferentes materiales que cumplan con características técnicas y normativas.

Como se manifestó anteriormente la ciudad de Quito se encuentra amenazada por varias clases de riesgos naturales, uno y sin duda el más significativo de este trabajo investigativo es el referente a los movimientos telúricos. Dado que la ciudad se encuentra asentada sobre fallas tectónicas activas y bajo los movimientos telúricos precedentes en los últimos tres años (16 Abril 2016, 4 de Septiembre 2016, 12 de Agosto 2014) se considera de importancia vital mantener una estructuración sismo resistente tal que minimice las pérdidas materiales y humanas consecuencia de estos eventos naturales.

El presente trabajo tiene como finalidad elaborar una guía de reforzamiento estructural para construcciones informales aporticadas en el Distrito Metropolitano de Quito, tomando como base un análisis de vulnerabilidad planteado por el autor de este trabajo el mismo que otorgue una idea preliminar de la vulnerabilidad y deficiencias estructurales que presente la vivienda; de acuerdo a este análisis se plantearán soluciones de reforzamiento y se analizará cada unidad de vivienda con la ayuda de programas comerciales con el fin de asegurar su buen comportamiento estructural con las propuestas de reforzamiento planteadas.

Finalmente se concluye en la necesidad y la importancia de tener métodos de reforzamientos en documentos escritos, con esto se intenta crear una base fiable para que sea aplicada en el cálculo diario en el ámbito profesional, así como también sentar un precedente para futuras ampliaciones de investigación en el tema.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Elaborar un guía de reforzamiento para estructuras informales aporticadas en el Distrito Metropolitano de Quito.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar las deficiencias estructurales de las edificaciones aporticadas propuestas en el estudio del SARA, construidas irregularmente y aprobadas bajo las ordenanzas municipales de reconocimiento informal.
- Proponer soluciones de reforzamiento estructural para suplir las deficiencias existentes de las edificaciones en estudio.
- Calcular de manera detallada los tipos de refuerzos que se propongan.
- Conclusiones en base al análisis de datos obtenidos antes y después del reforzamiento.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Global Earthquake Model (GEM)

Global Earthquake Model se define como un foro internacional en donde personas y organizaciones alrededor del mundo se unen con el fin de desarrollar, compartir y dar uso a diferentes herramientas y aplicaciones existentes en su plataforma virtual que permiten analizar y evaluar el riesgo que conlleva un terremoto o evento sísmico; la finalidad de esto es permitir una mejor comprensión por parte de la sociedad en general del riesgo que conlleva un evento natural de esta magnitud y cuán expuesto se encuentra cierto sector, ciudad o región.

Muchas de las herramientas actuales que se han podido desarrollar gracias a la tecnología se encuentran fuera del alcance de ciertos sectores del planeta que coincidentalmente son los más vulnerables en el aspecto sísmico, es de ahí que nace la necesidad de crear una plataforma gratuita con una base de datos amplia y zonificada que a la vez permita trabajar de forma conjunta para ampliar el conocimiento sobre el comportamiento de los terremotos.

713 expertos a nivel global (según su página oficial) se encuentran detrás de revisiones, discusiones, mejoramientos de la plataforma y proyectos en general que amplían de manera sustancial el alcance de GEM alrededor del mundo, planteando proyectos de investigación sobre la vulnerabilidad y riesgo en prácticamente todos los cinco continentes como se detallará en el siguiente punto de este capítulo.

GEM a través de su plataforma ofrece al usuario cuatro líneas de información o recursos, como se indica en la Figura 1:

- Herramientas para la evaluación de sismos.
- Evaluación del riesgo ante un evento sísmico.
- Información del riesgo ante un evento sísmico.
- Transferencia de tecnología e información.



Figura 1. Portal de recursos del GEM

Fuente: (Global Earthquake Model, 2017)

El modelo del Global Earthquake Model hace mucho énfasis sobre el riesgo de un sismo y nos proporciona datos relevantes sobre el mismo, “Entre 2000 y 2009, 2 mil millones de personas se vieron afectadas por desastres, de las cuales el 44% fueron afectadas por las inundaciones, el 30% por la sequía y sólo el 4% por los terremotos. Sin embargo, el 60% de los muertos en desastres murieron en terremotos durante ese período”. (Global Earthquake Model , 2017).

Es por esta razón que la evaluación que esta institución propone es una de carácter holístico, es decir una que involucre a todas las partes que intervienen en el riesgo derivado de este evento natural impredecible. Esta investigación holística ha permitido el desarrollo exitoso de herramientas informáticas y recursos varios presentes en la web.

Para lograr lo que el GEM define como “Riesgo Sísmico Integrado” se deben evaluar lo que podríamos llamar cinco sub temas:

- Riesgo Físico ante el Sismo: Probabilidad de daño y pérdida de vidas humanas e infraestructura causada por un evento sísmico que ocurre cada cierto intervalo de tiempo.
- Vulnerabilidad Socioeconómica y Resiliencia: La vulnerabilidad se puede asemejar al daño potencial que la sociedad y la economía recibirían ante un evento sísmico, mientras que resiliencia se asocia a la capacidad de reposición por parte de la sociedad ante eventos sísmicos. Esta vulnerabilidad se puede medir por factores como: la economía de la región en estudio, acceso a salud, población, infraestructura, acceso a educación, índices diversos (natalidad, mortalidad, etc.).
- Peligro Sísmico: Probabilidad de agitación de suelo debido a terremotos.
- Exposición: Elementos (Infraestructura principalmente) en riesgo.
- Vulnerabilidad Física: Posible daño de las estructuras y sus ocupantes ante un evento sísmico.

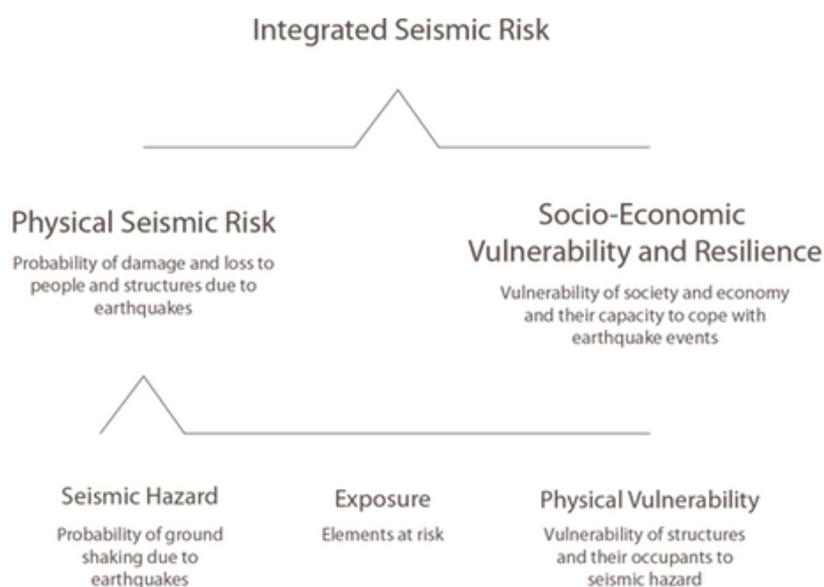


Figura 2. Evaluación Holística de Riesgo según GEM

Fuente: (Global Earthquake Model , 2017)

Para resumir de manera comprensible a los diferentes lectores se ha propuesto simplificar la Figura 2 en ecuaciones; Integrated Seismic Risk (Riesgo Sísmico Integrado, ISR) se obtiene de la suma del Physical Seismic Risk (Riesgo Físico ante Sismo, PSR) y de Socio-Economic Vulnerability and Resilience (Vulnerabilidad Socioeconómica y Resiliencia, SEVR). De igual forma el Riesgo Físico ante Sismo, PSR, se compone de Seismic Hazard (Peligro Sísmico, SH), más Exposure (Exposición, E) y Physical Vulnerability (Vulnerabilidad Física, PV).

$$ISR = PSR + SEVR \quad (1)$$

$$PSR = SH + E + PV \quad (2)$$

Como hemos visto en la Figura 2 la evaluación de riesgo holística propuesta por GEM enmarca varios temas, por este motivo se pueden mencionar varias ventajas de esta metodología.

- El modelo se enfoca en una combinación precisa de datos a nivel geofísico y geológico.
- Una base de datos amplia basada en catálogos históricos e instrumentales de eventos así como también información de fallas activas.
- Por vez primera pueden ser evaluados o cuantificados los daños a edificaciones, sus costos de reposición y la resiliencia de la población después del evento.
- Evalúa el riesgo de manera integrada en los ámbitos estructurales, económicos y sociales.

La forma que se elija para evaluar el riesgo sísmico depende necesariamente del contexto socio-económico, la información que se tenga disponible y los usos a futuro que se pretenda dar a los resultados del análisis; sin embargo cualquier metodología aplicada debe capacitar de alguna manera primero a los profesionales encargados de llevarla a cabo con el fin de realizar

un análisis propio y conocer las deficiencias de cada región, para después educar a la población y concientizarla sobre las deficiencias estructurales de sus viviendas.

Un proyecto de esta magnitud debe sustentarse en fondos provenientes de entidades tanto públicas como privadas, estas entidades que trabajan para la evaluación, reducción y transferencia de riesgos (transferencia de pérdidas económicas del gobierno al sector privado, por ejemplo a las aseguradoras, ante la amenaza de un evento natural) permiten abarcar el análisis a escala global y local. Los socios tanto públicos y privados son organizaciones que intervienen con su apoyo a largo plazo y cumplen un papel fundamental al intercambiar experiencias sobre la evaluación y reducción de riesgos y obviamente contribuir con una inyección económica importante.

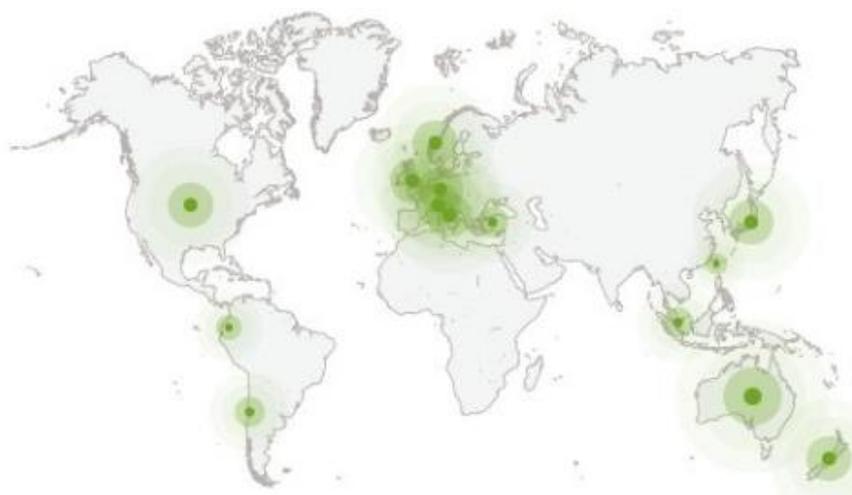


Figura 3. Socios públicos de GEM alrededor del mundo

Fuente: (Global Earthquake Model, 2017)

En la Figura 3 se muestra las regiones en donde se ha obtenido el apoyo de diferentes socios públicos estratégicos conformando un total de 38 a nivel global y 3 instituciones de apoyo (no socios) en el país como la EPN, ESPOL y el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Entre los más destacados (a escala mundial) del Global Earthquake Model se encuentran: El servicio Geológico Colombiano, Secretaria Nacional de Educación e Investigación,

Suramericana de Seguros, The World Bank, The Institution of Structural Engineers, National Society for Earthquake Technology, Departamento de Protección Civil Italiana, Unesco, etc.

2.2 Estudios del GEM en diferentes regiones.

Al ser una plataforma integral, el trabajo del GEM abarca varias regiones, en las cuales se ha elaborado diferentes charlas, capacitaciones, modelos e investigaciones para alcanzar el objetivo de tener una zonificación global de riesgo; África, Europa, Medio Oriente, Asia Central, Sudamérica, Asia sudoriental y el Pacífico, Asia del Sur, Asia Noreste son las regiones en donde esta organización ha tomado parte.

2.2.1 África

Las actividades en esta región se enfocaron más en la parte norte y el África Subsahariana, por ejemplo en Kenia se realizó un taller de información en noviembre de 2009, además se llevaron a cabo reuniones y capacitaciones con el fin de construir de mejor manera modelos de riesgo y evaluación de peligros. Actualmente se está buscando financiamiento para elaborar un programa con una mejor estructura que permita desarrollar un modelo de riesgo definitivo en la región.

2.2.2 Europa

GEM se encuentra conectada con diversas comunidades europeas destinadas al riesgo, como USGS/OFDA en la zona de los Balcanes, y a su vez colabora particularmente con tres proyectos que son financiados por la Unión Europea, estos proyectos son: SHARE, SYNER – G y NERA.

Share tiene la filosofía de contribuir (mediante sus estudios) a la construcción de edificaciones más seguras en Europa. Entre los resultados de este estudio se tiene: un modelo sísmico comunitario para la región euromediterránea, espectros de peligro uniformes que toman en cuenta no solo la probabilidad de excedencia de una intensidad sísmica sino también la

probabilidad de exceder un determinado nivel de desempeño (Niño, 2008), mapas de amenazas para diferentes períodos de retorno; estos estudios cubren todo el territorio europeo, incluyendo Turquía abarcando diez y ocho instituciones.

Nera está formado por 28 participantes (universidades europeas y centros de investigación) las mismas que ejecutan 22 actividades diferentes, entre las cuales y según lo que nos indica en su página principal están: “1 actividad de gestión, 9 actividades de creación de redes (NA), 5 Actividades conjuntas de investigación (JRA), 4 actividades de concesión de acceso transnacional y 3 actividades especializadas de acceso de servicios (SA)” (Global Earthquake Model , 2017). Su objetivo principal consiste en la coordinación de los diferentes centros de investigación, apoyar con programas de prevención de riesgos, capacitación a la sociedad ante la vulnerabilidad socio-económica y la realización de proyectos para la caracterización de sitio (suelo) de las construcciones.

SYNER – G es un proyecto europeo que se enfoca en el estudio de lo que ellos llaman vulnerabilidad sísmica de estructuras, es decir, en el estudio del riesgo sísmico integrado según la metodología propuesta por GEM. Su objetivo principal es el de evaluar la vulnerabilidad socio-económica y física por medio de la creación de herramientas propias (software) que permita enfocarse a la gestión del riesgo sísmico, es decir, la creación de programas, estrategias o acciones para reducir las pérdidas humanas y económicas a causa de un evento telúrico.

2.2.3 Medio Oriente

En Medio Oriente se lleva a cabo el EMME (Earthquake Model for Middle East), este proyecto abarca a naciones como Irán, Turquía, Jordania, Pakistán, Líbano, Siria, Georgia, Azerbaiyán y Armenia, y toca temas como el riesgo físico ante sísmico y la vulnerabilidad socio-económica. Toman lugar

algunos escenarios de riesgo urbano como Mashad (Irán), Guishen-Karachi (Pakistán), Irbid (Jordania), Yerebán (Armenia), Tyr (Líbano), etc.

El proyecto consta de dos catálogos de sismos históricos, el primero que incluye más de 2000 registros comprendidos en un período del 2000 a.C hasta 1899, el 25 % de estos registros no precisan estimaciones de magnitud, y el segundo comprendido entre los años 1900 al 2010 con un total de 6102 registros con intensidades mayores a 5 en la escala sísmica de Richter, 526 con magnitud superior a 6, 134 con intensidad mayor a 6.5 y 41 mayores a 7 en la escala señalada con anterioridad, según su página oficial.

Un estudio amplio sobre fallas tectónicas se ha generado en el Oriente Medio, definiéndose un total de 3397 secciones de fallas activas con una longitud total de 91551 Km, la base de datos de dichas fallas se orienta aquellas que podrían producir un terremoto de magnitud igual o superior a 5.5 en la escala de Richter brindando datos como: características de rotura de falla, epicentro del evento sísmico, profundidad e intensidad.

Para la evaluación del riesgo sísmico integral en Medio Oriente se ha tomado como base seis escenarios de ciudades como se mencionó previamente, en la Figura 4 se visualiza el modelo por bloques aplicado a la ciudad de Tyr en Líbano; para cada ciudad se ha obtenido datos sobre la calidad de las edificaciones, la distribución que existe en la población, y la recurrencia de los eventos sísmicos en la región los mismos que facilitarán el cálculo de la estimación de pérdidas; estas actividades se realizan por la colaboración de instituciones locales y municipales dándole a cada proyecto un precedente único basado en su realidad para que sirva como ejemplo aplicable en cualquier parte del mundo.

TYR

- An inventory of residential buildings was compiled on a 250 x 250 m grid cell
- Building classification based on EMS-98 typology
- Population distribution was compiled at the district scale
- Intensity based vulnerability functions are used for each building type

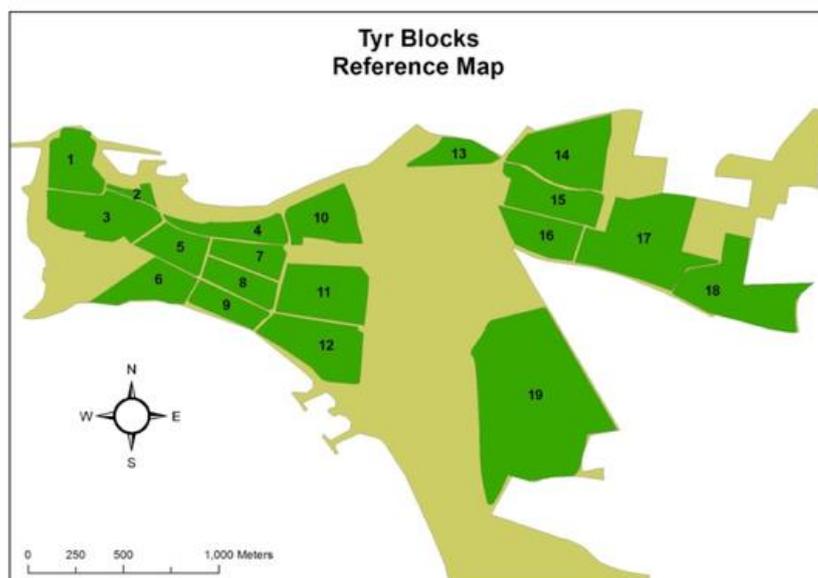


Figura 4 Modelo en la ciudad de Tyr Bloques de Referencia

Fuente: (Global Earthquake Model, 2017)

2.2.4 Asia Central

El modelo de Asia Central (EMCA) es un programa cuyo principal objetivo es evaluar el riesgo sísmico integral en esta región, “dentro del programa se pueden citar tres subdivisiones importantes: Evaluación de riesgos sísmicos y micro zonación (zonificación de fuentes sísmicas), Vulnerabilidad Sísmica y Riesgo Sísmico”. (Global Earthquake Model, 2017).

La manera de trabajo o recopilación de la información se basa en una encuesta visual rápida (RVS) por sus siglas en inglés, este método implica una evaluación sensata de los niveles de exposición y vulnerabilidad de la zona; una parte importante de este sistema es su validación mediante el acoplamiento de la información tomada en campo con los diferentes sistemas satelitales y las imágenes in situ, con esto el RVS puede ser optimizado y de

precisión aceptada para grandes áreas en donde la observación presencial puede resultar de difícil acceso.

Dentro de este proyecto se encuentran involucrados países de la zona como los siguientes:

- Afganistán: Universidad de Kabul, Departamento de Geociencias, Kabul.
- Kazajstán: LLC Instituto de Sismología (IOS), Almaty.
Kazakhstan National Nuclear Center, Instituto de Investigaciones Geofísicas.
Centro de Adquisición y Tratamiento de Información Sísmica Especial (KNDC), Almaty.
- Kirguistán: Instituto Asiático Central de Geociencias Aplicadas (CAIAG), Bishkek.
Instituto de Sismología (KIS), Bishkek.
Universidad Internacional para las Tecnologías de la Innovación, Bishkek.
Universidad Estatal de Construcción, Transporte y Arquitectura, Bishkek.
- Tayikistán: Instituto de Ingeniería de Terremotos y Sismología (IEES), Dushanbe.
- Turkmenistán: Instituto de Sismología e Ingeniería de Terremotos, Ashgabat.
- Uzbekistán: Instituto de Sismología de la Academia de Ciencias de la República de Uzbekistán, Tashkent.
Universidad de Turín, Tashkent.

2.2.5 Sudamérica

En la región se ha venido trabajando desde el verano de 2011, aplicando talleres en Venezuela y Chile convocando de esta manera a expertos de toda la región. En Enero de 2013 el proyecto SARA empezaba a tomar fuerza, este

proyecto en un inicio se pensaba que duraría 3 años con la colaboración de instituciones locales enfocadas en el trabajo sobre el riesgo, exposición y la vulnerabilidad física y socio-económica en América del Sur.

El proyecto ha tomado parte en países como Chile, Venezuela, Colombia, Perú, Ecuador; sin embargo en los siguientes puntos de este capítulo se expondrá de manera más amplia y concreta los diferentes modelos realizados en los diversos escenarios a lo largo de los países involucrados en el estudio del proyecto SARA (South America Risk Assessment).

2.2.6 Asia Sudoriental y el Pacífico

Se han realizado varios talleres en el sector los mismos que han tenido dos objetivos principales: inventariar las necesidades y deficiencias de la región al igual que su estado en la técnica de recopilación de información sobre el riesgo físico ante sismos y la vulnerabilidad socio-económica; el otro punto importante que se ha tratado fue la evaluación de riesgos y las diversas fallas activas localizadas en el sector.

2.2.7 Asia del Sur

En el año 2009 se implementaron varios talleres regionales por parte del GEM, uno de ellos fue en India con la ayuda de varios expertos de la región, mientras que otro fue en marzo de 2013 en Nepal en donde se contó con la experiencia y participación de varios profesionales del sector. Planes a futuro indican la necesidad de implementar un plan regional en la zona de Gurajat principalmente para la evaluación de riesgos.

2.2.8 Asia Noreste

En este sector se ha desarrollado un estudio para la evaluación del peligro sísmico, un estudio que dará nuevas pautas para elaborar Mapas Zonificados en las próximas generaciones, este proyecto tiene la colaboración de países como Japón, Corea y China. Una nueva metodología más eficiente y en términos generales de mejor nivel se busca con este estudio donde han

tomado parte instituciones como: El Instituto Nacional de Investigación para la Ciencia de la Tierra y la Prevención de Desastres (NIED) y el Modelo Terrestre de Taiwán (TEM), talleres de interacción se han aplicado desde el año 2012 en adelante.

2.3 OpenQuake: Plataforma para la evaluación del riesgo sísmico.

La plataforma OpenQuake es un conjunto, un escenario virtual con varios software destinados a que el usuario utilice los diferentes datos existentes dentro de las varias investigaciones realizadas por este organismo, permite realizar mejores prácticas y desarrollar proyectos de forma colaborativa. OpenQuake incluye la plataforma como tal, el denominado motor (que permite el cálculo) y variedad de herramientas que permiten modelar, explorar y compartir los datos ante la comunidad GEM, estos tres pilares fundamentales de la plataforma en mención se visualizan en la Figura 5.

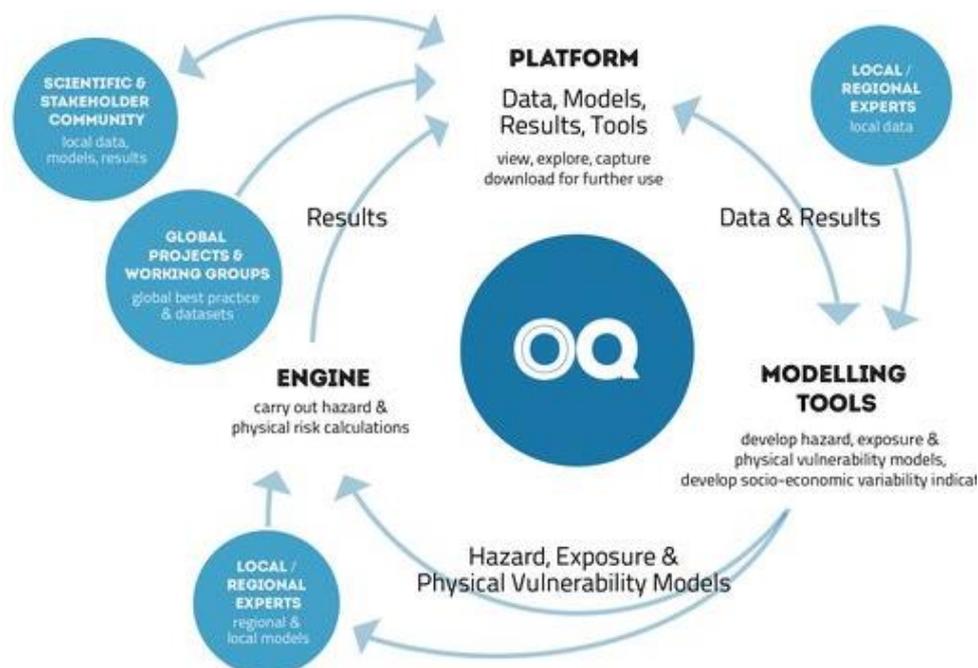


Figura 5 Modelo de la Plataforma OpenQuake

Fuente: (Global Earthquake Model, 2017)

Esta plataforma pone al alcance bases de datos almacenadas sobre la exposición, vulnerabilidad social, mapas de riesgo de terremoto y demás resultados de trabajo propios de GEM; información valiosa para realizar análisis de costo-beneficio por parte de profesionales dedicados a la reducción de riesgos y analistas de modelos de seguros. El denominado motor de OpenQuake se utiliza básicamente para la realización de pruebas de sensibilidad que contribuyen para el desarrollo de modelos personalizados de riesgo debido a eventos telúricos, los mismos que conlleven a un estudio de estimación de pérdidas simulados o supuestos por medio de esta aplicación.

OpenQuake de esta manera permite a todos los usuarios desenvolverse en tres amplios parámetros que implican un análisis completo y responsable de la situación en la región o zona de estudio, la plataforma ofrece a los usuarios diferentes ventajas:

- **Calcular:** En OpenQuake se pueden realizar diferentes simulaciones de manera precisa y de acuerdo a datos recientes en entornos de carácter global y local: campos de movimiento de suelos, espectros de peligro y mapas estimados de pérdidas tanto de vidas humanas como pérdidas económicas. Dichos cálculos se los pueden realizar combinando modelos propios de cada usuario con los precargados en el sistema.
- **Explorar:** Los usuarios de la plataforma pueden interactuar y explorar los diferentes riesgos producidos por un terremoto a través de mapas dinámicos e indicadores gráficos. Según la página oficial de GEM: “La plataforma aprovecha las tecnologías geoespaciales de código abierto para permitir a los usuarios trabajar en un entorno intuitivo basado en mapas”.
- **Compartir:** OpenQuake es una plataforma de intercambio de información, enlaza usuarios de alrededor del globo para trabajar juntos en la evaluación del riesgo; mejores prácticas y enfoques son parámetros clave para evaluar de mejor manera el problema del riesgo sísmico.

2.4 Proyecto South America Risk Assessment (SARA) y sus cinco ejes de investigación.

South America Risk Assessment es el proyecto que evalúa el riesgo en el continente, ha tomado parte en países como Perú, Colombia, Chile y Ecuador, brindando una metodología de estimación de riesgo físico ante sismo y vulnerabilidad socio-económica apropiada y que engloba varios parámetros de evaluación como los detallaremos a continuación:

- Primer Parámetro: El Componente de Riesgo del Proyecto SARA.

El riesgo en América del Sur propone diversos desafíos para los profesionales responsables del proyecto, la zona suramericana constituye una de las regiones más peligrosas (sísmicamente hablando) alrededor del planeta ya que la zona de subducción domina por decirlo de alguna manera el riesgo de terremoto en las costas de los países como Ecuador, Perú, Colombia, Chile.

Además de la complejidad del análisis de riesgo debido a la subducción se incorpora la necesidad de la caracterización y análisis de las diferentes fallas geológicas activas que permitirán realizar un mapeo y el desarrollo de herramientas más precisas y abiertas al público desde la plataforma global de OpenQuake patrocinada por GEM.

El objetivo general de SARA radica en mejorar el estado de la evaluación del riesgo sísmico en la región sur del continente americano, para esto se incluye la modulación de datos de terremotos críticos y el desarrollo de estándares comunes para la representación de resultados obtenidos después del análisis y para su interpretación.

El componente de riesgo del estudio de SARA se alineó bajo diversas áreas de investigación al mando de diversos expertos científicos pertenecientes a diferentes instituciones de los países en estudio, los temas de investigación tomados de la página oficial del estudio de SARA son:

- Evaluación del estado actual de la práctica en el análisis de riesgos sísmicos en América del Sur (SA).
- Construir una base de datos armonizada de fallas cruciales denominadas como “peligrosas”.
- Modelización de zonas de subducción en América del Sur.
- Catálogo Suramericano del Terremoto.
- Base de Datos de Movimientos Fuertes de Suramérica, además de desarrollo de ecuaciones de predicción del movimiento de la tierra (GMPE) con el fin de analizar el riesgo sísmico en el continente.
- Creación de un nuevo modelo de Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico en América del Sur (PSHA – Probabilistic Seismic Hazard Analysis).
- Segundo Parámetro: Modelo de Exposición Regional.

El proyecto SARA ha considerado proponer resultados de vulnerabilidad para América del Sur bajo tres niveles: regional, nacional y subnacional de todos los países considerados con mayor afectación bajo un evento sísmico. Este modelo de exposición se subdivide a su vez en dos partes, un modelo de exposición local elaborado por instituciones propias de cada país y que detallan modelos de exposición de ciudades específicas, y un modelo de exposición regional en el cual se detalla el mismo modelo de exposición por país (región) desarrollado por GEM tomando como base censos nacionales. En la Figura 6 (a) se visualiza la localización de eventos sísmicos en los últimos cuarenta años mientras que en la figura 6 (b) se destacan los diferentes países correspondientes a los estados andinos (Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela).

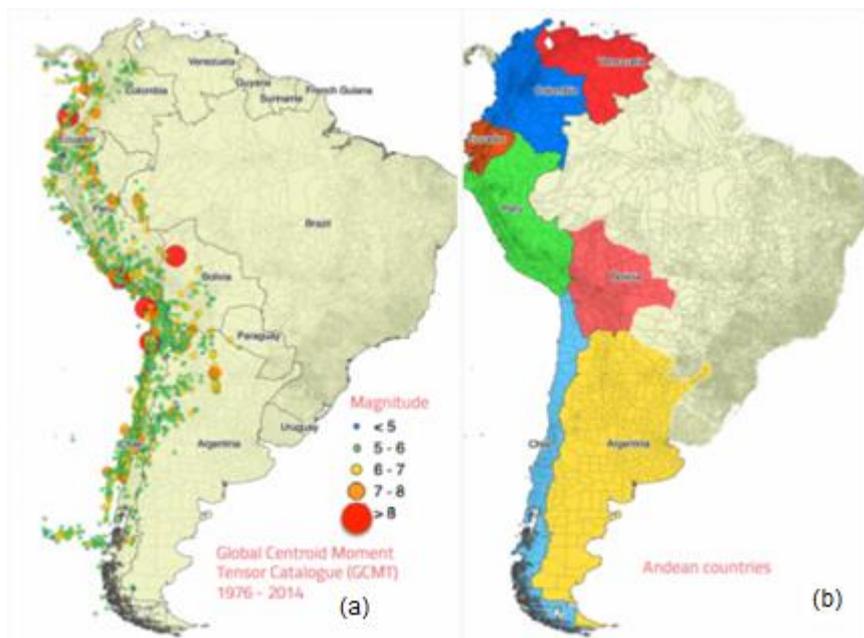


Figura 6 Modelo de Exposición Regional SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

La iniciativa del GEM a través del estudio del SARA ha sido la de liderar estudios locales para lo cual se ha beneficiado de la colaboración de varios centros de investigación en las diferentes regiones de estudio, investigando de manera conjunta y nutriéndose de manera significativa en los avances del riesgo sísmico en la zona. Las instituciones que han tomado parte de la investigación en la región se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1 .

Resumen de Proyectos Regionales involucrados en SARA

País	Institución	Proyecto
Chile	Pontificia Universidad Católica de Chile, CIGIDEN	Modelo de Exposición de Chile, Modelo detallado de Osorno, Rancagua e Iquique
Colombia	Universidad EAFIT	Modelo de Exposición de Antioquia, Bogotá, y Cali.
Ecuador	Escuela Politécnica Nacional	Modelo de Exposición y Fragilidad de Quito.



Perú	CENEPRED, Fundación GEM	Escenario de Evaluación de Lima (en curso).
Venezuela	FUNVISIS	Modelo Nacional de Exposición de Venezuela (en desarrollo).

Es relevante notar que para Quito se introduce el término de fragilidad en los modelos que se desarrollan, el término fragilidad no ha sido introducido en ningún análisis previo y se considera de importancia puesto que puede ser confundido con el término de vulnerabilidad. La fragilidad de un edificio está relacionada con su vulnerabilidad sísmica y se puede cuantificar mediante curvas de fragilidad. Las curvas de fragilidad se definen como la representación gráfica de la función de distribución acumulada, de la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño límite específico, dada una respuesta estructural, ante una acción sísmica determinada (FEMA, 1999 citado en (Moreno & Jesús, 2010)).

Para la evaluación del modelo a nivel regional se ha producido un inventario de edificios residenciales tomando datos de censos abiertos y opiniones de expertos (de las instituciones participantes) como puntos de partida, es decir, una clasificación de las distintas clases de edificaciones basándose en puntos como los descritos a continuación:

- Ubicación y distribución de viviendas y edificios.
- Características Estructurales.
- Información sobre materiales de construcción.
- Sistema de resistencia de cargas laterales.
- Rango de número de plantas.
- Área construida promedio.
- Costo de Reemplazo.
- Población.

De todos los parámetros descritos en la lista anterior se remarca los referentes a la ubicación y distribución de viviendas y edificios, las características estructurales y el sistema de resistencia de cargas laterales como las predominantes para la medición de la vulnerabilidad física

De acuerdo a la metodología mediante la cual SARA obtiene los diferentes modelos de exposición en diversas zonas de estudio, podemos señalar cuatro pasos principales o fundamentales, los cuales se muestran en la Figura 7.

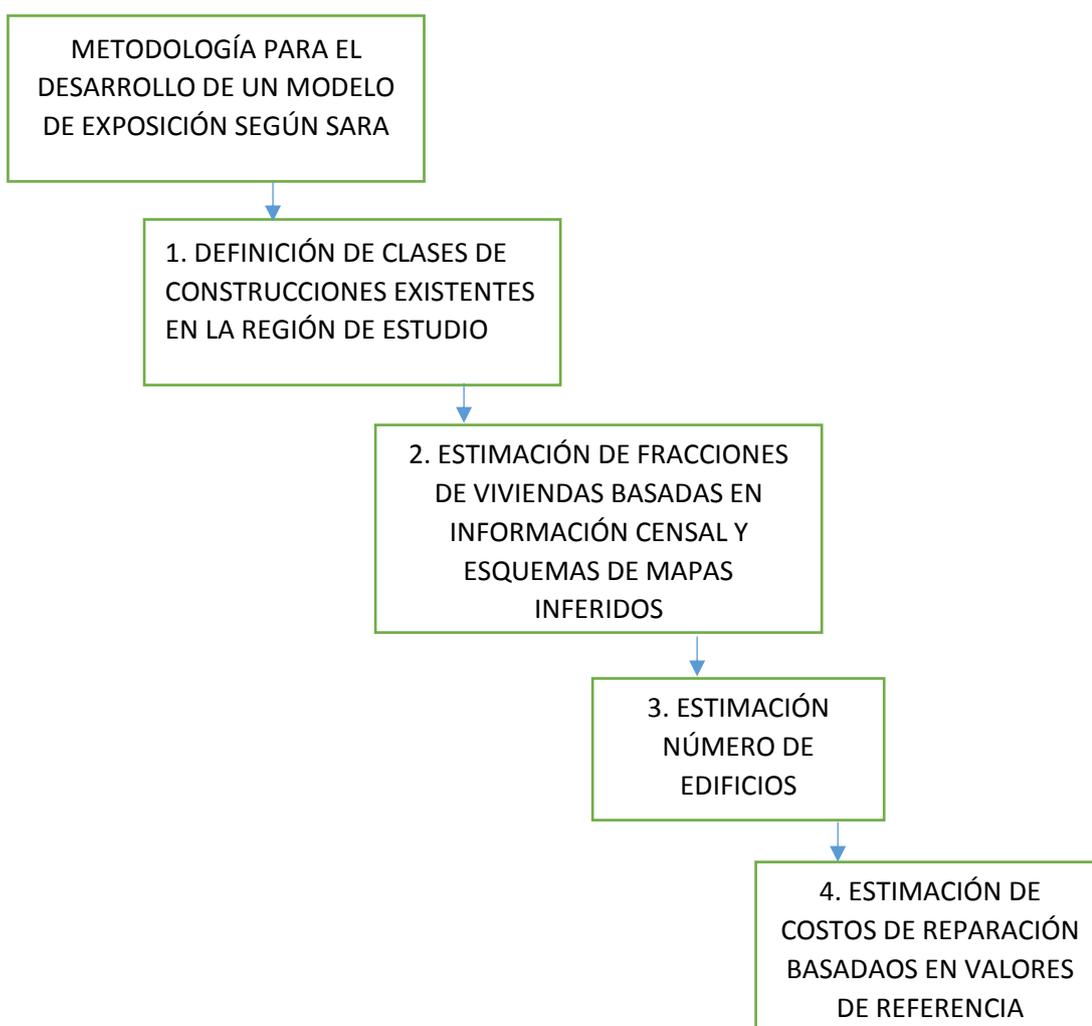


Figura 7. Metodología para modelos de exposición según SARA

SARA toma como punto de partida la vulnerabilidad física (PV), la misma que se engloba en el paso 1 de la Figura 7; las clases de construcciones existentes se determinan acoplado las características estructurales y demás

puntos, descritos con anterioridad, con las diferentes taxonomías de GEM. Esto permite a su vez determinar el modelo de exposición basándose en su propia metodología descrita en los pasos 2, 3 y 4.

Tomando como antecedente que la población de América de Sur es de alrededor de 422 millones de personas en el año 2016 (Wikipedia.org, 2017) el estudio de SARA (South America Risk Assessment, 2017) nos expresa lo siguiente en cuanto a la población de este continente: “Trece países continentales constituyen América del Sur. Su población estimada en 2012 supera los 400 millones de habitantes, de los cuales casi 200 millones están ubicados en la región andina, una de las más sísmicas activas del mundo”.

Bajo los parámetros expuestos de su estudio, SARA nos proporciona los siguientes datos a nivel regional del continente, los mismos que pueden ser visualizados de mejor manera en las Figuras 8 y 9:

- Las viviendas en los países andinos se han estimado en 47,3 miles de unidades.
- Un total de 30,4 mil correspondientes a edificios.
- Una superficie edificada de 3,621 millones de metros cuadrados.
- Un costo total de reemplazo de 1,55 billones de dólares.
- Número de habitantes aproximado 175,6 miles de personas.

Country	Number of Dwellings [Thousands]			Number of Buildings [Thousands]			Replacement cost [USD Billion]			Population [Thousands]			Average built area [Million m ²]		
	Urban	Rural	Total	Urban	Rural	Total	Urban	Rural	Total	Urban	Rural	Total	Urban	Rural	Total
Argentina	12,473	1,341	13,814	7,106	1,137	8,243	579	39	618	36,467	3,650	40,117	1,035	108	1,143
Bolivia	1,826	978	2,804	1,314	924	2,238	19	6	25	6,789	3,271	10,060	111	59	170
Chile	3,360	540	3,900	1,761	394	2,155	211	29	240	13,090	2,026	15,116	252	40	292
Colombia	7,489	2,254	9,743	4,277	1,944	6,221	260	47	307	31,283	9,892	41,175	660	182	842
Ecuador	2,391	1,357	3,748	1,416	1,113	2,529	56	20	76	9,091	5,393	14,484	181	97	278
Peru	4,790	1,611	6,401	3,780	1,343	5,123	88	25	113	20,810	6,602	27,412	298	98	396
Venezuela	6,112	818	6,930	3,277	622	3,899	161	14	175	24,183	3,045	27,228	443	57	500
Total	38,441	8,899	47,340	22,931	7,477	30,408	1,374	180	1,554	141,713	33,879	175,592	2,980	641	3,621
	(81%)	(19%)	(100%)	(75%)	(25%)	(100%)	(88%)	(12%)	(100%)	(81%)	(19%)	(100%)	(82%)	(18%)	(100%)

Figura 8. Cuadro de Resultados Regionales según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

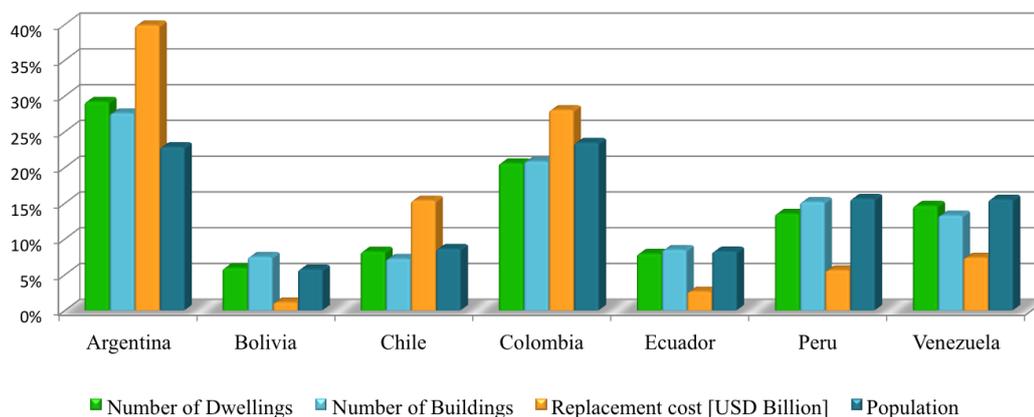


Figura 9. Estadística de Resultados Regionales según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

De igual manera se puede visualizar en la Figura 10 datos a nivel regional (por país) de edificaciones; se muestra el número de viviendas, edificios y costos de reemplazo en cada república, los gráficos en pastel representan a su vez las fracciones de vivienda tanto urbanas como rurales de acuerdo a la tipología, la misma que se explicará más adelante.

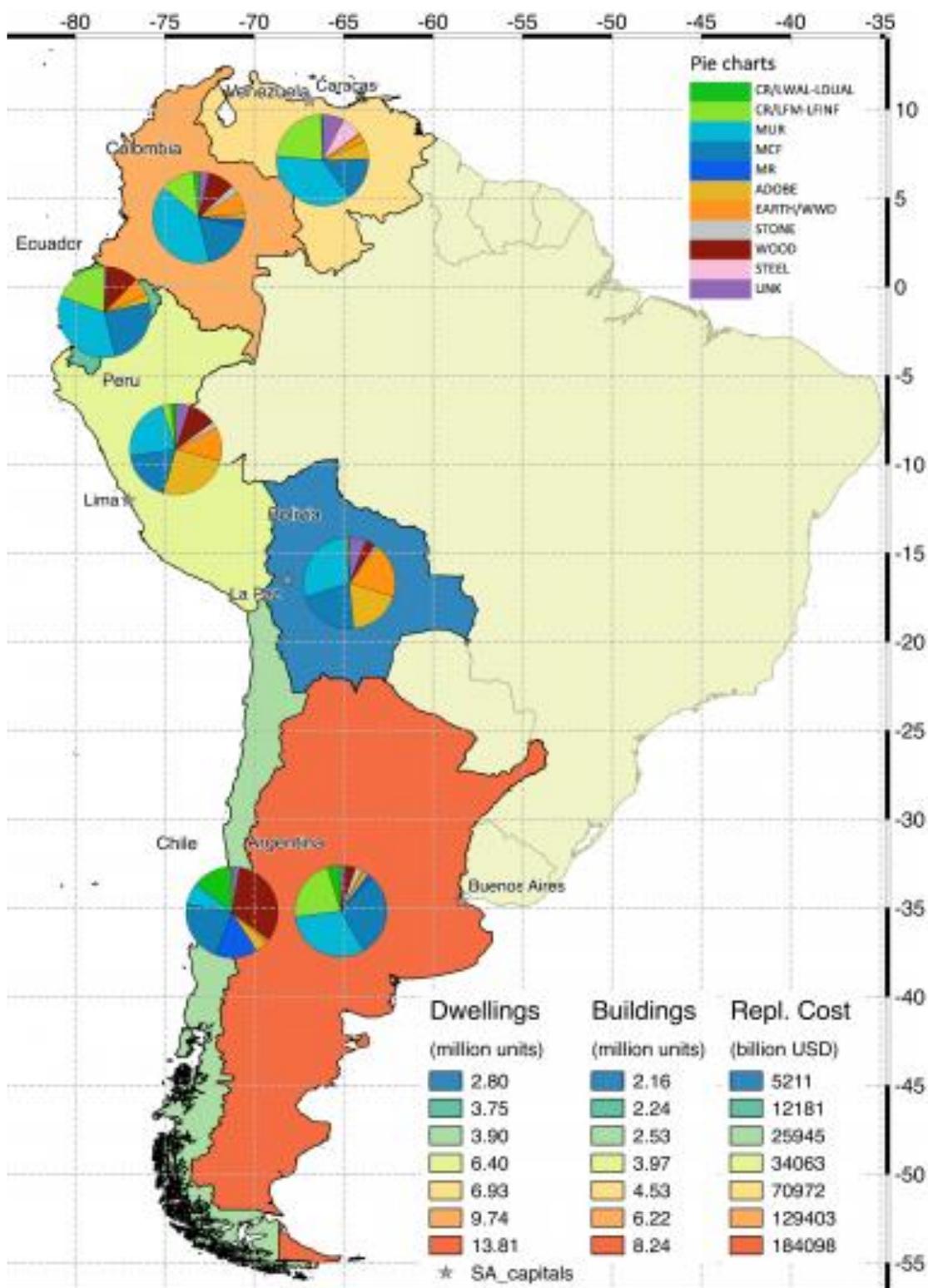


Figura 10. Estadística de Viviendas según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

A continuación en la Figura 11 se presentan las diferentes tipologías estructurales planteadas por SARA, y que se usan desde la Figura 10 en adelante, las tipologías planteadas en la figura 10 se describen como:

- Muros de Hormigón Armado (CR/LWAL).
- Sistemas Duales: Pórticos + Muros de Hormigón Armado (CR/LDUAL).
- Pórtico de Hormigón Armado Resistente a Momento (CR/LFM).
- Pórtico de Hormigón Armado con muros de relleno (CR/LFINF).
- Mampostería no Reforzada (MUR).
- Mampostería Confinada (MCF).
- Mampostería no Confinada (MR).
- Adobe (ADOBE).
- Tierra, Zarzo + tierra húmeda, arcilla, arena, estiércol animal y paja, es decir, madera + bahareque. (EARTH/WWD).
- Piedra (STONE).
- Madera (WOOD).
- Acero (STEEL).
- Desconocido (UNK).

Mientras tanto en la Figura 12 se presenta un resumen de los materiales y tipologías encontradas en los siete países de estudio, cabe recalcar que los resultados que se muestran se han condensado a un nivel macro por parte del estudio SARA, es decir, se han agrupado el número de clases de construcción por motivos de claridad en los gráficos, sin embargo en el estudio detallado de cada país se muestran los resultados completos de los mismos. La Figura 12 (a) expone las fracciones de viviendas urbanas de cada país, mientras que la figura (b) muestra los mismos resultados a nivel regional; la figura (c) y (d) ilustran resultados exactamente iguales con la diferencia que van enfocados a viviendas en la zona rural.

GEM Taxonomy	Building class
CR+PC/LWAL/H:1,3	Precast reinforced concrete wall system, between 1 - 3 storeys
CR/LDUAL/DUC/H:4,7	Reinforced concrete dual frame-wall system, between 4 - 7 storeys
CR/LDUAL/DUC/H:8,19	Reinforced concrete dual frame-wall system, between 8 - 19 storeys
CR/LFINF/DNO/H:1,3	Reinforced concrete infilled frame, non ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LFINF/DUC/H:1,3	Reinforced concrete infilled frame, ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LFINF/DUC/H:4,7	Reinforced concrete infilled frame, ductile, between 4 - 7 storeys
CR/LFLS/DNO/H:1,3	Reinforced concrete flat slab/plate or waffle slab, between 1 - 3 storeys
CR/LFLS/DUC/H:1,3	Reinforced concrete flat slab/plate or waffle slab, between 1 - 3 storeys
CR/LFLS/DUC/H:4,7	Reinforced concrete flat slab/plate or waffle slab, between 4 - 7 storeys
CR/LFM/DNO/H:1,3	Reinforced concrete moment frame, non ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LFM/DUC/H:1,3	Reinforced concrete moment frame, ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LFM/DUC/H:4,7	Reinforced concrete moment frame, ductile, between 4 - 7 storeys
CR/LWAL/DNO/H:1,3	Reinforced concrete wall system, non ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LWAL/DNO/H:4,7	Reinforced concrete wall system, non ductile, between 4 - 7 storeys
CR/LWAL/DUC/H:1,3	Reinforced concrete wall system, ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LWAL/DUC/H:4,7	Reinforced concrete wall system, ductile, between 4 - 7 storeys
CR/LWAL/DUC/H:8,19	Reinforced concrete wall system, ductile, between 8 - 19 storeys
ER+ETR/H:1	Reinforced rammed earth, 1 storey
ER+ETR/H:1,2	Reinforced rammed earth, between 1 - 2 storeys
MCF/DNO/H:1	Confined masonry, non ductile, between 1 storey
MCF/DNO/H:1,3	Confined masonry, non ductile, between 1 - 3 storeys
MCF/DUC/H:1,3	Confined masonry, ductile, between 1 - 3 storeys
MR/DNO/H:1,3	Reinforced masonry, non ductile, between 1 - 3 storeys
MR/DUC/H:1,3	Reinforced masonry, ductile, between 1 - 3 storeys
MUR+ADO/H:1	Unreinforced masonry with adobe blocks, 1 storey
MUR+ADO/H:1,2	Unreinforced masonry with adobe blocks, between 1 - 2 storeys
MUR+STDRE/H:1,2	Dressed stone unreinforced masonry , between 1 - 2 storeys
MUR+STRUB/H:1,2	Rubble or semi-dressed stone unreinforced masonry , between 1 - 2 storeys
MUR/H:1	Unreinforced masonry, 1 storey
MUR/H:1,3	Unreinforced masonry, between 1 - 3 storeys
S/LFM/H:4,7	Steel moment frame, between 4 - 7 storeys
UNK	Unknown typology
W+WBB/H:1	Bamboo, 1 storey
W+WHE/H:1,3	Heavy wood, between 1 - 3 storeys
W+WLI/H:1	Light wood members, 1 storey
W+WLI/H:1,3	Light wood members, between 1 - 3 storeys
W+WS/H:1	Solid wood, 1 storey
W+WS/H:1,2	Solid wood, between 1 - 2 storeys
W+WWD/H:1	Wattle and daub, 1 storey
W+WWD/H:1,2	Wattle and daub, between 1 - 2 storeys

Figura 11. Clasificación de construcciones según GEM/SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

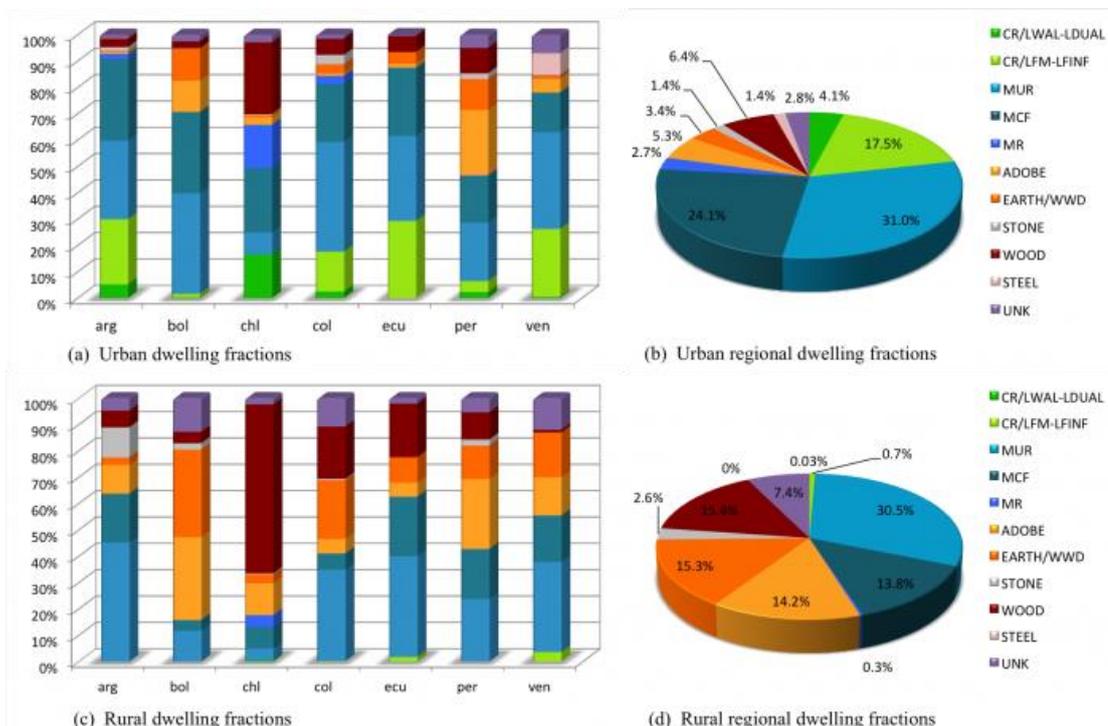


Figura 12. Resumen de Tipologías y Materiales de Vivienda según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

De manera más detallada dentro de la escala regional se ilustra en la Figura 13 un resumen de materiales los cuales predominan en las diferentes construcciones de América del Sur, la explicación y estadísticas de esta figura se menciona a continuación:

A escala regional, el gráfico circular muestra la contribución de cada tipo de edificio (urbano + áreas rurales) al total de la edificación. La construcción de mampostería representa el 55% de la cartera expuesta (siendo las principales tipologías de mampostería no reforzada, confinada y reforzada que representan el 31%, 22% y 2% respectivamente); seguido por el 17% de los edificios de hormigón armado (14% de las estructuras aporricadas con o sin muros de relleno y el 3% de los sistemas duales o paredes portantes), el 13% de las casas de tierra / adobe y el 8% de estructuras de madera. El 7% restante se distribuye entre el acero, la piedra y las tipologías desconocidas (1%, 2% y 4% respectivamente). (South America Risk Assessment, 2017).

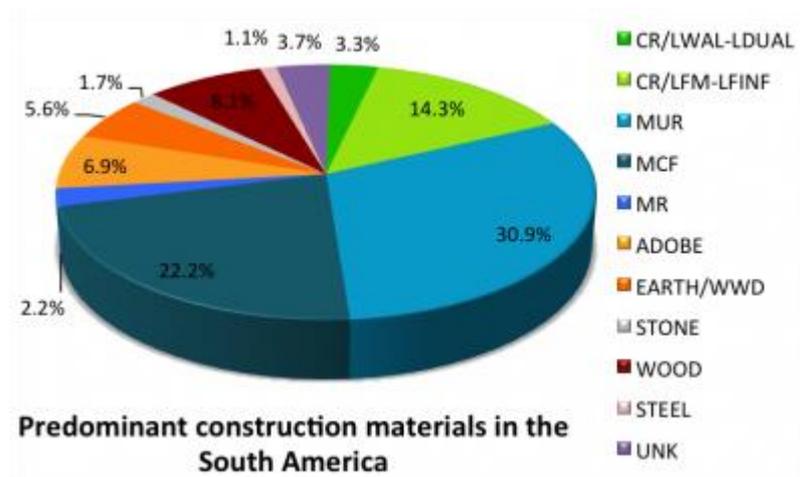


Figura 13. Materiales Predominantes de Construcción según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Uno de los resultados de la investigación fue las diferentes distribuciones de la población de los países andinos, áreas urbanas (en color gris claro) y rurales (en color gris oscuro) tal como muestra la Figura 14. Un promedio regional de ocupantes por vivienda según el análisis del South America Risk Assessment muestra que existen 3.8 personas por vivienda, siendo los más altos Perú y Colombia con 4.3 y 4.2 respectivamente y los más bajos Argentina y Bolivia con 2.9 y 3.6 respectivamente. Estos datos nos pueden brindar una idea estimada de las vidas humanas que se encontrarían en peligro potencial debido a la deficiencia estructural y la vulnerabilidad de sus hogares, haciendo un cálculo rápido mediante datos obtenidos por fuentes informativas.

Por ejemplo en la ciudad de Quito, existen aproximadamente 500 mil viviendas en la ciudad, 6 de cada 10 (60%) de ellas se estima que son informales o irregulares (Jácome, 2017) dando un aproximado de 300 mil viviendas con estas características en la urbe, lo que hemos dicho crea una bomba de tiempo en la ciudad; mediante datos proporcionados por el estudio del SARA mostrados en el párrafo anterior se puede inferir el número de personas en riesgo en nuestra ciudad mediante una simple operación: si existen 300 mil viviendas en potencial riesgo y en cada una de ellas habita un

promedio de 3,8 personas los habitantes en riesgo ante un evento sísmico se traducen en aproximadamente 1140000 habitantes.

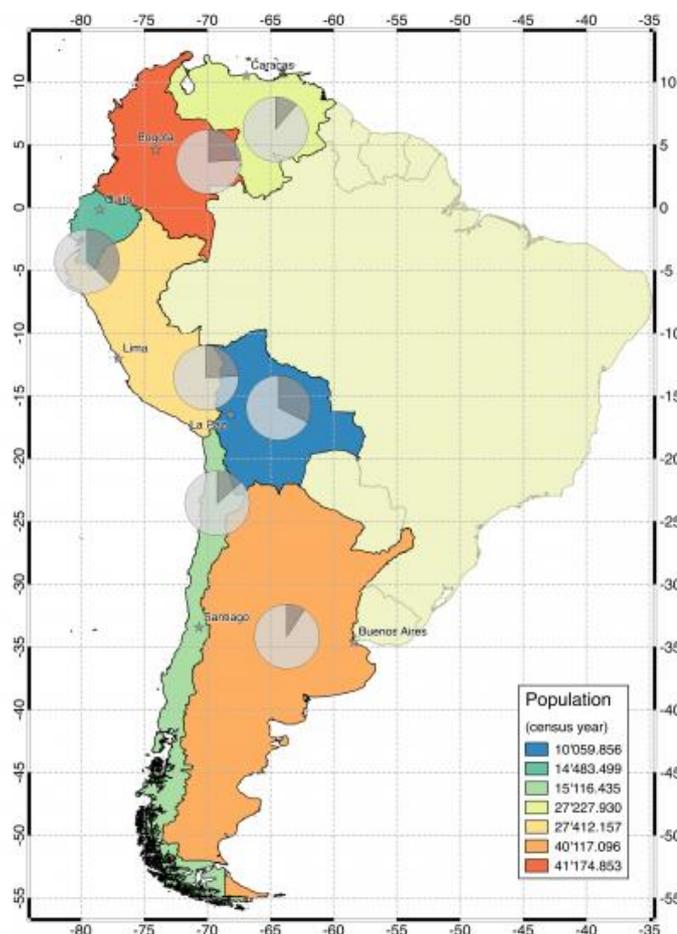


Figura 14. Tendencias en la Población según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Alrededor del 50% de las construcciones se encuentran en tan solo 15 regiones, es decir, 15 ciudades representativas; mostrando de esta manera el nivel de peligro ante un evento sísmico, la Figura 15 además de esto muestra parámetros importantes como la aceleración de suelo (PGA) con una probabilidad del 10% de excedencia para 50 años (datos sobre roca) propio de cada ciudad de acuerdo a sus códigos vigentes de construcción. Se puede inferir de esto que alrededor de 8'237,139 viviendas (17,4%) se encuentran en zonas de alta sismicidad, es decir, con PGA superior a 0,25g, entre las

ciudades asentadas en estas zonas podemos citar: Cali, Quito, Guayaquil, Lima, Santiago, Valencia y Caracas.

Country	Region	Main city	Dwellings		Population (Million)	PGA (g)	Hazard level
			(Million)	(%) *			
Argentina	Buenos Aires	Buenos Aires	6.803	14.40%	18.515	0.04	Low
Colombia	Cundinamarca	Bogota	2.237	4.70%	8.942	0.15	Moderate
Peru	Lima	Lima (and Callao)	2.121	4.50%	9.322	0.4	High
Chile	Met. de Santiago	Santiago	1.532	3.20%	6.061	0.30***	High
Colombia	Antioquia	Medellin	1.401	3.00%	5.563	0.15	Moderate
Venezuela	Gran Caracas**	Caracas	1.359	2.90%	4.972	0.3	High
Argentina	Cordoba	Cordoba	1.232	2.60%	3.309	0.08	Low
Argentina	Santa Fe	Rosario	1.144	2.40%	3.195	0.04	Low
Colombia	Valle	Cali	0.976	2.10%	4.029	0.25	High
Ecuador	Guayas	Guayaquil	0.941	2.00%	3.645	0.5	High
Venezuela	Zulia	Maracaibo	0.889	1.90%	3.704	0.2	Moderate
Bolivia	La Paz	La Paz	0.853	1.80%	2.719	0.05	Low
Ecuador	Pichincha	Quito	0.721	1.50%	2.576	0.4	Hig
Bolivia	Santa Cruz	Santa Cruz	0.645	1.40%	2.658	0.08	Low
Venezuela	Carabobo	Valencia	0.587	1.20%	2.246	0.3	High

* With respect of 47'339,875 dwellings that have been estimated in the Andean region.

** Gran Caracas includes the regions of the Capital District, Miranda and Vargas

*** The probability of exceedance is not specified explicitly in the seismic building code.

Figura 15. Concentración de Viviendas, Población y Riesgo por región, según SARA.

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Para la evaluación y la creación de modelos de riesgo se utiliza una clasificación de las diferentes construcciones, una tipología basada en:

- Características estructurales y el rendimiento esperado bajo acciones sísmicas.
- Informes sobre vivienda de la World Housing Encyclopedia
- Clasificación presente en la Base de Datos de Exposición Mundial (GED)
- Estudios de PAGER y UN-HABITAT
- Experiencia de expertos a nivel regional.

Tomando como premisa los puntos descritos, la edificación residencial se dividió en base al sistema de resistencia de carga lateral y su material, el nivel de ductilidad y el rango de número de pisos.

Las bases de datos suelen proporcionar datos solo del número de viviendas y sus características en un área determinada y más no el número de edificios que son requeridos en los diferentes modelos de exposición, sin mencionar la disparidad de parámetros de evaluación que existen entre cada base de datos (censos) en varios países. A nivel nacional se pudieron obtener datos del número de viviendas por cada clasificación mediante cartografías y la colaboración regional de más de 20 expertos, el resumen de estos datos se muestran en la Figura 16 demarcando con colores más grises las taxonomías o clasificaciones de viviendas principales en cada país.

GEM Taxonomy	Argentina	Bolivia	Chile	Colombia	Ecuador	Peru	Venezuela
CR+PC/LWAL/H:1,3			1.3%	0.3%			
CR/LDUAL/DUC/H:4,7	1.9%	0.2%		0.1%		1.0%	
CR/LDUAL/DUC/H:8,19	1.3%					0.3%	
CR/LFINF/DNO/H:1,3	11.8%			3.5%	4.1%	1.6%	13.9%
CR/LFINF/DUC/H:1,3	3.1%				0.6%	1.6%	1.8%
CR/LFINF/DUC/H:4,7	0.8%			2.3%	0.4%		
CR/LFSL/DNO/H:1,3		0.4%			7.8%		
CR/LFSL/DUC/H:1,3		0.4%			0.7%		
CR/LFSL/DUC/H:4,7					0.8%		
CR/LFM/DNO/H:1,3	4.7%			3.5%	4.0%		6.4%
CR/LFM/DUC/H:1,3	1.6%				0.6%		1.1%
CR/LFM/DUC/H:4,7	0.3%			2.3%	0.4%		
CR/LWAL/DNO/H:1,3	0.6%		4.1%				
CR/LWAL/DNO/H:4,7	0.5%		2.7%			0.2%	
CR/LWAL/DUC/H:1,3			2.6%				
CR/LWAL/DUC/H:4,7	0.5%		2.1%	1.5%		0.2%	0.5%
CR/LWAL/DUC/H:8,19			1.7%			0.2%	
ER+ETR/H:1		10.5%	0.2%	1.6%	1.7%	8.0%	0.7%
ER+ETR/H:1,2		8.0%	1.0%	2.3%	1.1%	1.6%	0.8%
MCF+ADO/DNO/H:1,2	0.7%						
MCF/DNO/H:1	8.9%	1.2%	3.6%	2.9%	4.1%	2.6%	
MCF/DNO/H:1,3	13.5%	16.5%	12.2%	9.7%	19.4%	7.2%	14.6%
MCF/DUC/H:1,3	6.5%	3.7%	6.5%	5.7%	1.2%	8.1%	0.7%
MR/DNO/H:1,3	0.9%		11.1%				
MR/DUC/H:1,3	0.9%		3.6%	2.3%		0.3%	
MUR+ADO/H:1	1.4%	10.5%	0.3%	0.8%	1.8%	18.6%	0.4%
MUR+ADO/H:1,2	0.4%	8.2%	4.0%	1.2%	1.0%	6.6%	5.9%
MUR+STDRE/H:1,2	1.2%	0.5%	0.3%	1.6%		0.9%	
MUR+STRUB/H:1,2	1.2%	0.5%		1.3%		1.3%	
MUR/H:1	9.8%	6.7%	0.1%	4.5%	8.0%	8.9%	0.5%
MUR/H:1,3	21.5%	22.3%	7.7%	35.6%	26.5%	13.7%	36.0%
S/LFM/H:4,7	0.1%						7.5%
UNK	1.6%	6.0%	2.8%	3.6%	1.0%	5.1%	7.6%
W+WBB/H:1				0.8%	5.3%	2.3%	
W+WHE/H:1,3	0.4%	0.1%				0.4%	
W+WLI/H:1	1.4%	0.6%	2.7%	0.3%	0.3%	2.4%	
W+WLI/H:1,3	0.2%	0.4%	20.7%	2.7%	2.1%		0.2%
W+WS/H:1	1.5%	2.2%	1.8%	1.3%	1.6%	4.8%	
W+WS/H:1,2			7.2%	4.1%	2.1%		
W+WWD/H:1	0.6%	0.9%		1.6%	3.6%		0.7%
W+WWD/H:1,2				2.3%		2.4%	0.8%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
TOTAL Dwellings	13,814,471	2,803,982	3,899,448	9,742,956	3,748,919	6,400,131	6,929,968

Figura 16. Clasificación de construcciones por país, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

De acuerdo en lo expuesto en la Figura 16 se muestran los resultados para nuestro país en la Tabla 2, en la misma se expone los 5 mayores porcentajes 26,5% corresponden a mampostería no reforzada con alturas de 1 a 3 pisos, el 19,4% a mampostería confinada no dúctil con alturas de 1 a 3 pisos, 8% mampostería no reforzada con 1 piso de altura, 7,8% a viviendas de hormigón armado con losas macizas, losas planas o losas nervadas con alturas de 1 a 3 pisos y 5,3% correspondientes a viviendas de bambú con 1 piso de altura.

Tabla 2.

Tipologías Estructurales Predominantes en Ecuador, según SARA.

Tipología estructural	Porcentaje	Número Total de Viviendas	Definición
MUR/H:1,3	26,5%	993463	Mampostería no reforzada con alturas de 1 a 3 pisos
MCF/DNO/H:1,3	19,4%	727290	Mampostería confinada no dúctil con alturas de 1 a 3 pisos
MUR/H:1	8,00%	299913	Mampostería no reforzada con 1 piso de altura
CR/LFLS/DNO/H:1,3	7,8%	292415	Viviendas de hormigón armado con losas macizas, losas planas o losas nervadas con alturas de 1 a 3 pisos
W+WBB/H:1	5,3%	198693	Viviendas de bambú de 1 piso en altura

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Como lo mencionamos anteriormente para el desarrollo de una evaluación económica de pérdidas y daños ante un evento sísmico bajo la metodología SARA es necesario cuantificar el número de edificios en lugar del número de viviendas. SARA transforma al número total de viviendas en un número total de edificios equivalentes para cada tipología, esto permite simplificar de cierta manera el siguiente análisis que es el costo de reposición. Esto se resume en una fórmula que resulta de multiplicar el número de viviendas (V), por el número medio de viviendas en cada piso (VP) y por el número medio de plantas (P). Por medio de criterio de expertos se determinó el número promedio de pisos para cada tipología y a su vez el número promedio de viviendas por piso (departamentos), explicado en la Figura 17.

No. of storeys	Avg. # of storeys	Comments on number of storeys	Dwellings per story	Comments on number of dwellings per storeys
H:1	1		1	
H:1,2	1.25	75% of 1 story and 25% of 2 storeys	1	60% of the 2 storeys buildings have only one dwelling
H:1,3_a	1.5	60% of 1 story, 30% of 2 storeys and 10% of 3 storeys.	1	60% of the 2 storeys buildings have only one dwelling. The rest have one dwelling per story.
H:1,3_b	2	20% of 1 story, 60% of 2 storeys and 20% of 3 storeys.	2	50% of the 2 storeys buildings have only one dwelling. The rest have one dwelling per story.
H:1,3_c	2.5	50% of 2 storeys and 50% of 3 storeys	2	40% of the 2 storeys buildings have only one dwelling. The rest have one dwelling per story.
H:4,7	5	Common practice in the countries (up to 5 storeys is not mandatory to have a lift)	3	50% with 2 dwellings/story and 50% with 4 dwellings/story
H:8,19	12	Common practice in the countries	4	Average

* Only applicable for CR+PC/LWAL, MR and S/LFM

Figura 17. Parámetros para cálculo del número de Edificios, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

El paso final del modelo es la llamada estimación del costo de reemplazo de cada tipología de edificación; se refiere netamente al costo que se estima para reemplazar un edificio basado en los últimos lineamientos o parámetros de los códigos de construcción en cada región o país. Este costo incluye el

sistema de construcción (denominado sistema de resistencia de cargas laterales), y los componentes no estructurales (este modelo no contempla el costo del terreno). Para la estimación del costo de edificaciones que no tienen un comportamiento sísmico adecuado (mampostería no reforzada, viviendas informales, etc.) se estima un costo de reemplazo de una estructura aceptada por los códigos vigentes, por ejemplo, en una vivienda de mampostería no reforzada el costo de reemplazo será el de su similar con mampostería confinada o reforzada y en el caso de una informal será el costo de una emergente.

El costo de construcción se encuentra comúnmente tabulado por metro cuadrado (superficie) lo que implicaría que se necesitaría en teoría la superficie promedio para cada tipología, algo muy complicado; para superar este problema la metodología tipifica las viviendas en tres diferentes categorías de calidad a saber: superior, media e inferior con esto cada edificio que entra al estudio se asigna a una de estas tres categorías de calidad, de igual manera se ha aplicado para la reposición estructural, las tipologías de los edificios del análisis clasificadas de acuerdo a esta categoría de calidad se encuentran expuestas en la Figura 18; para facilidad al lector se visualiza en la tabla 3 la descripción completa de estas tipologías estructurales.

Upper Quality	Middle Quality	Lower Quality
CR/LDUAL/DUC/H:4,7	CR+PC/LWAL/H:1,3	ER+ETR/H:1
CR/LDUAL/DUC/H:8,19	CR/LFINF/DNO/H:1,3	ER+ETR/H:1,2
CR/LFINF/DUC/H:1,3	CR/LFLS/DNO/H:1,3	MCF/DNO/H:1
CR/LFINF/DUC/H:4,7	CR/LFM/DNO/H:1,3	MCF/DNO/H:1,3
CR/LFLS/DUC/H:1,3	CR/LWAL/DNO/H:1,3	MUR+ADO/H:1
CR/LFLS/DUC/H:4,7	CR/LWAL/DNO/H:4,7	MUR+ADO/H:1,2
CR/LFM/DUC/H:1,3	MCF/DUC/H:1,3	MUR+STDRE/H:1,2
CR/LFM/DUC/H:4,7	MR/DNO/H:1,3	MUR+STRUB/H:1,2
CR/LWAL/DUC/H:1,3	W+WHE/H:1,3	MUR/H:1
CR/LWAL/DUC/H:4,7	W+WLI/H:1	MUR/H:1,3
CR/LWAL/DUC/H:8,19	W+WLI/H:1,3	UNK
MR/DUC/H:1,3		W+WBB/H:1
S/LFM/H:4,7		W+WS/H:1
		W+WS/H:1,2
		W+WWD/H:1
		W+WWD/H:1,2

Figura 18. Categorización de Calidad para las tipologías de Edificios, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Tabla 3.

Tipologías Estructurales Según Categorización de Calidad, según SARA

Calidad Superior	Calidad Media	Calidad Baja
Sistemas Duales Dúctiles: Pórticos + Muros de Hormigón Armado, 4 a 7 pisos de altura.	Muros de Hormigón Armado Prefabricados, 1 a 3 pisos de altura.	Tierra apisonada reforzada, (tapial) 1 piso
Sistemas Duales Dúctiles: Pórticos + Muros de Hormigón Armado, 8 a 19 pisos	Pórtico de Hormigón Armado con muros de relleno no Dúctil, 1 a 3 pisos de altura	Tierra apisonada reforzada, (tapial) 1 a 2 pisos de altura.
Pórtico de Hormigón Armado con muros de relleno Dúctil, 1 a 3 pisos de altura	Sistemas no dúctiles de hormigón armado con losas macizas, losas planas o losas nervadas con alturas de 1 a 3 pisos	Mampostería confinada no dúctil, 1 piso.
Pórtico de Hormigón Armado con muros de	Pórtico de Hormigón Armado Resistente a	Mampostería confinada no dúctil, 1 a 3 pisos.



relleno Dúctil, 4 a 7 pisos de altura	Momento no dúctil, 1 a 3 pisos.	
Sistemas dúctiles de hormigón armado con losas macizas, losas planas o losas nervadas con alturas de 1 a 3 pisos	Sistemas con Muros no dúctiles de Hormigón Armado, 1 a 3 pisos.	Mampostería no Reforzada con bloques de adobe, 1 piso.
Sistemas dúctiles de hormigón armado con losas macizas, losas planas o losas nervadas con alturas de 4 a 7 pisos	Sistemas con Muros no dúctiles de Hormigón Armado, 4 a 7 pisos.	Mampostería no Reforzada con bloques de adobe, 1 a 2 pisos.
Pórtico de Hormigón Armado Resistente a Momento dúctil, 1 a 3 pisos.	Mampostería confinada dúctil, 1 a 3 pisos de altura.	Mampostería no reforzada sin revestimiento, 1 a 2 pisos.
Pórtico de Hormigón Armado Resistente a Momento dúctil, 4 a 7 pisos.	Mampostería Reforzada no dúctil, 1 a 3 pisos de altura.	Mampostería no reforzada semi revestido, 1 a 2 pisos.
Sistemas con Muros dúctiles de Hormigón Armado, 1 a 3 pisos.	Madera de densidad Alta, 1 a 3 pisos de altura.	Mampostería no reforzada, 1 piso.
Sistemas con Muros dúctiles de Hormigón Armado, 4 a 7 pisos.	Madera de bajo densidad, solo 1 piso de altura.	Mampostería no reforzada, 1 a 3 pisos.
Sistemas con Muros dúctiles de Hormigón Armado, 8 a 19 pisos.	Madera de baja densidad, 1 a 3 pisos de altura	Tipología desconocida.
Mampostería Reforzada dúctil, 1 a 3 pisos de altura.		Sistema Estructural con Bambú, 1 piso.
Pórtico de Acero Resistente a Momento, 4 a 7 pisos.		Madera Sólida, 1 piso
		Madera Sólida, 1 a 2 pisos.



Zarzo (tiras de madera) + tierra húmeda, arcilla, arena, estiércol animal y paja, es decir, madera + bahareque 1 piso
Zarzo (tiras de madera) + tierra húmeda, arcilla, arena, estiércol animal y paja, es decir, madera + bahareque 1 a 2 pisos.

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Finalmente en la Figura 19 se muestran las áreas promedio y sus respectivos costos de reposición de acuerdo a la categorización expresada en los párrafos anteriores, tomando en consideración los lineamientos y valores de referencia disponibles en los informes de viviendas de WHE (World Housing Encyclopedia), cabe recalcar que los valores pueden sufrir cambios en cada país e incluso en cada región dentro de un mismo país así como en las zonas rurales y urbanas, SARA se encuentra consciente de esta disparidad pero sin embargo ha optado por asumir un valor constante hasta realizar un estudio más complejo utilizando otra metodología más específica.

Average floor area per dwelling [m ²]							
Quality	arg	bol	chl	col	ecu	per	ven
Upper	80	70	70	80	80	80	90
Middle	90	70	80	120	90	70	70
Lower	80	60	70	80	70	60	70

Average replacement cost per area [USD/m ²]							
Quality	arg	bol	chl	col	ecu	per	ven
Upper	1,000	500	1,200	900	600	900	800
Middle	700	300	900	450	400	450	400
Lower	300	100	500	250	150	200	200

Figura 19. Área y Costo de reposición promedio por categorización, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

- Tercer Parámetro: Vulnerabilidad Social y Resiliencia.

El componente de vulnerabilidad social de SARA se traduce en el desarrollo de indicadores como:

- Desarrollo comercial e industrial
- Status Socioeconómico
- Estructuración Familiar
- Servicios Médicos, etc.

Estos indicadores se enfocan en mostrar los diferentes niveles de vulnerabilidad social y resiliencia (capacidad del ser humano a reponerse mentalmente después de un evento traumático). El objetivo final es brindar herramientas e información útil que permita tener una idea clara sobre los efectos potenciales de los terremotos en países, las diferentes comunidades y regiones de América del Sur.

Medir los índices de vulnerabilidad social constituye una tarea complicada y depende de un sin número de factores que varía de acuerdo al análisis que se plantee, para el proyecto SARA se especifican diferentes componentes que permiten crear los modelos de vulnerabilidad, entre los destacados tenemos:

- Edad.
- Género.
- Acceso a recursos.
- Distribución de la riqueza.
- Acceso a educación.
- Servicios de instituciones de gobierno.
- Acceso a salud.
- Densidad de infraestructura.

Los indicadores sociales permiten describir o entender de mejor manera por qué ciertos sectores son más vulnerables a las consecuencias de eventos sísmicos, el primer paso de realizar un enfoque social de vulnerabilidad se orienta a un análisis previo de cuan preparada se encuentra la población de cierto sector, de qué manera responde la misma y de cuán rápido se recupera

ante el desastre natural. (Cutter et al.2000 citado en (South America Risk Assessment, 2017)). De similar manera como las empresas contratan servicios de Benchmarking (adoptar los mejores métodos) para promocionar sus servicios, los gobiernos y los profesionales a cargo del riesgo se encuentran buscando una metodología innovadora y actual para evaluar el riesgo y aquí es donde SARA ha tomado lugar compartiendo sus resultados a través de su plataforma y herramientas virtuales.

Las diferentes variables tomadas para el análisis provinieron de los censos abiertos de cada zona o país en estudio. Un resumen de las mismas se muestra en la Tabla 4, un total de 430 variables entre los países de Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Perú, Ecuador y Venezuela fueron evaluadas entre las que destacan población, economía, infraestructura, salud y educación, una clasificación jerárquica de variables como muestra la Figura 20.

Tabla 4.

SARA Organización Administrativa Sub-nacional de Países

Country	Sub-national division	Subdivision count	Indicators collected	
Argentina	Departamento, Partido, Comuna	527	57	Argentina Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INDEC) - Censo 2010
Bolivia	Municipio	341	68	Instituto Nacional de Estadística (INE) de Bolivia - Censo 2012
Chile	Comuna	342	68	Instituto Nacional de Estadística de Chile (INE) - Censo 2002
Colombia	Municipio	1114	60	Colombia Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) - Censo 2005
Ecuador	Parroquia	1024	56	Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - Censo 2010



Perú	Distritos	1833	65	Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) - Censo 2007
Venezuela	Parroquia	1130	47	Instituto Nacional de Estadística (INE), Censo 2011

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

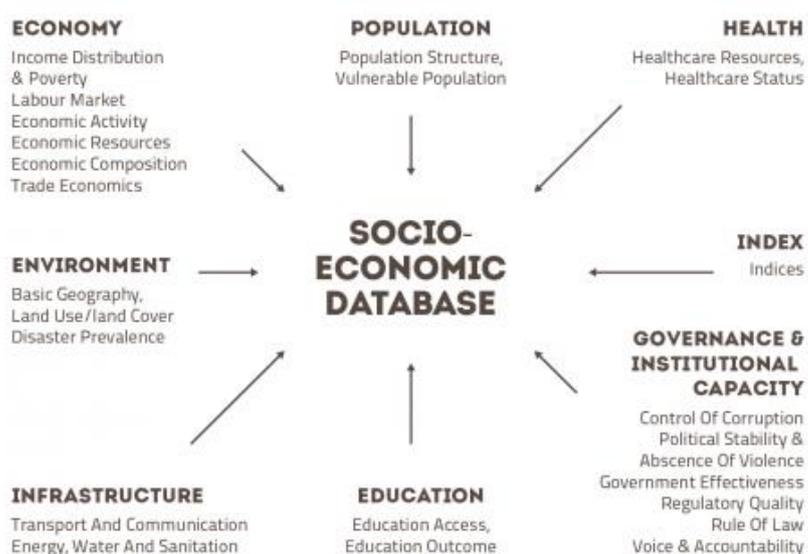


Figura 20. Clasificación Jerárquica de variables, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

A continuación alguna de las variables tomadas en cuenta para el análisis como: población educación y salud se muestran en las Tablas 5, 6 y 7 respectivamente. La evaluación se basa en dos etapas: la primera consiste en la recolección de datos y análisis de los mismos desde una fuente de datos pública (censo) para que en una segunda etapa se clasifique los mismos a través de las diferentes categorizaciones manejadas por GEM.

Tabla 5.

Subtemas, Descripciones y Variables del tema Población, según SARA

Tema	Sub Tema	Descripción	Variables SARA
Población	Población Vulnerable	Describe la población en riesgo o con mayor necesidad.	Población Femenina
			Sobrepoblación
			Indígenas Nativos
			Población sin certificado de natalidad
			Edad
	Estructura de la Población	Categoriza la población en cada país	Población total Densidad Poblacional (habitantes/km ²) Número de hogares

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Tabla 6.

Subtemas, Descripciones y Variables del tema Educación, según SARA

Tema	Sub Tema	Descripción	Variables SARA
Educación	Resultado de la educación	Describe los resultados de la educación y mide los logros de estudiantes y el sistema en general	Tasa de analfabetismo Nivel primario de educación Nivel de educación secundario Nivel de educación superior Población con educación no formal.
	Acceso a la Educación	Categoriza la accesibilidad a la educación	Niños de 7 a 11 años sin educación escolar

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Tabla 7.

Subtemas, Descripciones y Variables del tema Salud, según SARA

Tema	Sub Tema	Descripción	Variables SARA
Salud	Recursos para el cuidado de la salud	Describe los recursos de salud y la accesibilidad de la población a la misma	Número de clínicas y hospitales por cada 1000 pobladores
			Personas en clínicas privadas
			Personas en hospitales públicos
			Distancia al centro médico más cercano
	Estado de la salud	Categoriza el estado de salud actual de la población de un país	Población sin salud
			Población registrada en seguridad social
			Población con seguro privado
		Población económicamente activa sin seguro de salud	

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Cada variable es puntuada en un rango de 0 a 5 y con la sumatoria se obtiene la puntuación final, sin embargo es necesario realizar una nueva escala con una metodología diferente que traduce los valores a un rango de 0 a 1. Estos resultados son los que se comparten en la página oficial del GEM en sus diferentes softwares. La evaluación concluye cuando se le agrega el modelo de pérdidas estimadas para cada región estudiada y el modelo de vulnerabilidad social, es decir, el modelo completo del índice de riesgo físico se constituye con la evaluación del peligro, la exposición y la vulnerabilidad, con el objetivo de que la plataforma OpenQuake permita calcular numerosos

modelos de riesgo estimados. SARA promueve el cálculo del impacto directo de un terremoto bajo la siguiente fórmula:

$$R_t = R_f (1 + F)$$

En donde “Rt” es el índice total de riesgo por terremoto, “Rf” es el índice de riesgo físico, y “F” es el índice de fragilidad social calculado por medio de la vulnerabilidad social.

- Cuarto Parámetro: Cálculo de Pérdidas a nivel Nacional y Regional.

Para el cálculo de pérdidas se ha tomado un enfoque probabilístico que incluye pérdidas económicas y pérdidas de vidas humanas promedio en el transcurso de un año, curvas de pérdidas por país y estadísticas que nos dan un panorama amplio para entender cuál de todas las diferentes tipologías de viviendas se encuentran en situaciones más vulnerables. La estimación de pérdidas a nivel computacional se realiza mediante la utilización de la herramienta OpenQuake, la misma que toma como base el modelo de riesgo sísmico, y los modelos de exposición y vulnerabilidad física mencionados en las secciones anteriores.

Una de las estadísticas más común empleada en este análisis de pérdidas es el denominado “Average Annual Losses” (AAL, Pérdidas Anuales Promedio) y muestra un panorama amplio acerca de las pérdidas estimadas en diferentes áreas e indirectamente cual de todas se encuentran índices más altos de atención económica, el estudio SARA muestra además que Ecuador y Chile presentan mayor valor de AALR (Average Annual Losses Ratio) con valores de 0,44 % y 0,21% respectivamente, lo que significa que estos dos países poseen mayor número de infraestructuras expuestas que los demás de la región; la Figura 21 muestra el mapeo de pérdidas en las regiones andinas en estudio.

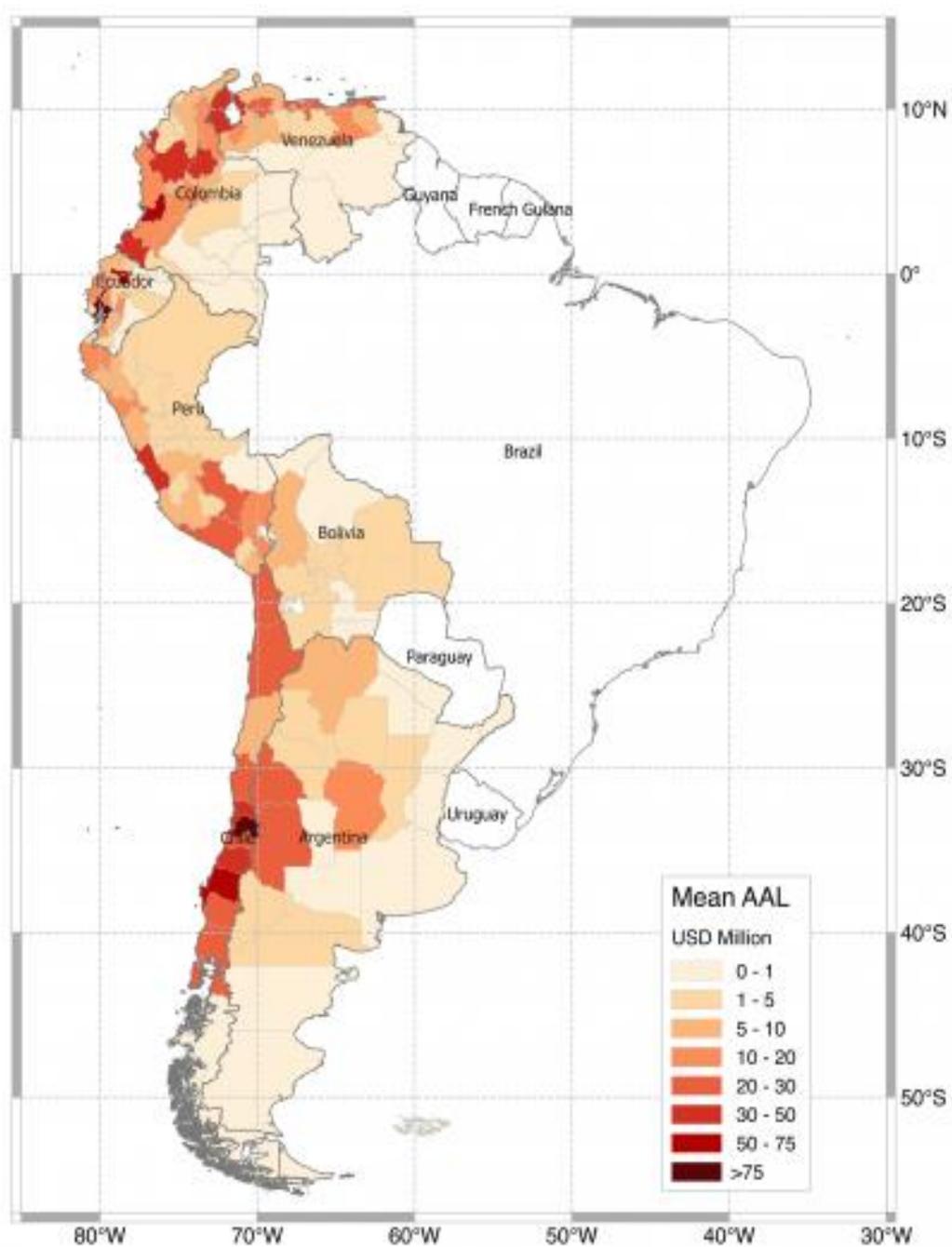


Figura 21. Estimación de pérdidas anuales promedio, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

- Quinto Parámetro: Diferentes ciudades como escenarios.

Las ciudades que han tomado parte en el análisis de evaluación de SARA han sido: Lima, Quito, Iquique, Rancagua, Osorno, Medellín (posteriormente Cali, Antioquia y Bogotá) todas con un fin común, generar un mapeo de vulnerabilidad socio-económica y el riesgo sísmico ante sismo, es decir, una evaluación integral de riesgo sísmico (ISR) ante un evento sísmico siguiendo lineamientos expuestos en este capítulo, de manera rápida se expone los motivos particulares, puesto que cada una de estas metodologías van a ser tratadas con mayor detenimiento en los siguientes puntos de este capítulo.

Lima es la capital de la República del Perú y posee un número considerable de habitantes en los cuales se concentra un valor importante de la producción nacional. Esta ciudad posee ciertas particularidades como por ejemplo su índice elevado de ciudadanos viviendo en condiciones de pobreza 14.5% (South America Risk Assessment, 2017), una parte elevada de la población vive en edificaciones deterioradas o sobre pobladas y por otro lado existen un sin número de asentamientos informales y en lugares sin planificación urbanística lo que conlleva a una precaria estructuración de sus viviendas. Estas peculiaridades hacen que gran parte de la población de Lima estén potencialmente expuestas ante un evento sísmico de magnitud, lo que conlleva a la necesidad de un estudio como el propuesto por SARA.

Quito es la capital de Ecuador con una población superior a los 2 millones de personas y con una geografía complicada ya que se encuentra atravesada por un sistema de fallas complejo que pone en potencial peligro a la ciudad considerando los antecedentes presentados en el primer capítulo de este trabajo, el evento sísmico ocurrido en Agosto de 2014 y los subsiguientes en los años 2015 y 2016 provocaron que las autoridades de turno vieran la necesidad urgente de contar con un análisis completo sobre la situación de la urbe. Debido a que este trabajo tiene como objetivo principal realizar una guía de reforzamiento estructural para edificaciones de la ciudad se procederá a

exponer el estudio del proyecto SARA y sus resultados de manera más amplia en el capítulo siguiente.

Las ciudades de Iquique, Rancagua y Osorno en Chile fueron una de las pioneras en contar con este análisis de riesgo y vulnerabilidad proporcionado por el South America Risk Assessment con la colaboración de CIGIDEN, estas metrópolis fueron escogidas por su ubicación, población y nivel de exposición ante un evento sísmico.

Con la colaboración de la universidad EAFIT un modelo de exposición fue desarrollado en la ciudad de Medellín, este modelo se encuentra compuesto por alrededor de 350 barrios incluyendo el número de viviendas, área de construcción, clasificación de viviendas y valores de reposición. Este modelo se convirtió en la base para lo que posteriormente serían los modelos de Antioquia, Cali y Bogotá.

2.4.1 Experiencia Peruana

Perú se encuentra dividida en 24 departamentos más la provincia constitucional de El Callao, 195 provincias y 1876 distritos en total constituyen este país. Para el mismo se ha desarrollado un modelo de exposición constituido bajo la metodología expuesta en los puntos anteriores tomando como base el cálculo de número de edificios con el fin de estimar las pérdidas y el costo de reposición. La base de datos oficial mediante la cual se partió para el análisis fue el censo nacional realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) realizado en 2007.

Las tipologías más comunes utilizados en las estructuras, referidos por el análisis se basan en los diferentes informes expuestos por PAGER, UN-HABITAT y el World Housing Encyclopedia (WHE) las mismas que se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8.

Tipologías estructurales comunes en Perú, según SARA

Tipología	Descripción	Vulnerabilidad	Promedio de Costo / m ²
Adobe Reforzado	Viviendas provistas con muros o paredes de barro	Alta (pobre comportamiento sísmico).	No especifica en el estudio.
Viviendas de Adobe (1 piso en elevación)	Paredes de adobe con elementos horizontales de madera. Dimensiones típicas 8 – 10 x 5 – 10 m. Altura típica de entepiso: 4 m en zonas costeras y 3 m en zonas interandinas.	Alta (pobre comportamiento sísmico).	20 USD (para el año 2002)
Viviendas de Mampostería Confinada (2 -3 pisos en elevación).	Ladrillo de arcilla confinado con columnas y vigas de concreto reforzado, tipología más común para viviendas unifamiliares. Dimensiones típicas 10 – 15 x 3 - 4 m. Altura típica de entepiso: 2.6 – 2.8 m	Media o Baja (buen comportamiento sísmico).	200 – 250 USD (para el año 2002)
Edificios de Mampostería confinada. (4 – 6 pisos en elevación y promedio de 260 m² de construcción por planta)	Ladrillo de arcilla confinado por columnas y vigas de concreto reforzado, paredes de mampostería diseñados para trabajar en rangos dúctiles. Dimensiones	Mediana o Baja (Buen comportamiento sísmico).	200 – 300 USD (para el año 2002)



típicas: 15 – 30 x 5 -15
 m. Altura típica de
 entrepiso: 2.5 – 2.8 m.
 Distancia entre ejes
 típica 3.5 – 5 m

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Como lo mencionamos para realizar todos estos modelos de análisis en todos los escenarios (ciudades) GEM adopta como base los datos de censos nacionales, en este caso la base fue el censo del año 2007 cuyos resultados y resumen se muestran en la figura 22, los parámetros de evaluación presentados corresponden al material de paredes exteriores, material de piso, tipo de vivienda y tipo de área.

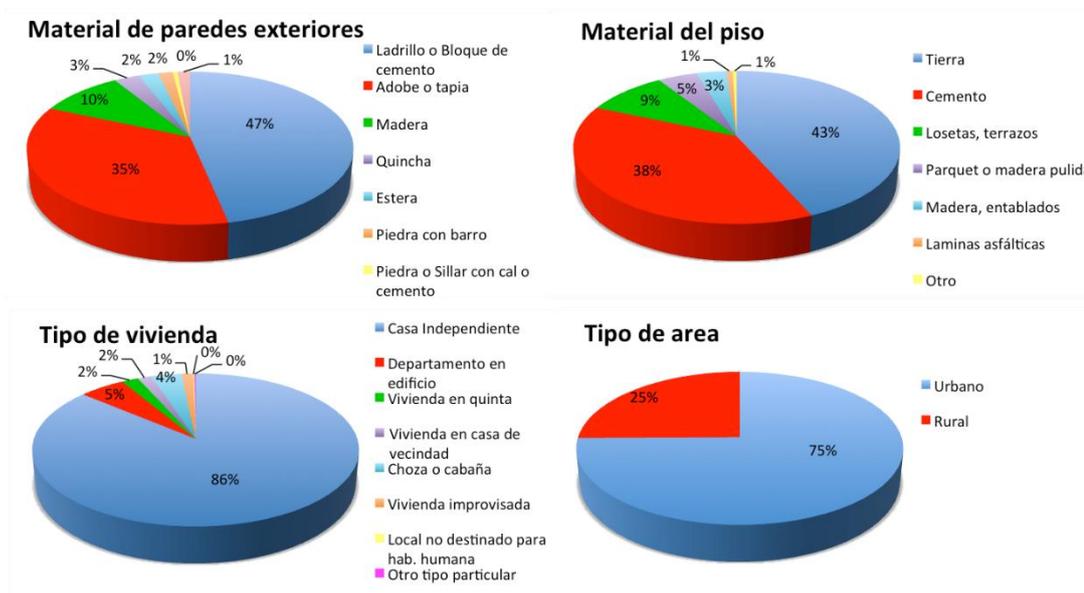


Figura 22. Datos del censo de Perú 2007, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Usando la información mencionada y bajo el criterio de varios expertos se desarrolló los cuadros mostrados en las Figuras 23 y 24. La primera muestra o clasifica las estructuras en categorías basadas en el material predominante de las paredes exteriores y del piso, la segunda clasifica las tipologías de la primera de acuerdo a GEM; paredes de concreto se asumen como paredes

de mampostería confinada y la vivienda conocida como Covacha se refiere a una vivienda informal con paredes de madera. Los parámetros de materiales de paredes exteriores y de piso se han utilizado ya que son los que según el formato del censo 2007 determina las características estructurales de la vivienda. En este trabajo se interpreta que el parámetro piso sirve para identificar características tales como: sistema estructural y cargas aplicadas.

Material paredes (Wall material)	Material de construcción predominante en los pisos (Predominant floor material)						
	Tierra (Earth)	Cemento (Cement)	Losetas, terrazos (Concrete slab)	Parquet o madera pulida (Parquet or polished wood)	Madera, entablados (Wood)	Laminas asfálticas (Asphalt tile)	Otro (Other material)
Ladrillo o Bloque de cemento (Brick or cement block)	100% MUR/H:1	CR/LFM- LFINF- LWAL MUR- MCF- MR	CR/LFM- LFINF- LWAL MUR- MCF- MR	CR/LFM- LFINF- LWAL MUR- MCF- MR	MUR- MCF- MR	CR/LFM- LFINF- LWAL MUR- MCF- MR	100% MUR/H:1
Adobe o tapia (Adobe or tapia)	70% MUR+ADO/H:1 30% ER+ETR/H:1	MUR+ADO ER+ETR	MUR+ADO ER+ETR	MUR+ADO ER+ETR	MUR+ADO ER+ETR	MUR+ADO ER+ETR	70% MUR+ADO/H:1 30% ER+ETR/H:1
Madera (Wood)	50% W+WS/H:1 50% W+WLI/H:1	W+WHE/WLI	W+WHE/WLI	W+WHE/WLI	W+WHE/WLI	W+WHE/WLI	50% W+WS/H:1 50% W+WLI/H:1
Quincha (Quincha)	100% W+WWD/H:1	W+WWD	W+WWD	W+WWD	W+WWD	W+WWD	100% W+WWD/H:1
Estera (Grass, straw or reed)	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1	-	-	100% W+WBB/H:1	-	100% W+WBB/H:1
Piedra con barro (Stone with clay)	50% MUR+STRUB+MOM/H:1 50% MUR+STDRE+MOM/H:1	50% MUR+STRUB+MOM/H:1 50% MUR+STDRE+MOM/H:1	*	*	50% MUR+STRUB+MOM/H:1 50% MUR+STDRE+MOM/H:1	*	50% MUR+STRUB+MOM/H:1 50% MUR+STDRE+MOM/H:1
Piedra o Sillar con cal o cemento (Stone with lime or cement)	30% MUR+STRUB+MOC/H:1 70% MUR+STDRE+MOC/H:1	MUR+ST+MOC	MUR+ST+MOC	MUR+ST+MOC	MUR+ST+MOC	MUR+ST+MOC	30% MUR+STRUB+MOC/H:1 70% MUR+STDRE+MOC/H:1
Otro (Other material)	100% UNK	100% UNK	-	-	100% UNK	-	100% UNK

Figura 23. Clasificación de Estructuras en Perú basadas en materiales de construcción, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Tipo de Vivienda (Type of Dwelling)	Clasificación por Material de Paredes y Pisos (Classification by wall and floor materials)					
	CR/LFM- LFINF- LWAL MUR- MCF- MR	MUR- MCF- MR	MUR+ADO ER+ETR	W+WHE/WLI	W+WWD	MUR+ST+MOC
Casa Independiente (Detached house)	10% CR/LFM/DNO/H:1,3 5% CR/LFM/DUC/H:1,3 10% CR/LFINF/DNO/H:1,3 5% CR/LFINF/DUC/H:1,3 45% MUR/H:1,3 10% MCF/DNO/H:1,3 10% MCF/DUC/H:1,3 5% MR/H:1,3	65% MUR/H:1,3 15% MCF/DNO/H:1,3 15% MCF/DUC/H:1,3 5% MR/H:1,3	70% MUR+ADO/H:1,2 30% ER+ETR/H:1,2	50% W+WHE/H:1,3 50% W+WLI/H:1,3	W+WWD/H:1,2	30% MUR+STRUB+MOC/H:1 70% MUR+STDRE+MOC/H:1
Departamento en edificio (Building department)	10% CR/LFM/DNO/H:1,3 5% CR/LFM/DNO/H:4,7 5% CR/LFM/DUC/H:1,3 5% CR/LFM/DUC/H:4,7 10% CR/LFINF/DNO/H:1,3 5% CR/LFINF/DNO/H:4,7 5% CR/LFINF/DUC/H:1,3 5% CR/LFINF/DUC/H:4,7 5% CR/LWAL/H:4,7 20% MUR/H:1,3 10% MCF/DNO/H:1,3 10% MCF/DUC/H:1,3 5% MR/H:1,3	50% MUR/H:1,3 20% MCF/DNO/H:1,3 20% MCF/DUC/H:1,3 10% MR/H:1,3	70% MUR+ADO/H:1,2 30% ER+ETR/H:1,2	50% W+WHE/H:1,3 50% W+WLI/H:1,3	W+WWD/H:1,2	30% MUR+STRUB+MOC/H:1,2 70% MUR+STDRE+MOC/H:1,2
Vivienda en quinta (Gated community housing)	10% CR/LFM/DNO/H:1,3 5% CR/LFM/DUC/H:1,3 10% CR/LFINF/DNO/H:1,3 5% CR/LFINF/DUC/H:1,3 30% MUR/H:1,3 15% MCF/DNO/H:1,3 15% MCF/DUC/H:1,3 10% MR/H:1,3	50% MUR/H:1,3 25% MCF/DNO/H:1,3 25% MCF/DUC/H:1,3	70% MUR+ADO/H:1,2 30% ER+ETR/H:1,2	50% W+WHE/H:1,3 50% W+WLI/H:1,3	W+WWD/H:1	30% MUR+STRUB+MOC/H:1,2 70% MUR+STDRE+MOC/H:1,2
Vivienda en casa de vecindad (Tenement housing)	10% CR/LFM/DNO/H:1 10% CR/LFINF/DNO/H:1,3 45% MUR/H:1 25% MCF/DNO/H:1,3 5% MCF/DUC/H:1,3 5% MR/H:1	70% MUR/H:1,3 15% MCF/DNO/H:1,3 15% MCF/DUC/H:1,4	70% MUR+ADO/H:1,2 30% ER+ETR/H:1,2	50% W+WHE/H:1,3 50% W+WLI/H:1,3	W+WWD/H:1,2	30% MUR+STRUB+MOC/H:1 70% MUR+STDRE+MOC/H:1
Choza o cabaña (Hut or cottage)	-	-	70% MUR+ADO/H:1 30% ER+ETR/H:1	W+WLI/H:1	W+WWD/H:1	30% MUR+STRUB+MOC/H:1 70% MUR+STDRE+MOC/H:1
Vivienda improvisada (Improvised housing)	-	-	-	UNK	UNK	-
Local no destinado para hab. humana (Shelter unattended for housing)	UNK	UNK	UNK	UNK	UNK	UNK
Otro tipo particular (Other)	-	-	-	-	-	-

Figura 24. Clasificación de Estructuras en Perú de acuerdo a SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Según datos del estudio del SARA, la república del Perú posee un total de 6400131 viviendas distribuidas en 35 tipologías de edificaciones; en la Figura 25 se muestran los porcentajes de las diferentes clasificaciones de viviendas teniendo las predominantes en adobe (24%) y en mampostería no reforzada (22%). Los otros dos pasteles (figura 26) tratan de mostrar la variabilidad de tipología presente en las regiones de este país, para el efecto se muestran los resultados de Lima y Bongara – Amazonas.

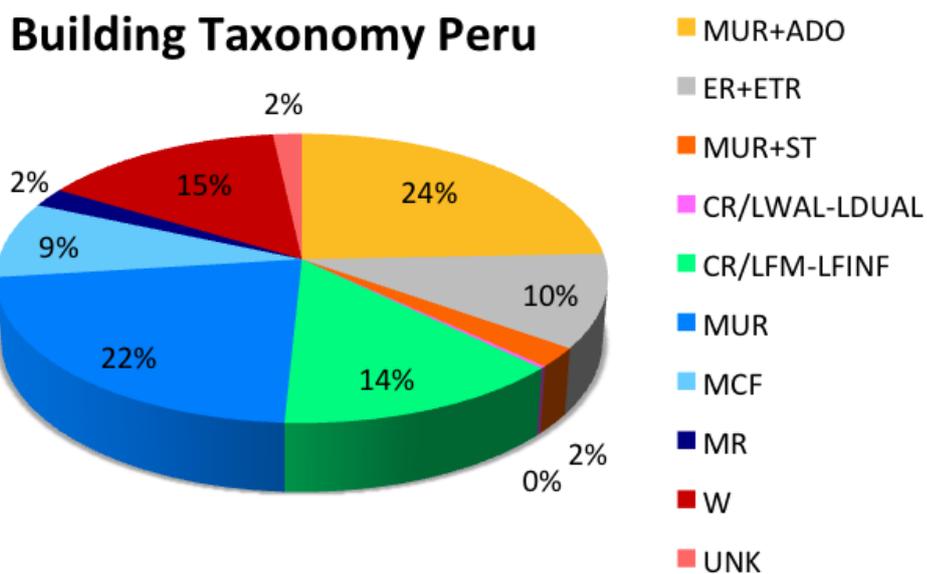


Figura 25. Tipologías de viviendas en Perú según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

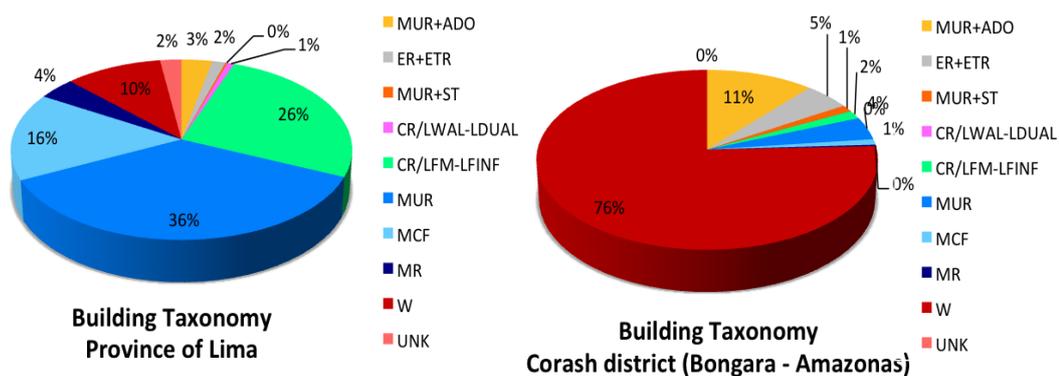


Figura 26. Tipologías de viviendas en Lima y Bongara según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

2.4.2 Experiencia Colombiana

En Colombia se desarrolló un modelo de exposición tomando como base el modelo de Medellín, para las ciudades de Bogotá, Antioquia y Cali. Colombia posee un alto riesgo sísmico y estas tres ciudades representan alrededor del 26 % de la población nacional dando una idea de aproximadamente 12712934 habitantes en riesgo constante por la vulnerabilidad de sus viviendas. Para el desarrollo de los modelos se necesitó información del área construida, el número de pisos en elevación y el sistema estructural.

Diferentes clases de tipologías estructurales fueron tomadas para el análisis refiriéndose al GEM como se muestra en la Figura 27, en la tipología ER+ETR (Reinforced rammed Earth) se agregan las viviendas de tierra apisonada como los edificios realizados con madera predominante en la zona como la acacia.

Building class	GEM Taxonomy
Reinforced concrete infilled frame, ductile	CR/LFINF/DUC
Reinforced concrete infilled frame, non-ductile	CR/LFINF/DNO
Reinforced concrete wall system	CR/LWAL
Reinforced concrete dual frame-wall system	CR/LDUAL
Confined masonry	MCF
Reinforced masonry	MR
Unreinforced masonry	MUR
Unreinforced stone masonry	MUR+STRUB
Reinforced rammed earth ^a	ER+ETR
Wood ^b	W
Unknown or other typologies	UNK

^a This building class aggregates both rammed earth and wattle and daub buildings

^b Non-engineered wood

Figura 27. Tipologías de viviendas en Colombia según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

El costo de reemplazo fue desarrollado basándose en la distribución socio-económica en Colombia, SARA divide esta distribución en un rango de 1 a 6 (siendo el número 1 el menor). Este costo de reemplazo se refiere al costo de la reparación de componentes estructurales y no estructurales sin considerar el costo del terreno, se debe tomar además en consideración que después de

un evento sísmico toda estructura debe ser rehabilitada independientemente de su sistema estructural, es decir, que no es necesario el colapso o el daño estructural grave en una edificación para intervenirla y que ese costo sea tomado en consideración en el modelo de estimación de daños. En la Figura 28 se muestra un cuadro que detalla el costo de reposición en algunas regiones y ciudades de Colombia de acuerdo a cada clasificación socio-económica.

Socio-economic strata	Replacement cost (Colombian Pesos per meter square)				
	Bogotá D.C.	Metropolitan area of Medellín	Other municipalities of Antioquia	Cali	Palmira, Yumbo, Jamundí, Tulúa, Candelaria
1 and 2	625,000	500,000	1,000,000	400,000	800,000
3	925,000	740,000	1,000,000	592,000	800,000
4	1,437,500	1,150,000	1,000,000	920,000	800,000
5	1,812,500	1,450,000	1,000,000	1,160,000	800,000
6	2,187,500	1,750,000	1,000,000	1,400,000	800,000

Figura 28. Costo de reposición de viviendas en Colombia según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Los estratos socioeconómicos en Colombia se definen en 6 clases: la 1 (Bajo-bajo), 2 (Bajo), 3 (Medio-bajo), 4 (Medio), 5 (Medio-alto), 6(Alto); el objetivo de la clasificación es la de cobrar de manera uniforme los servicios públicos, de esta manera se determina que los estratos socioeconómicos del 1 al 3 reciben subsidios mientras que el 5 y 6 pagan contribuciones, el 4 no paga contribución ni recibe subsidio (Wikipedia.org, 2017).

Bogotá D.C es la capital del país cafetero y su modelo de exposición se desarrolló a través de la recopilación de información de 1032 barrios urbanos entre los parámetros más relevantes del análisis se destacan: nombre, localización, número de habitantes, área total de construcción por tipología estructural, número de viviendas, estimación del número de edificios y el costo de reemplazo. Es importante destacar que el sistema estructural se ha definido en función de dos parámetros importantes: la clasificación socio-económica y el número de pisos, 1359 encuestas especializadas fueron

realizadas conjuntamente con el estudio y criterio de profesionales expertos. La Figura 29 muestra el porcentaje de edificios por tipología estructural en el ciudad de Bogotá.

Percentage of buildings of each typology for Bogotá D.C.

Socioeconomic strata	Building typology	Number of storeys										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
1	CR/LFINF		3	5	10	15	30	30	25	20	10	
	CR/LWAL					5	50	70	75	80	70	100
	CR/LDUAL										20	
	MUR	60	60	55	50	40						
	MR	5	10	15	20	30	20					
	MCF	20	25	25	20	10						
	ER+ETR	4										
	W	5										
	UNK	2	2									
2	CR/LFINF		5	10	15	25	30	35	30	25	10	
	CR/LWAL					15	55	65	70	75	70	100
	CR/LDUAL										20	
	MUR	60	55	50	45	35						
	MR	7	15	20	25	20	15					
	MCF	20	25	20	15	5						
	ER+ETR	5										
	W	3										
	UNK	5										
3	CR/LFINF	5	7	15	25	30	30	40	35	30	20	
	CR/LWAL					20	55	60	65	70	60	100
	CR/LDUAL										20	
	MUR	55	53	45	40	25						
	MR	10	15	25	25	25	15					
	MCF	25	25	15	10							
	ER+ETR	5										
4	CR/LFINF	7	10	20	30	45	45	50	50	50	25	
	CR/LWAL				5	15	40	50	50	50	50	100
	CR/LDUAL										25	
	MUR	50	45	35	20	20	15					
	MR	15	20	30	35	20						
	MCF	25	25	15	10							
	ER+ETR	3										
5	CR/LFINF	10	15	30	40	55	60	55	60	65	40	
	CR/LWAL				5	20	30	45	40	35	20	
	CR/LDUAL										40	100
	MUR	40	30	20	10							
	MR	20	25	35	40	25	10					
	MCF		30	30	15	5						
6	CR/LFINF	20	25	35	55	60	65	60	65	70	40	
	CR/LWAL			5	10	20	25	40	35	30	20	
	CR/LDUAL										40	100
	MUR	25	20	10	5							
	MCF	35	25	15								

Figura 29. Porcentaje de edificios por tipología en Bogotá, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Un resumen del modelo de exposición de Bogotá se muestra en la Figura 30, donde se enfatiza que la tipología predominante es la de mampostería no reforzada teniendo un área total construida de 72243563 m² con cerca de 778799 unidades de vivienda que representa cerca del 40% de estructuras en la ciudad. De manera general se expone un área total construida de 179,307,410 m²; 1,925,553 viviendas cuyo número de edificios equivalentes es de 843,856. Además el costo de reposición fue estimado en 173,547,417 millones de pesos colombianos.

Building typology	Built area (m ²)	Number of buildings	Number of dwellings	Percentage of built area	Percentage of number of buildings	Percentage of number of dwellings
RC dual frame-wall system	3,040,536	463	22,256	1.7	0.1	1.2
RC frames (ductile)	16,041,806	35,340	160,048	8.9	4.2	8.3
RC frames (non-ductile)	11,681,695	46,747	128,104	6.5	5.5	6.7
RC walls	15,214,623	4,728	193,208	8.5	0.6	10.0
Earth	881,576	9,795	9,795	0.5	1.2	0.5
Confined masonry	29,077,749	194,263	314,292	16.2	23.0	16.3
Reinforced masonry	30,245,622	139,845	306,475	16.9	16.6	15.9
Unreinforced masonry	72,243,563	400,576	778,799	40.3	47.5	40.4
Unknown	521,570	6,975	7,451	0.3	0.8	0.4
Wood	358,669	5,124	5,124	0.2	0.6	0.3
Total	179,307,410	843,856	1,925,553	100	100	100

Figura 30. Resumen de resultados de modelo de exposición en Bogotá, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

El departamento de Antioquia se encuentra en la parte central del noreste de Colombia y representa alrededor del 13,3% de la población nacional, la capital del departamento de Antioquia es Medellín (ciudad de un primer estudio) cuya población es de 2464322 habitantes estimada en el año 2015. Tres modelos diferentes fueron realizados en el departamento de Antioquia, a saber, el modelo de Medellín, el Valle de Aburrá y otras municipalidades. El modelo de Medellín es el más elaborado puesto que consta de mayor información en la cual se detallan 350 barrios, el Valle de Aburrá consta de 10 municipalidades (una de ellas Medellín), su modelo de exposición es menos elaborado que el de la ciudad mencionada y utilizado para las demás municipalidades. La Figura 31 detalla la información utilizada en cada caso.

Data	Medellín	Aburrá Valley	Other municipalities
Built area	Cadastral map (building resolution)	From homogenous areas defined in the microzonation study of Medellín and the Aburrá Valley	Cadastral map (for some municipalities)
Building height distribution	Cadastral map (building resolution)	Distribution from previous studies	Cadastral map (for some municipalities)
Structural system distribution	N/A	N/A	N/A
Socio-economic strata	Information for each neighborhood	Information for each municipality	N/A
Population	Information for each neighborhood	Information for each municipality	Information for each municipality
Replacement cost	N/A	N/A	N/A

Figura 31. Información utilizada en cada modelo en Colombia, metodología SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

En ciertos casos en los cuales el cuadro de la Figura 31 muestra la opción N/A se ha tomado las siguientes consideraciones:

- Modelo de exposición de Medellín y Valle de Aburrá: Para la distribución del sistema estructural (Structural system distribution) se ha considerado el número de pisos y la condición socio-económica, además de un criterio profesional y encuestas de microzonificación de Medellín. El costo de reemplazo fue desarrollado en base a la condición socio-económica.
- Modelo de exposición de otras municipalidades: El área construida (Built area) fue desarrollada en base a fotos aéreas, para la distribución de sistemas estructurales se ha considerado encuestas virtuales para las municipalidades más pobladas, y el costo de reposición fue asumido en un valor único considerado por criterios profesionales. Un problema principal de estas municipalidades es la falta de información catastral, en estos casos se toma información de municipalidades similares en área y población y de ser el caso se la completa con encuestas de viajes virtuales (google Maps, etc.)

Las tipologías de vivienda como se ha mencionado se basan en términos de la clasificación socio-económica y el número de pisos en elevación, la

distribución de las viviendas en diferentes municipalidades de acuerdo a las tipologías estructurales descritas por GEM se pueden visualizar en el Anexo 1. A su vez el costo de reposición para el departamento de Antioquia es de 135,138,072 millones de pesos colombianos, 57% de este valor corresponde a la ciudad de Medellín, mientras que el Valle de Aburrá representa 97,283,985 millones de pesos. (South America Risk Assessment, 2017).

Cali es la capital del departamento del Valle del Cauca con un área de 554 km² y una población que se estima en 2,369,829 en el año 2015; seis municipalidades constituyen el área metropolitana de Cali (Cali, Palmira, Yumbo, Jamundí, Tuluá y Candelaria) y su población constituye el 64 % del total de los habitantes del departamento del Valle del Cauca. (South America Risk Assessment, 2017).

Información catastral con definiciones de viviendas pudieron ser recolectados para otras municipalidades de la región, sin embargo para Cali no fue posible, teniendo que desarrollar la exposición y vulnerabilidad con datos únicamente de censos; por este motivo se realizó dos modelos de exposición: un modelo propiamente de Cali y otro de las municipalidades restantes.

El modelo de exposición de Cali incluye información de 329 barrios urbanos, tomando como premisa la falta de información catastral mencionada anteriormente el desarrollo del modelo fue mucho más complicado y demandó un mayor esfuerzo, como punto inicial del estudio se tuvo la necesidad de realizar encuestas estructurales en 3222 edificaciones (a manera de censo poblacional) para lo cual se ha dividido la ciudad en 5 zonas homogeneizadas en función del factor socio-económico. En la Figura 32 se muestra el porcentaje de edificaciones por piso y zonas en la ciudad de Cali.

Zone	Percentage of buildings of each storey for homogeneous zones of Cali														
	Number of storeys														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15-20
1-2-3 East	30.00	46.00	16.00	3.00	5.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1-2-3 West	33.00	41.00	13.00	7.00	6.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
4-5 East	27.00	60.00	5.00	3.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.15	0.10
4-5 West	25.00	60.00	5.00	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.15	0.10
6	25.00	55.00	6.00	4.00	3.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.50	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Figura 32. Porcentaje de viviendas por elevación en zonas de Cali, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

De similar manera en las Figuras 33 y 34 se muestran respectivamente el porcentaje de edificios por categoría estructural según tipificación de GEM en zonas homogeneizadas y el mismo análisis por área metropolitana. El costo de reposición resultado de este análisis se estima en 44,898,163 millones de Pesos colombianos para la ciudad de Cali y 13,118,320 para las diferentes municipalidades. En la Figura 35 se muestra el resumen de Cali, mientras que la Figura 36 da un resumen del área metropolitana excluyendo la ciudad de Cali.

Percentage of buildings of each typology for Cali

Homogeneous zone	Building typology	Number of storeys										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
1-2-3 East	CR/LFINF			10	25	40						
	CR/LWAL					25						
	MCF	10	30	25	15							
	MR	5	5	10	20	10						
	MUR	80	65	55	40	25						
	UNK	5										
1-2-3 West	CR/LFINF			10	25	40	50	50	50	50	50	
	CR/LWAL					25	50	50	50	50	50	
	MCF	5	20	25	15							
	MR		5	10	20	10						
	MUR	90	75	55	40	25						
	UNK	5										
4-5 East	CR/LFINF			10	30	45	50	50	50	50	50	
	CR/LWAL					30	50	50	50	50	50	100
	MCF	15	35	20	10							
	MR	10	10	20	30	15						
	MUR	75	55	50	30	10						
	UNK											
4-5 West	CR/LFINF			15	30	45	50	50	50	50	50	
	CR/LWAL					30	50	50	50	50	50	100
	MCF	20	40	20	10							
	MR	10	10	20	30	15						
	MUR	70	50	45	30	10						
	UNK											
6	CR/LFINF	20	20	40	55	60	50	50	50	50	50	
	CR/LWAL				10	25	50	50	50	50	50	
	CR/LDUAL											100
	MCF	55	55	20								
	MR	15	15	30	35	25						
	MUR	10	10	10								

Figura 33. Porcentaje de viviendas por tipología estructural en zonas de Cali, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Percentage of buildings of each typology for the metropolitan area of Cali

Municipality	Building typology	Number of stories									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Palmira	CR/LFINF	5	10	15	30	45	50	50	50	50	50
	CR/LWAL					40	50	50	50	50	50
	MCF	10	20	15	10						
	MR		10	20	30	15					
	MUR	80	60	50	30						
	UNK	5									
Yumbo, Jamundí, Tuluá, Candelaria	CR/LFINF	5	10	15	30	45					
	CR/LWAL					40					
	MCF	10	20	15	10						
	MR		10	20	30	15					
	MUR	80	60	50	30						
	UNK	5									

Figura 34. Porcentaje de viviendas por tipología estructural en municipalidades de Cali, estudio SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Summary of Cali

Building typology	Built area (m ²)	Number of buildings	Number of dwellings	Percentage of built area	Percentage of number of buildings	Percentage of number of dwellings
RC dual frame-wall system	94,000	10	522	0.1	0.0	0.1
RC frames (ductile)	2,700,807	4,126	28,763	4.0	1.2	4.1
RC frames (non-ductile)	4,001,983	8,692	48,856	5.9	2.5	7.0
RC walls	4,202,400	1,421	52,501	6.2	0.4	7.5
Confined masonry	14,717,935	88,871	142,242	21.6	25.7	20.4
Reinforced masonry	5,763,244	25,354	55,233	8.4	7.3	7.9
Unreinforced masonry	36,377,757	212,207	363,341	53.3	61.3	52.1
Unknown	369,865	5,284	5,284	0.5	1.5	0.8
Total	68,227,992	345,965	696,743	100	100	100

Figura 35. Resumen de resultados de análisis en Cali, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Summary of the metropolitan area of Cali (excluding Cali)

Building typology	Built area (m ²)	Number of buildings	Number of dwellings	Percentage of built area	Percentage of number of buildings	Percentage of number of dwellings
RC frames (ductile)	438,914	3,557	5,332	2.7	2.9	3.3
RC frames (non-ductile)	980,596	8,283	11,915	6.0	6.8	7.5
RC walls	35,800	14	545	0.2	0.0	0.3
Confined masonry	2,416,448	18,035	24,164	14.7	14.9	15.1
Reinforced masonry	1,109,179	6,487	11,092	6.8	5.4	7.0
Unreinforced masonry	11,046,546	81,082	102,941	67.4	67.0	64.5
Unknown	370,525	3,529	3,529	2.3	2.9	2.2
Total	16,397,965	120,987	159,517	100	100	100

Figura 36. Resumen de resultados de análisis en áreas metropolitanas de Colombia, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

La siguiente tabla (Tabla 9) muestra un resumen del análisis del proyecto SARA en Colombia, en las ciudades de Bogotá y Cali y el departamento de Antioquia; variables como área, habitantes y costo de reposición son expuestas, denotando así que la ciudad de Cali tiene un mayor costo de reposición.

Tabla 9.

Resumen del estudio SARA en ciudades de Colombia

Ciudad / Departamento / Región	Habitantes / Población	Área	Costo de Reposición
Bogotá	7878783	1,636 km ²	173547417 millones de Pesos
Antioquia (Medellín)	2464322	63612 km ² Antioquia (1115 km ² Medellín)	135138072 millones de Pesos (76386242 millones en Medellín).
Cali	2369829	564 km ²	44898183 millones de pesos (para la ciudad de Cali). 13118320 millones de pesos (otras municipalidades).

2.4.3 Experiencia Chilena

Chile un país altamente sísmico fue el primer escenario para realizar modelos de exposición, con aproximadamente 4200 km de largo, 117 km de ancho y una área de 756096 km² fue dividida en 5 macro regiones: La zona árida del norte grande, la zona semi árida del norte chico, zona central con clima mediterráneo, zona lluviosa del sur, la fría y húmeda zona austral. De este a oeste cuatro zonas fueron demarcadas: cordillera de los Andes, valle central, Cordillera de la costa, planicie costera.

El modelo de exposición chileno se desarrolló en dos modalidades: la primera fue un modelo de exposición nacional realizado por medio de datos obtenidos de las bases públicas expuestas en el censo nacional y la segunda fue un modelo detallado de tres ciudades escenarios realizado por medio de encuestas digitales remotas, de esta manera para los modelos se consideraron 18 tipologías de estructuración (o como SARA determina sistema estructural de resistencia para cargas laterales) validadas o manejadas por GEM, las cuales se muestran en la Tabla 10, y de las que la página oficial detalla las siguientes:

- 4 tipologías para estructuras de concreto reforzado.
- 10 tipologías para estructuras de mampostería.
- 2 tipologías para estructuras de madera.
- 1 tipología para estructuras de adobe.
- 1 tipología para estructuras informales o de construcción propia.

Tabla 10.

Tipologías usadas en el estudio de SARA en Chile

Typology number	Description	GEM Taxonomy
1	Reinforced concrete, 1-3 story houses	CR/LWAL/HBET:1,3/RES+RES1
2	Reinforced concrete, 3-9 story buildings	CR/LWAL/HBET:3,9/RES+RES2
3	Reinforced concrete, 10-24 story buildings	CR/LWAL/HBET:10,24/RES+RES2
4	Reinforced concrete, 25 or more story buildings	CR/LWAL/HBET:25,40/RES+RES2
5	Unreinforced clay brick masonry, 1-2 story houses	MUR+CLBRS+MOC/LWAL/HBET:1,2/RES+RES1
6	Reinforced clay brick masonry, 1-2 story houses	MR+CLBRH+RS+MOC/LWAL/HBET:1,2/RES+RES1
7	Reinforced clay brick masonry, 3 story buildings	MR+CLBRH+RS+MOC/LWAL/HEX:3/RES+RES2
8	Reinforced clay brick masonry, 4-5 story buildings	MR+CLBRH+RS+MOC/LWAL/HBET:4,5/RES+RES2
9	Confined clay brick masonry, 1-2 story houses	MCF+CLBRS+MOC/LWAL/HBET:1,2/RES+RES1 MCF+CLBRH+MOC/LWAL/HBET:1,2/RES+RES1
10	Confined clay brick masonry, 3 story buildings	MCF+CLBRS+MOC/LWAL/HEX:3/RES+RES2 MCF+CLBRH+MOC/LWAL/HEX:3/RES+RES2
11	Confined clay brick masonry, 4-5 story buildings	MCF+CLBRS+MOC/LWAL/HBET:4,5/RES+RES2 MCF+CLBRH+MOC/LWAL/HBET:4,5/RES+RES2



12	Reinforced or confined concrete block masonry, 1-2 story houses	MCF+CBH+MOC/LWAL/HBET:1,2/RES+RES1
		MR+CBH+RS+MOC/LWAL/HBET:1,2/RES+RES1
13	Reinforced or confined concrete block masonry, 3 story buildings	MCF+CBH+MOC/LWAL/HEX:3/RES+RES2
		MR+CBH+RS+MOC/LWAL/HEX:3/RES+RES2
14	Reinforced or confined concrete block masonry, 4-5 story buildings	MCF+CBH+MOC/LWAL/HBET:4,5/RES+RES2
		MR+CBH+RS+MOC/LWAL/HBET:4,5/RES+RES2
15	Timber houses	W/LWAL/HBET:1,3/RES+RES1
16	Emergency houses	W/LWAL+DNO/HBET:1,2/RES
17	Adobe houses	MUR+ADO+MOM/LWAL+DNO/HBET:1,2/RES+RES1
18	Informal or self-construction housing	MATO/LWAL+DNO/HBET:1,2/RES+RES6

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

La metodología que SARA expone en sus cinco puntos de acción es la que implementa en cada análisis es por este motivo que la metodología tiene como inicio obtener información de bases de datos estatales como los censos. El modelo de exposición de Chile se basa en tres bases de datos censales: la primera el censo de 2002 el mismo que fue realizado bajo el criterio de profesionales no expertos en la rama y tuvo como datos principales los siguientes:

- Material de paredes exteriores
- Localización de viviendas.
- Tipo de edificación (casa, edificio, departamento, construcción emergente, construcción informal, etc.)

El segundo censo correspondió a la base de datos del UESF (Unique Edification Statistic Form), una base de datos que provee y almacena información sobre los permisos de construcción emitidos para las diversas edificaciones y sus modificaciones, una institución similar al colegio de arquitectos o a la Camicon (Entidades Colaboradoras de Pichincha). Esta base de datos resulta de gran ayuda para tomar información de edificaciones construidas en el período del 2002 al 2014, sin embargo esta base de datos muestra dos falencias importantes como son la no inclusión de información de años anteriores al 2002 ni tampoco la información de viviendas emergentes o las viviendas informales. De esta base de datos se extrajeron datos como:

- Localización de la edificación.
- Número de estructuras.
- Tipología de la estructura.
- Número de pisos de cada estructura.
- Material de paredes exteriores.
- Porcentaje de diferentes materiales en paredes exteriores.

La tercera base de datos que se consideró para el análisis fue la del censo realizado en 2012, este censo obtuvo un sin número de críticas puesto que se visualizaron anomalías en la toma de información teniendo un 9,3% de información omitida motivo por el cual el gobierno central optó por desconocer oficialmente este trabajo, sin embargo este informe fue de gran ayuda para culminar el modelo de exposición por SARA puesto que aquí se visualizaban datos mucho más actuales del número de casas emergentes y también las informales en todo el país. El censo del 2012 se utilizó solo para estimar datos de estas dos tipologías de vivienda.

Cabe recalcar que existe una diferencia entre el concepto de vivienda emergente y vivienda informal; una vivienda informal es aquella construida por el propietario sin normas técnicas y sin supervisión profesional y su costo corre por cuenta del dueño de la edificación; una vivienda emergente es aquella que el gobierno, autoridades de turno o instituciones de ayuda otorgan para la

población que después de un evento natural ha perdido su vivienda; casualmente las viviendas emergentes que son costeadas por el gobierno central casi en su mayoría suplen a las viviendas informales afectadas, un ejemplo de esto es el caso que se vivió en el país después del evento sísmico del 16 de Abril de 2016.

Para la determinación del número de estructuras se hizo una correlación entre las tres bases de datos disponibles, para estructuras construidas antes del 2002 se correlacionaron datos de los informes del censo 2002 con las 18 tipologías presentadas por SARA, los datos del informe UESF se correlacionan con el modelo de 2002 mientras que como mencionamos los datos del número de viviendas emergentes e informales se muestran bajo el análisis del censo 2012.

Para la estimación de pérdidas se visualiza primero el área promedio por tipología de estructuración tal y como se ha especificado anteriormente, el costo de reemplazo depende de factores como: ubicación, condiciones estructurales, depreciación, coeficientes comerciales aplicados a zonas comerciales; por ejemplo el coeficiente que corresponde a la ubicación se enfoca en un rango de 1 a 0.4, las mejores tienen un coeficiente de 1 mientras que las peores 0.4, para valores intermedios se procede a la interpolación. Para estimar el costo de reposición de las estructuras informales se calcula la reposición de una estructura emergente, puesto que después de un evento sísmico se implementará una de estas estructuras por el gobierno de turno o instituciones de ayuda para solventar las viviendas informales que hayan sido afectadas. Los datos a nivel nacional en temas como: número de estructuras, habitantes, área construida, costo de reemplazo se visualizan en el Anexo 2.

El modelo de exposición y vulnerabilidad de detalle se realizó para tres ciudades que representan las tres regiones macro de Chile: Iquique (196437 habitantes) por el Norte Grande, Rancagua (232639) por la Zona Central, y Osorno (157389 habitantes) por la Zona Sur. La Tabla 11 muestra datos generales de cobertura de las tres ciudades en estudio.

Tabla 11.

Datos de Cobertura en Chile, según SARA

	Iquique	Rancagua	Osorno
Total surface (km²)	18.5	46.2	29.0
Covered surface (km²)	14.4	34.4	22.0
% Covered surface	77.6	74.4	75.7
Points marked	8,216	5,680	7,070
Structures	27,025	47,220	29,734
Working hours (WH)	360	376	176
Points/WH	22.8	15.1	40.2
Structures/WH	75.1	125.6	168.9
Structures/Points	3.3	8.3	4.2

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

En las siguientes Figuras (37, 38 ,39) se muestra la extrapolación del modelo nacional al modelo de detalle de cada ciudad de estudio, la información presente muestra las diferentes tipologías de estructuración extrapolada a cada modelo o escenario en estudio, datos más generales y profundos se encuentran en la página oficial del South America Risk Assessment.

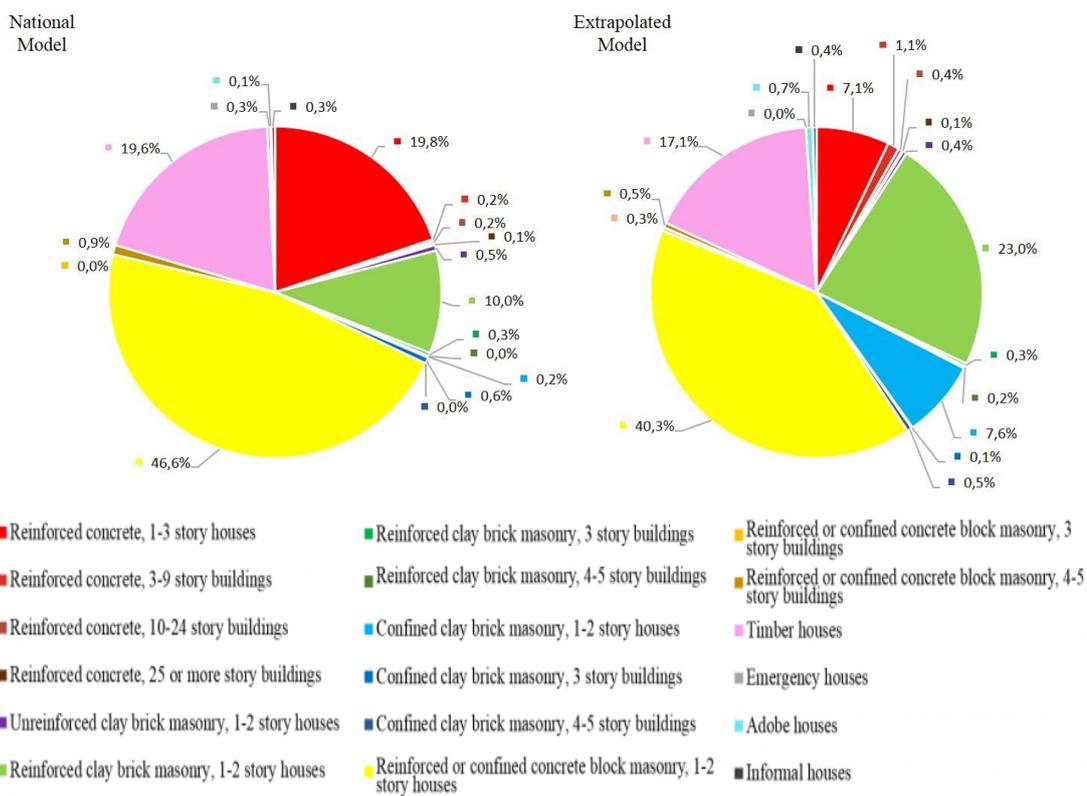


Figura 37. Modelo de extrapolación para Iquique, metodología SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

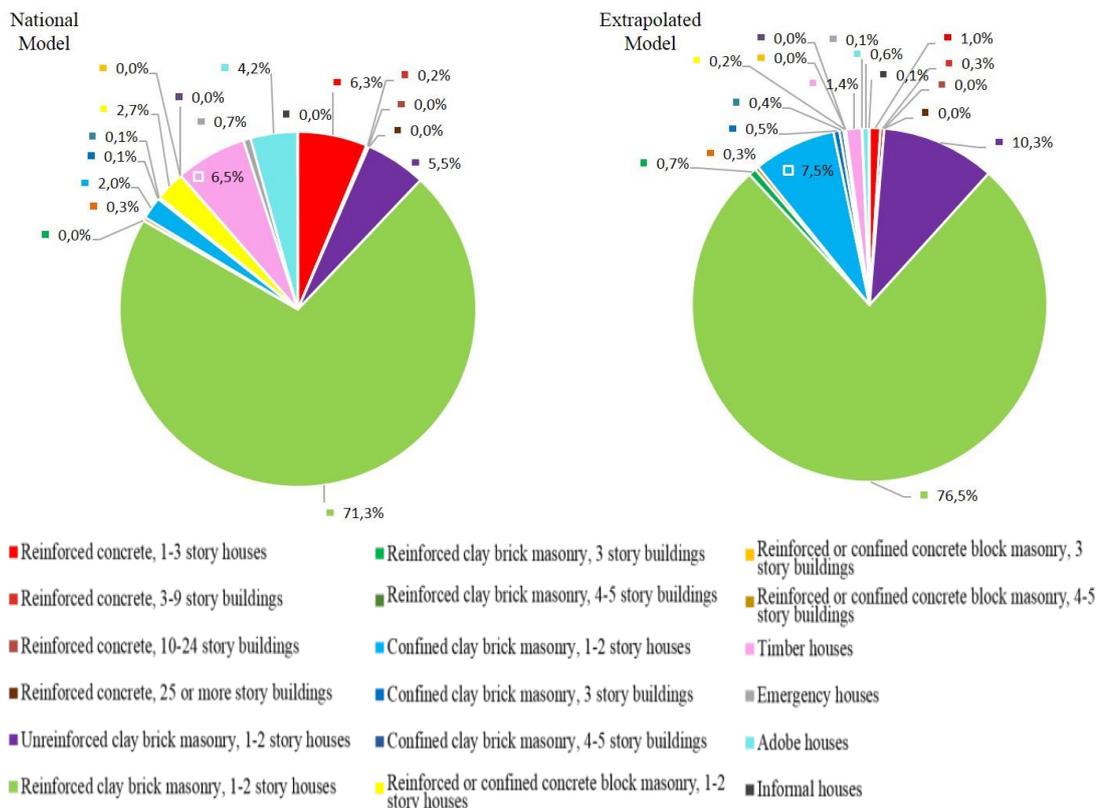


Figura 38. Modelo de extrapolación para Rancagua, metodología SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

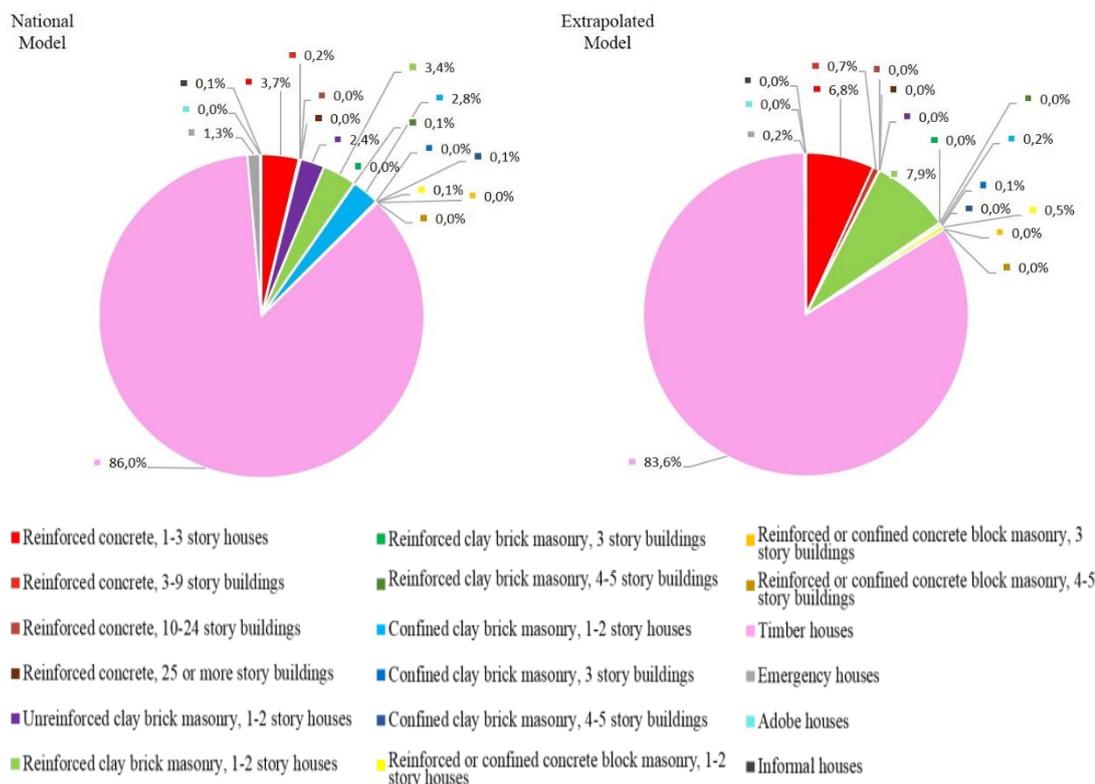


Figura 39. Modelo de extrapolación para Osorno, metodología SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

2.1.1 Experiencia Ecuatoriana

Ecuador presenta una metodología de trabajo muy similar a la realizada en Perú, con el fin de presentar un modelo de exposición y uno similar de pérdidas estimadas. La información se ha podido obtener en base al censo poblacional realizado en 2010 por parte del INEC, los materiales comunes utilizados a su vez se han definido por los organismos citados en otros proyectos como son: PAGER, UN – HABITAT y WHE así como también las tipologías constructivas; un resumen de estas clasificaciones se muestran en la Figura 40.

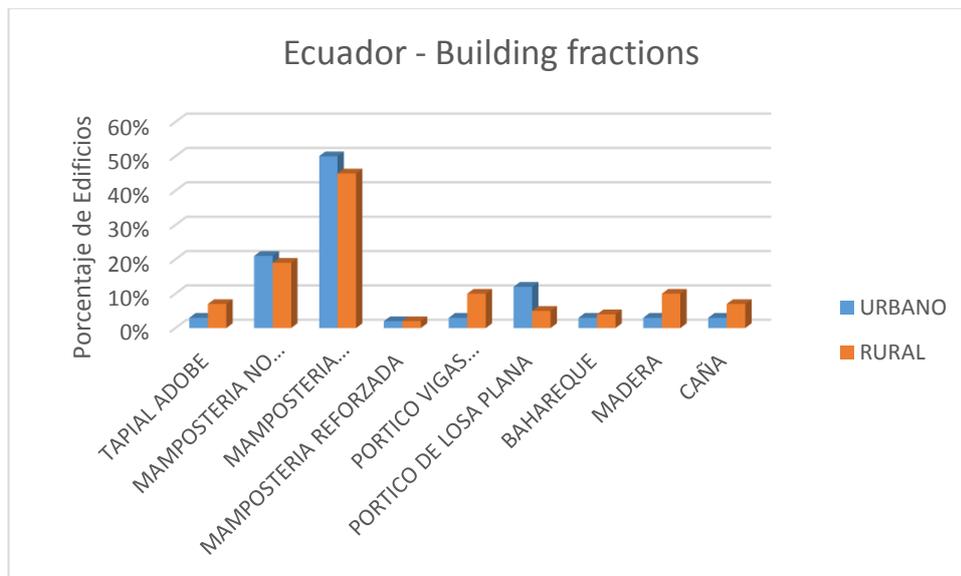


Figura 40. Tipologías constructivas presentes en Ecuador, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

De similar manera como en el estudio peruano se muestra un resumen de materiales en base al censo citado con anterioridad, los gráficos de pastel tomados de la página principal del estudio SARA se encuentran diferenciados por el material de las paredes exteriores, tipo de vivienda, tipo de área y material de piso tanto en áreas urbanas y rurales como muestran las Figuras 41 y 42.



Figura 41. Resumen de parámetros censales en Ecuador, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

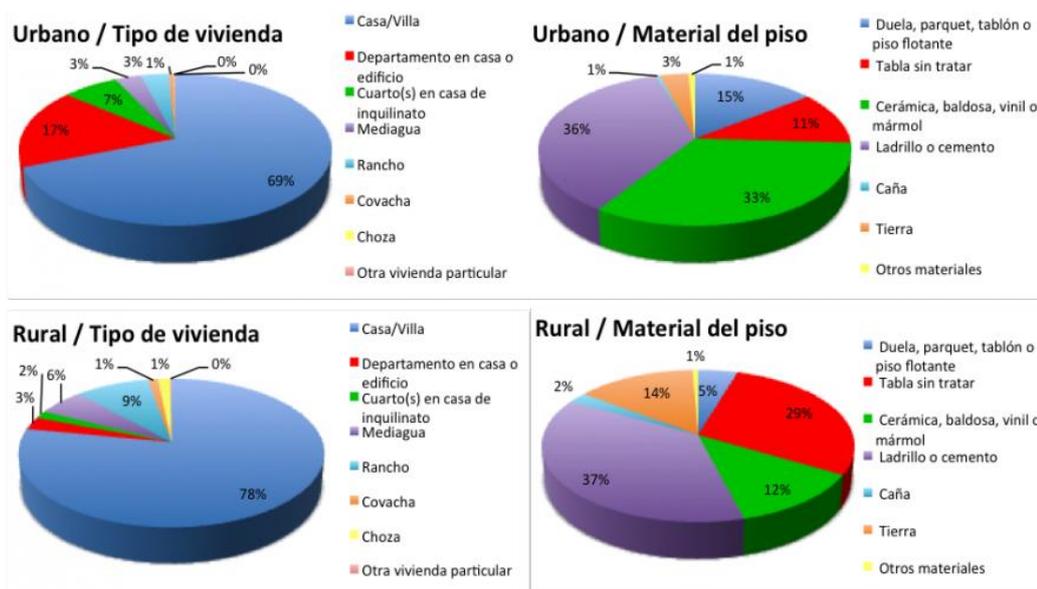


Figura 42. Resumen de parámetros censales en Ecuador por tipo de piso, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Las tipologías de vivienda mencionadas en las figuras anteriores se describen a continuación, las definiciones de cada término se han extraído del manual del encuestador del censo 2010 en Ecuador realizado por el INEC. La

pregunta referente al Tipo de Vivienda debe ser llenada en base a la observación del Encuestador/a (Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos INEC, 2013) tomando en consideración el significado de las siguientes terminologías.

- **Rancho:** Es una construcción rústica, cubierta con palma, paja o cualquier otro material similar, con paredes de caña o bahareque y con piso de caña, madera o tierra, por lo habitual este tipo de vivienda se da en la región Costa y Amazonía. En esta categoría no entran los “ranchos” de las quintas ni fincas que generalmente tienen personas de ingresos altos, estos son considerados como casas.
- **Choza:** Es la construcción que tiene paredes de adobe, tapia o paja, con piso de tierra y techo de paja.
- **Covacha:** Es aquella construcción en la que se utiliza materiales rústicos tales como: ramas, cartones, restos de asbesto, latas, plásticos, etc., con piso de madera caño o tierra.

Mediante esta información y bajo el criterio de profesionales con experiencia se elaboraron dos cuadros de clasificación de edificaciones: el primer cuadro clasifica a la estructura en una tipología de acuerdo a su material de paredes exteriores y material de piso, mientras que el segundo cuadro trata de emparejar esta primera clasificación con las diferentes taxonomías propuestas por el estudio del GEM, como veremos en las dos figuras siguientes (Figuras 43 y 44) los resultados se han llevado a nivel urbano y rural.

Material paredes (Wall material)	Material de construcción predominante en los pisos (Predominant floor material)						
	Duela, parquet, tablón o piso flotante (Parquet or polished wood)	Tabla sin tratar (Rough wood)	Cerámica, baldosa, vinil o mármol (Ceramic, Tile, vinyl or marble)	Ladrillo o cemento (Brick or cement)	Caña (Cane)	Tierra (Earth)	Otros materiales (Other material)
Hormigón (Reinforced concrete)	OPTION A1	20% MCF/DNO/H:1 10% MCF/DNO/H:1,3 50% MUR/H:1 20% MUR/H:1,3	OPTION A1	OPTION A2	20% MCF/DNO/H:1 10% MCF/DNO/H:1,3 50% MUR/H:1 20% MUR/H:1,3	100% MUR/H:1	100% MUR/H:1
Ladrillo o bloque (Brick or cement block)	OPTION A1	20% MCF/DNO/H:1 10% MCF/DNO/H:1,3 50% MUR/H:1 20% MUR/H:1,3	OPTION A1	OPTION A2	20% MCF/DNO/H:1 10% MCF/DNO/H:1,3 50% MUR/H:1 20% MUR/H:1,3	100% MUR/H:1	100% MUR/H:1
Adobe o tapia (Adobe or tapia)	OPTION B	50% MUR+ADO/H:1 50% ER+ETR/H:1	OPTION B	OPTION B	50% MUR+ADO/H:1 50% ER+ETR/H:1	50% MUR+ADO/H:1 50% ER+ETR/H:1	50% MUR+ADO/H:1 50% ER+ETR/H:1
Madera (Wood)	OPTION C	OPTION C	OPTION C	OPTION C	20% W+WLI/H:1 60% W+WS/H:1 20% UNK	20% W+WLI/H:1 60% W+WS/H:1 20% UNK	20% W+WLI/H:1 60% W+WS/H:1 20% UNK
Caña revestida o bahareque (Cane with mud or bahareque)	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1
Caña no revestida (Cane without mud)	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1
Otros materiales (Other material)	100% UNK	100% UNK	-	100% UNK	100% UNK	100% UNK	100% UNK

Tipo de Vivienda (Type of Dwelling)	Clasificación por Material de Paredes y Pisos (Classification by wall and floor materials)			
	OPTION A1	OPTION A2	OPTION B	OPTION C
Casa/Villa	10% CR/LFINF/DNO/H:1,3 3% CR/LFINF/DUC/H:1,3 3% CR/LFLS/DUC/H:1,3 20% CR/LFLS/DNO/H:1,3 10% CR/LFM/DNO/H:1,3 3% CR/LFM/DUC/H:1,3 25% MCF/DNO/H:1,3 1% MCF/DUC/H:1,3 25% MUR/H:1,3	5% CR/LFINF/DNO/H:1,3 5% CR/LFLS/DNO/H:1,3 5% CR/LFM/DNO/H:1,3 35% MCF/DNO/H:1,3 50% MUR/H:1,3	50% MUR+ADO/H:1,2 50% ER+ETR/H:1,2	50% W+WLI/H:1,3 50% W+WS/H:1,2
Departamento en casa o edificio	10% CR/LFINF/DNO/H:1,3 5% CR/LFINF/DUC/H:4,7 10% CR/LFLS/DUC/H:4,7 20% CR/LFLS/DNO/H:1,3 10% CR/LFM/DNO/H:1,3 5% CR/LFM/DUC/H:4,7 25% MCF/DNO/H:1,3 5% MCF/DUC/H:1,3 10% MUR/H:1,3	10% CR/LFINF/DNO/H:1,3 5% CR/LFLS/DUC/H:1,3 15% CR/LFLS/DNO/H:1,3 5% CR/LFM/DNO/H:1,3 30% MCF/DNO/H:1,3 5% MCF/DUC/H:1,3 30% MUR/H:1,3	30% MUR+ADO/H:1,2 70% ER+ETR/H:1,2	70% W+WLI/H:1,3 30% W+WS/H:1,2
Cuarto(s) en casa de inquilinato	10% CR/LFINF/DNO/H:1,3 20% CR/LFLS/DNO/H:1,3 10% CR/LFM/DNO/H:1,3 30% MCF/DNO/H:1,3 30% MUR/H:1,3	5% CR/LFINF/DNO/H:1,3 5% CR/LFLS/DNO/H:1,3 5% CR/LFM/DNO/H:1,3 35% MCF/DNO/H:1,3 50% MUR/H:1,3	50% MUR+ADO/H:1,2 50% ER+ETR/H:1,2	50% W+WLI/H:1,3 50% W+WS/H:1,2
Mediagua	20% MCF/DNO/H:1 80% MUR/H:1	20% MCF/DNO/H:1 80% MUR/H:1	80% MUR+ADO/H:1 20% ER+ETR/H:1	30% W+WLI/H:1 70% W+WS/H:1
Rancho	-	-	-	60% W+WS/H:1 40% UNK
Covacha	-	-	-	60% W+WS/H:1 40% UNK
Chaca	100% MUR/H:1	100% MUR/H:1	80% MUR+ADO/H:1	60% W+WS/H:1

Figura 43. Tipologías estructurales por material de paredes exteriores y piso en zonas urbanas de Ecuador, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Material paredes (Wall material)	Material de construcción predominante en los pisos (Predominant floor material)						
	Duela, parquet, tablón o piso flotante (Parquet or polished wood)	Tabla sin tratar (Rough wood)	Cerámica, baldosa, vinil o mármol (Ceramic, Tile, vinyl or marble)	Ladrillo o cemento (Brick or cement)	Caña (Cane)	Tierra (Earth)	Otros materiales (Other material)
Hormigón (Reinforced concrete)	OPTION A1	20% MCF/DNO/H:1 10% MCF/DNO/H:1,3 50% MUR/H:1 20% MUR/H:1,3	OPTION A1	OPTION A2	20% MCF/DNO/H:1 10% MCF/DNO/H:1,3 50% MUR/H:1 20% MUR/H:1,3	100% MUR/H:1	100% MUR/H:1
Ladrillo o bloque (Brick or cement block)	OPTION A1	20% MCF/DNO/H:1 10% MCF/DNO/H:1,3 50% MUR/H:1 20% MUR/H:1,3	OPTION A1	OPTION A2	20% MCF/DNO/H:1 10% MCF/DNO/H:1,3 50% MUR/H:1 20% MUR/H:1,3	100% MUR/H:1	100% MUR/H:1
Adobe o tapia (Adobe or tapia)	OPTION B	50% MUR+ADO/H:1 50% ER+ETR/H:1	OPTION B	OPTION B	50% MUR+ADO/H:1 50% ER+ETR/H:1	50% MUR+ADO/H:1 50% ER+ETR/H:1	50% MUR+ADO/H:1 50% ER+ETR/H:1
Madera (Wood)	OPTION C	OPTION C	OPTION C	OPTION C	20% MCF/DNO/H:1 20% W+WLI/H:1 60% W+WS/H:1 20% UNK	20% W+WLI/H:1 60% W+WS/H:1 20% UNK	20% W+WLI/H:1 60% W+WS/H:1 20% UNK
Caña revestida o bahareque (Cane with mud or bahareque)	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1	100% W+WWD/H:1
Caña no revestida (Cane without mud)	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1	100% W+WBB/H:1
Otros materiales (Other material)	100% UNK	100% UNK	-	100% UNK	100% UNK	100% UNK	100% UNK

Tipo de Vivienda (Type of Dwelling)	Clasificación por Material de Paredes y Pisos (Classification by wall and floor materials)			
	OPTION A1	OPTION A2	OPTION B	OPTION C
Casa/Villa	10% CR/LFLS/DNO/H:1,3 10% MCF/DNO/H:1 30% MCF/DNO/H:1,3 10% MCF/DUC/H:1,3 40% MUR/H:1,3	20% MCF/DNO/H:1 20% MCF/DNO/H:1,3 60% MUR/H:1,3	50% MUR+ADO/H:1,2 50% ER+ETR/H:1,2	50% W+WLI/H:1,3 50% W+WS/H:1,2
Departamento en casa o edificio	20% CR/LFLS/DNO/H:1,3 50% MCF/DNO/H:1,3 30% MUR/H:1,3	60% MCF/DNO/H:1,3 40% MUR/H:1,3	30% MUR+ADO/H:1,2 70% ER+ETR/H:1,2	70% W+WLI/H:1,3 30% W+WS/H:1,2
Cuarto(s) en casa de inquilinato	10% CR/LFLS/DNO/H:1,3 20% MCF/DNO/H:1 20% MCF/DNO/H:1,3 50% MUR/H:1,3	10% MCF/DNO/H:1 20% MCF/DNO/H:1,3 70% MUR/H:1,3	50% MUR+ADO/H:1,2 50% ER+ETR/H:1,2	50% W+WLI/H:1,3 50% W+WS/H:1,2
Mediagua	100% MUR/H:1	100% MUR/H:1	80% MUR+ADO/H:1 20% ER+ETR/H:1	30% W+WLI/H:1 70% W+WS/H:1
Rancho	-	-	-	60% W+WS/H:1 40% UNK
Covacha	-	-	-	60% W+WS/H:1 40% UNK
Choza	100% MUR/H:1	100% MUR/H:1	80% MUR+ADO/H:1 20% ER+ETR/H:1	60% W+WS/H:1 40% UNK
Otra vivienda particular	-	-	-	-

Figura 44. Tipologías estructurales por material de paredes exteriores y piso en zonas rurales de Ecuador, según SARA

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Las opciones A1, A2, B y C son notaciones que se ha empleado en el estudio para expresar que cierta combinación de materiales posee más de una posible tecnología o taxonomía, es por este motivo que en la segunda tabla de cada figura (43 y 44) se detallan los correspondientes porcentajes de participación. Las combinaciones de materiales con color blanco expresan que solo existen las tipologías descritas en la tabla y sus porcentajes de participación se asignan de manera directa.

El estudio realizado por SARA en Ecuador denota que existen alrededor de 29 tipologías de viviendas (cerca de 3748919 unidades de vivienda) entre las cuales se encuentran predominantes a nivel nacional: la mampostería confinada, mampostería no reforzada y estructuras aporricadas de concreto reforzado con 27%, 26% y 19% respectivamente como se mostrará en la Figura 45. Con esto podemos deducir a escala global que las estructuras aporricadas representan la tercera opción escogida por la población para edificar sus viviendas, realidad que suponemos se repite por lo menos en las ciudades más representativas de nuestro país, puesto que los datos presentados son propios de una urbe con importancia vital como es Guayaquil. Asumimos que Quito debe presentar un escenario semejante con lo que una vez más justificamos la importancia de este trabajo investigativo; un análisis completo de la ciudad bajo el estudio SARA se detallará en el siguiente punto.

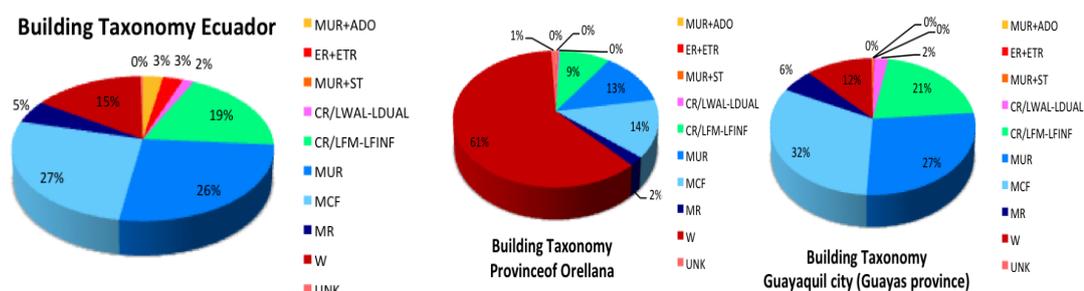


Figura 45. Estadística de tipologías estructurales de acuerdo a GEM en Ecuador.

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

2.5 El D.M.Q y sus ordenanzas a lo largo de la historia.

Debido a los flujos migratorios y la demanda del número de viviendas, la ciudad soportó un incremento desordenado en las últimas décadas del siglo XX haciendo de esta manera que en los sectores periféricos de la ciudad se construyeran residencias sin diseño ni supervisión técnica, muchas de las cuales corresponden a la tipología de estructuras aporricadas. Ante este problema las autoridades de turno han tenido que implementar nuevos reglamentos u ordenanzas que faciliten el reconocimiento de estas residencias, ya que ha pasado de un problema aislado a uno de los más significativos de la urbe. Iniciativas como la denominada “Regula tu Barrio”, “Reconocimiento de Construcción Informal”, entre otras, han sido las propuestas hacia la ciudadanía con el afán de acabar con la ola de informalidad.

Los resultados de las mismas han permitido que se reconozcan varias de las unidades de vivienda en el Distrito de Quito sin embargo la ciudadanía por diversas circunstancias no ha dado su total cobertura ante las propuestas manteniendo de esta manera aún una brecha entre la informalidad y el reconocimiento. Tomando en consideración que los propietarios de estas viviendas en su gran mayoría pertenecen a un sector vulnerable y económicamente desfavorecido se puede presumir que uno de los puntos en contra de la medida fue las altas tasas de dinero cobrado por multas o bajo el rubro propio del reconocimiento informal por parte del municipio de la ciudad.

Con el objetivo de tener una idea de la acogida de las diferentes ordenanzas propuestas en la ciudad se presenta en la Tabla 12 datos de recaudación y número de trámites gestionados en la administración zonal de Quitumbe, estos datos fueron proporcionados por la administración en mención; el texto de cada ordenanza es de fácil acceso en los sitios web.

Cuatro han sido las oportunidades que la ciudadanía de la capital ha tenido para el reconocimiento de sus viviendas informales, (tres ordenanzas propiamente dichas y una ampliación de una de ellas), en las cuales el tema

estructural no ha sido abarcado en toda su complejidad creando otro problema aún mayor; unidades de vivienda informal reconocidas con un deficiente comportamiento estructural. Debido a los eventos sísmicos recientes las alarmas de las autoridades se encendieron permitiendo así que en la próxima ordenanza municipal de reconocimiento informal se plantee que el tema estructural pueda ser evaluado por una comisión especializada en el tema.

Tabla 12.

Resumen de Ordenanzas Municipales en Quito.

Ordenanza	Título	Año	Alcaldía	Número de Trámites	Monto de recaudación
3629	Ordenanza de Reconocimiento Registro y Actualización Catastral de las Construcciones Informales del Distrito.	2006	Gral. Paco Moncayo	6361	244428,76 USD
3737	Ordenanza que Regula el Reconocimiento de Construcciones Edificadas sin Permisos Municipales en los Barrios populares del distrito Metropolitano de Quito	2008	Gral. Paco Moncayo	-----	-----
434	Ordenanza Metropolitana de Reconocimiento y Regularización de	2013 - 2014	Dr. Augusto Barrera	482	296309,90 USD



	Edificaciones Existentes dentro de un Régimen Transitorio y Especial en el Distrito Metropolitano de Quito.				
434	Ordenanza	2015 -	Dr.	542	518613,00
(Ampliación)	Metropolitana de Reconocimiento y Regularización de Edificaciones Existentes dentro de un Régimen Transitorio y Especial en el Distrito Metropolitano de Quito.	2016	Mauricio Rodas		USD

2.6 Quito y sus problemas de vulnerabilidad Sísmica

En general el país entero presenta riesgo sísmico alto, lo dice tanto la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) así como estudios internacionales sobre riesgo y vulnerabilidad sísmica como SARA, presentado en los capítulos anteriores, bajo este contexto Quito no es la excepción puesto que como es de conocimiento general la ciudad se encuentra asentada en un sistema de fallas activas.

Las vibraciones después de un evento sísmico tienden a amplificarse (aunque esto depende de varios factores) dos de los factores principales son el tipo de suelo y los relieves topográficos; considerando la calidad relativamente mala de suelo que se presenta en diversas zonas de Quito (esencialmente en el sur de la urbe) podemos concluir que los problemas de vulnerabilidad se generalizan en toda la ciudad, permitiendo de esta manera

que se produzcan aceleraciones de suelo superiores a los 400 cm/s^2 (zonas en color café oscuro) tal y como se muestra en la Figura 46.

El sistema de fallas complejo de la ciudad determina un trazado de 47 a 50 Km (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015) las cuales presentan rasgos en común al ser fallas inversas (pliegues que forman colinas); las profundidades de los eventos sísmicos producidos por las fallas presentes en la capital puede variar, pero siempre manteniéndose en valores superficiales.

Aunque se dice que la probabilidad de que en la capital ocurra un sismo de magnitudes similares a las de Abril de 2016 es baja, no deja de alarmar a las autoridades y ciudadanía en general el alto riesgo que presenta la infraestructura de vivienda lo que se traduce en pérdidas económicas y también en pérdidas humanas; todo esto debido a la combinación de factores expuestos en puntos anteriores como (una mala estructuración, ubicación o suelo cimentado, etc.). Quito es una urbe moderna pero con condiciones sociales marcadas, diferencias tanto en su geomorfología como en su tipología de vivienda, una ciudad con peligro sísmico latente que deberá trabajar en los próximos años para erradicar la vulnerabilidad a eventos naturales.

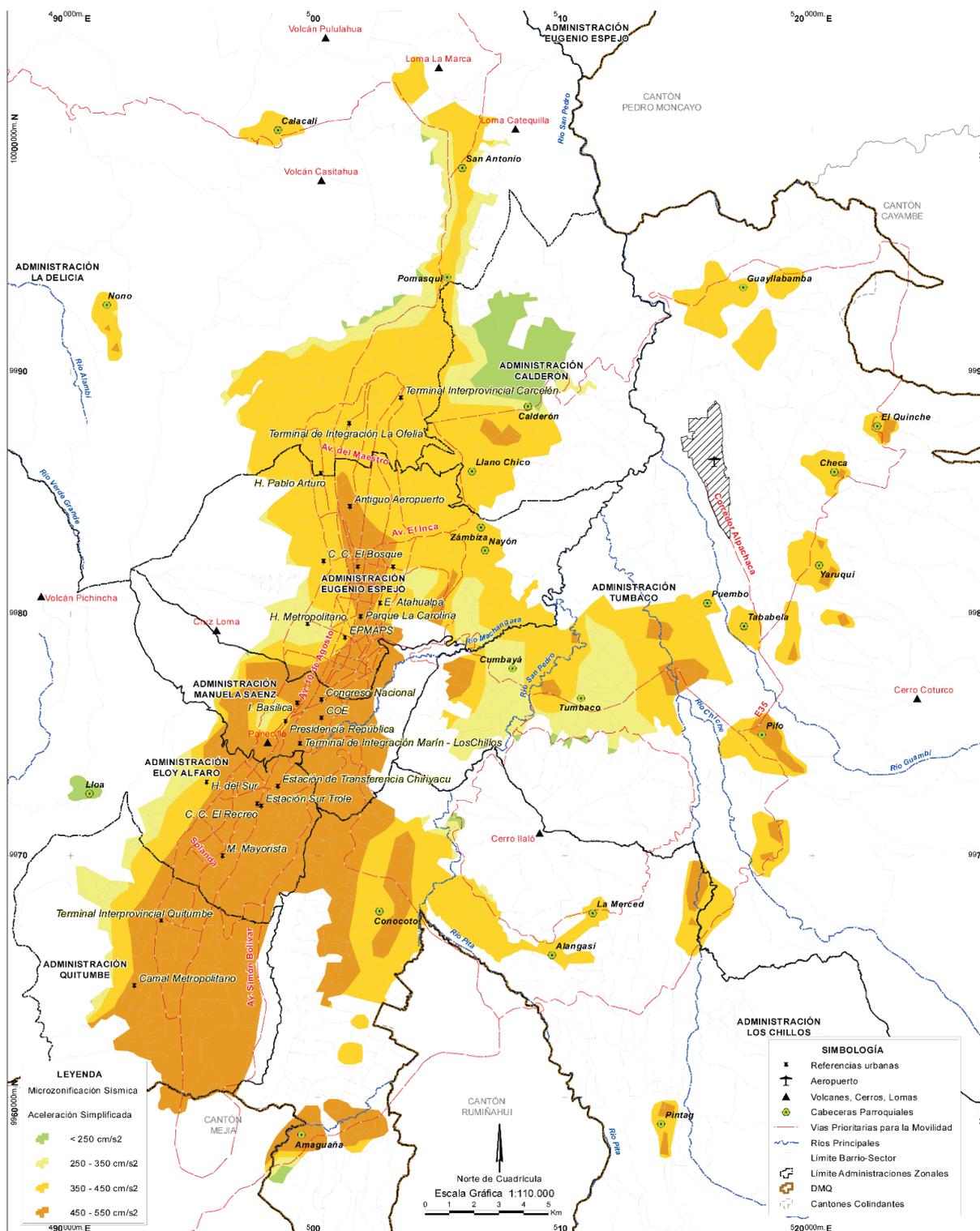


Figura 46. Microzonificación Sísmica de Quito.

Fuente: (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015)

2.7 El sistema de fallas de Quito.

Una de las principales amenazas que la ciudad afronta es el sistema de fallas activas que posee, el mismo que puede producir sismos que pongan en riesgo la infraestructura de la ciudad, estas fallas son de tipo inversa que han producido sismos de magnitud (Mw) alrededor de 5 grados. Esta falla geológica compleja pone en contacto dos bloques diferentes de la corteza a lo largo de un plano inclinado que penetra la ciudad desde el Este (Yépez, 2014).

La falla de Quito está a su vez dividida en segmentos lo que permite que cada uno de ellos se mueven de manera indistinta, haciendo de esta manera que existan eventos telúricos de diferente magnitud, esperándose según el Msc. Hugo Yépez un sismo de hasta 7 grados en magnitud dependiendo obviamente del área que englobe dicha falla, puesto que la magnitud es directamente proporcional a la misma.

Este sistema de fallas activas como lo mencionamos antes se distribuye a lo largo de un plano inclinado promediando los 45 grados de inclinación prolongándose hasta otro sistema de fallas en la parte norte conocido como el sistema de fallas de Guayllabamba, este último ubicado aproximadamente a unos 20 kilómetros al Noreste de la capital. El QFS (Quito Fault System) se encuentra dividido en varias secciones o segmentos los cuales pueden visualizarse en la Figura 47.



Figura 47. Sistema de Fallas de Quito

Fuente: (EPN , 2014).

Los segmentos en los cuales se subdivide el QFS son, de sur a norte: Puengasí, Ilumbisí-La Bota, Carcelén-El Inca, Bellavista-Catequilla y Tangahuilla (Alvarado, 2014), los mismos que en su movimiento propio podrían desencadenar sismos de magnitudes considerables; una explicación más detallada de este probable suceso se explicará en párrafos subsiguientes.

El monitoreo del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional ha registrado a través de sus equipos un aproximado de 1758 eventos telúricos pertenecientes a la zona del QFS, dichos datos con una profundidad de hasta 40 km, magnitudes entre el rango de $M_w = 3$ a 5.3 y sus epicentros a lo largo de la falla propiamente de Quito y otros en la zona de Guayllabamba. Se ha identificado a su vez en estudios realizados por expertos de la Politécnica Nacional las magnitudes de un sismo para la zona del QFS, una longitud total de 60 km de falla y una zona de ruptura de unos 720 km², conduce a estimaciones de magnitud de 6,8 (RA – Potencial Rupture Area) y 7,1 (SRL- Surface Rupture Length) con un período de retorno de 195 a 235 años y profundidades promedio de 15 km. (Alvarado, 2014).

Sin embargo por medio de la metodología e instrumentación propia de esta entidad se ha determinado una zona de ruptura de 180 a 240 km², una

magnitud de $M_w = 6.6$, profundidades de 3 a 7 km y período de retorno de 150 a 435 años (Alvarado, 2014). Todo este análisis se ha considerado tomando como un todo a la falla, a pesar de que otro de los escenarios y el más probable es el del movimiento aislado de cada segmento de falla, para los cuales también se han considerado análisis. En la Tabla 13 se muestra datos de dos segmentos de falla pertenecientes a la QFS con sus respectivas magnitudes, los datos han sido tomados del estudio de Alexandra Alvarado “Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity”.

Otra fuente, que puede desencadenar sismos de magnitud considerable, para la ciudad es la GFS (Guayllabamba Fault System), la misma que para su estudio se ha dividido en tres zonas importantes de ruptura: sistema de fallas del río San Pedro, falla del río Coyago y la falla del río Uravía; el sismo esperado para estos sectores bordea la magnitud de 6,5 (Alvarado, 2014).

Tabla 13.

Resumen de datos de magnitudes sísmicas asociados a segmentos de fallas del QFS.

Segmento de Falla	Magnitud (RA) (mínimo)	Magnitud (SRL) (mínimo)	Período de Retorno
Carcelén – El Inca	-----	5,7 a 5,3	200 – 400 años
Puengasí	6,2	6,4	

A lo largo de la historia se han presentado eventos sísmicos importantes aunque muchos de ellos se han originado en la falla de Guayllabamba, dando una idea clara de lo peligroso que se transforma para el Distrito Metropolitano de Quito. Desde 1587 se han suscitado al menos cuatro eventos con magnitudes similares a 5,9 y dos magnitudes similares a 6,4, sin embargo solo un evento de 5,3 se ha registrado en Pomasqui (Alvarado, 2014).

Podemos observar el potencial peligro que representan estas dos fallas geológicas en la capital, sismos con magnitudes superiores a 5 grados que

pondrían en aviso las deficiencias estructurales de la zona, el estudio de Alexandra Alvarado nos comenta que el QFS podría desencadenar un sismo de hasta 7 grados mientras que el GFS uno de 5,7 a 7,1 en magnitud; por este motivo se enfatiza la necesidad de un reforzamiento estructural puesto que ante esta realidad se puede concluir que las edificaciones informales de la urbe corren un riesgo elevado.

2.8 Calidad de estructuras presentes en el D.M.Q

La ciudad presenta una variedad de estructuraciones para sus edificaciones, desde estructuras en hormigón armado, estructuras metálicas, estructuras mixtas con diseños y planos aprobados en zonas de crecimiento económico, hasta viviendas unifamiliares de mampostería o concreto reforzado con materiales precarios y asentadas muchas de ellas en zonas de alto riesgo.

Se pueden definir diferentes tipologías de viviendas o edificaciones en general en la ciudad, esto depende directamente de la metodología empleada para el análisis, como la expuesta en puntos anteriores: la del South America Risk Assessment; pero enfocándose en la estructuración principal de este estudio (estructuras aporricadas) se tomarán dos de las cuatro tipologías presentes en (Celi, Pantoja, Ayala, & Sosa, 2016) que a su vez fueron basadas en las taxonomías presentes en GEM, como se muestran en el párrafo siguiente.

Es de gran complejidad determinar la calidad de la estructuración en la ciudad, puesto que la urbe carece de un mapeo global enfocado a temas estructurales, SARA ha dado un gran paso en el tema pero aún queda mucho por hacer, análisis más detallados son indispensables (por ejemplo muestras con esclerómetros para conocer la resistencia del concreto en viviendas informales) solo de esta manera se conocerá la realidad estructural de la urbe. Como este trabajo investigativo se enmarca en estructuras aporricadas de hormigón armado informales con 2 a 3 pisos de altura, se ha tomado en

consideración dos tipologías que engloban el universo de las mismas y que son detalladas en la bibliografía descrita en el párrafo anterior, a saber:

- Edificaciones de dos a tres pisos, con irregularidad en planta tipo “L” y entrepisos de hormigón.
- Edificaciones de dos a tres pisos que tienen una forma en planta rectangular con entrepisos de hormigón.

La complejidad de las estructuras informales no nos da una idea de la calidad real de las edificaciones, pero se maneja como hipótesis de este trabajo investigativo que dicha calidad de estructuración es deficiente lo que conllevaría a una vulnerabilidad latente en las viviendas de este tipo en la urbe. De esta manera se parte del supuesto de que las diferentes viviendas de este tipo o no reconocidas al ser analizadas en un programa comercial de estructuras como el ETABS (que es la herramienta a utilizarse en este trabajo investigativo) denotarán comportamientos estructurales contradictorios a lo especificado en los códigos sismo resistentes.

2.9 Construcciones informales en el D.M.Q.

Se ha hablado ya de los problemas de las construcciones informales en el Distrito, su origen debido a las migraciones hacia la urbe y la deficiente organización de suelo por parte del cabildo; ante esto una ordenanza se está tramitando actualmente con el afán de acabar con este problema, la ventaja de esta nueva ley municipal es que obliga a una evaluación estructural que sin duda es un gran avance con respecto a las ordenanzas 3737, 434 y 3629 puestas en marcha en años anteriores.

Alrededor del 60% de las construcciones de la capital son de carácter informal (Jácome, 2017) pero es aquí donde se enmarca una pregunta: ¿a qué llamamos construcción informal? Sin duda una construcción informal se puede definir bajo varios puntos de vista, una de ellas tiene que ver con la parte legal y administrativa, es decir, una construcción informal es aquella que fue edificada sin permisos de construcción y por lo tanto sin planos aprobados;

muchas de las cuales se asentaron a su vez en territorios no reconocidos o definidos en el PUOS catastral (Plan de Uso y Ocupación del Suelo).

Pero hay otra manera en la cual se puede definir una estructura informal, la misma se enfoca en la parte estructural; una estructura de este tipo es aquella que no cumple con parámetros de diseño sismo-resistentes, utiliza materiales precarios o no normalizados, se asienta en zonas de alto riesgo (a eventos naturales o amplificación de ondas sísmicas) y debido a esto pone en riesgo latente la vida de sus ocupantes.

Según (Jácome, 2017) el objetivo es evaluar más de 500 mil viviendas en la urbe, con un enfoque principal a las informales que bordean los 300 mil, mediante un estudio detallado se evaluará si la vivienda necesita algún reforzamiento estructural, cumple con condiciones de estabilidad o en su defecto la familia deberá ser reubicada. El trámite de reconocimiento deberá constar con análisis estructural con el carácter de obligatorio; aunque el reforzamiento oscilaría entre el 5 y 10% del valor del inmueble ya se trabaja también en la posibilidad de crear un bono de reforzamiento estructural otorgado desde las instituciones de gobierno.

2.10 Deficiencias Estructurales de Construcciones Informales en el D.M.Q.

Se ha mencionado ya las diferentes características que posee una estructura informal, una de las cuales se traduce en deficiencias tanto en su concepción estructural como en su proceso constructivo. De manera general se muestran diferentes deficiencias o problemas que este tipo de viviendas presentan al momento de realizar un análisis estructural, las mismas que son: derivas de piso excesivas (mayor al 2% dispuesto por la NEC 15), 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.

Derivas de Piso.

En cuanto a derivas de piso se conoce de manera general que no pueden ser superiores al 2% según normativa, sin embargo es siempre recomendable mantener derivas de piso bajas (menores al 1%) para que los resultados ante un evento sísmico no sean significativos, algo que se expresa en el estudio de Microzonificación Sísmica de Quito; estructuras que tienen una deriva de piso máxima menor al 1% van a tener un buen comportamiento sísmico (Aguar, Riesgo Sísmico de Quito, 2013). Hay que considerar además que la mentalidad de la población no admite daño; por ejemplo, de manera genérica el descontento que existe ante los daños a nivel de mampostería después de un sismo es confundido con un falso colapso de la vivienda. Este caso nos invita a que la filosofía de diseño se mejore reduciendo daño en mampostería y, manteniendo derivas bajas.

La deriva de piso es el desplazamiento lateral relativo de un piso – en particular por la acción de una fuerza horizontal – con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura (Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, 2015), en estructuras aporticadas la deriva de piso máximo surge comúnmente en la segunda planta, mientras que en estructuras con muros de corte la mayor deriva surge en los últimos pisos.

Torsión en Planta.

La torsión en planta se produce básicamente por la no coincidencia del centro de masa con el centro de rigidez de la estructura. El centro de masa es el punto geométrico en donde teóricamente se concentra la resultante de las fuerzas sísmicas aplicadas externamente al sistema, mientras que el centro de rigidez es el punto alrededor del cual gira la losa de un piso. Una mala estructuración favorece la aparición de este problema, e incrementa de manera sustancial las fuerzas laterales en las columnas perimetrales.

Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva

promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia (Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, 2015).

Para los análisis que se realizarán en el siguiente capítulo se considera un valor máximo de 20% en cada uno de los dos primeros modos de vibración (modos que son exclusivamente traslacionales), valores superiores a este porcentaje determinarán que existe torsión en planta para la estructura.

Piso Blando.

El problema de piso blando se produce cuando hay un cambio muy brusco de rigidez entre los pisos consecutivos (Nuñez, 2012). Piso en el cual su resistencia lateral es menor que el 80% de la resistencia del piso inmediato superior (Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, 2015).

Pisos Blandos son muy comunes en edificaciones del perfil costanero, en las cuales en primera planta se presentan locales comerciales y pisos superiores destinados a vivienda. En la urbe existen muchas de estas edificaciones en sectores populares convirtiéndose en uno de los problemas más comunes.

Otras Irregularidades en Planta y Elevación.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 15) tipifica diversas irregularidades en planta y elevación, discontinuidades de columnas a lo largo de la estructura o formas no regulares en planta son algunos de los problemas comunes de viviendas informales en la urbe. Al tener uno de estos problemas la estructura deberá ser castigada con un coeficiente de irregularidad, el mismo que influye de manera directa al momento del cálculo de las fuerzas laterales provenientes del sismo.

Secciones y Armados Insuficientes.

Columnas con sección de 600 cm² o hasta 400 cm² son comunes encontrar en las viviendas de sectores populares, muchas de ellas armadas incluso con cuantías inferiores a las mínimas, que aparte de tener secciones

sísmicamente deficientes soportan cargas para un número de pisos superiores a los previstos inicialmente. Vigas banda son realizadas con frecuencia, a pesar que se considera que su capacidad resistente es de aproximadamente la mitad de sus similares peraltadas, losas planas cuyo problema principal es el punzonamiento brindan un problema ante posibles ampliaciones.

Losas Planas

Losas Planas son comúnmente utilizadas en nuestro medio, la losa directamente se puede apoyar a la columna o a través de ábacos, sin embargo este tipo de losas pueden incrementar su capacidad resistente ante un evento telúrico con la adición de vigas embebidas o comúnmente llamadas banda.

Uno de los principales problemas de este tipo de estructuración es el punzonamiento que se presenta, que no es más que el esfuerzo de corte que produce la carga puntual (columna) el mismo que se origina desde el apoyo hasta la parte superior de la losa en forma diagonal. Para su análisis se toma en consideración una distancia $d/2$ a partir de la cara del apoyo en sus cuatro lados, los mismos que dibujan o enmarcan un perímetro de análisis denominado b_o .

Pérdida de Propiedades Mecánicas en los Materiales.

Es común que los propietarios de una vivienda la construyan por partes, en zonas populares de la ciudad esta práctica es más que habitual, un ejemplo claro de esto se visualiza con el mal hábito de dejar las varillas de acero longitudinal de columnas descubiertas hasta cuando la ampliación al siguiente piso se produzca, permitiendo así que la oxidación se apropie del material lo que puede traer consecuencias a futuro. La deficiencia en el encofrado también juega un papel fundamental haciendo que muchos de los elementos estructurales no tengan un bloque de concreto sólido como se asume en la base teórica.

Sin duda son muchas las deficiencias que este tipo de viviendas posee, lo cual se ha transformado en un hábito en las construcciones informales, mal que sin duda se espera solventar (aunque en muchos casos no de manera definitiva) por medio de refuerzos y correctos análisis estructurales en los cuales debe tomar parte primero las autoridades como ente regulador y segundo la ciudadanía en general como actores activos del desarrollo de la infraestructura de la urbe.

2.11 Análisis de Vulnerabilidad Sísmica.

Sin duda alguna la vulnerabilidad sísmica de estructuras que han sido edificadas sin diseño ni criterio técnico es un tema fundamental e imperante, puesto que mediante el mismo podemos catalogar el nivel integrado de riesgo ante un sismo (ISR según SARA) de esta clase de edificaciones. Dado los antecedentes geográficos de la ciudad (sistema de fallas geológicas, amenazas sísmicas, etc.) un análisis de vulnerabilidad sísmica proporcionará una idea más clara y precisa, en el tema estructural, de la realidad de cientos de viviendas en el Distrito Metropolitano.

Como una parte fundamental de este trabajo investigativo se plantea un formato para evaluar la vulnerabilidad de las viviendas basándose en parámetros expuestos en otros documentos de análisis rápido de vulnerabilidad como: el formato de captura de datos para evaluación estructural implementada por el CENAPRED en México, y el ATC-20 Rapid Evaluation Safety Assessment Form. Incorporando además un análisis del costo de reposición de la vivienda en estudio, uno de los temas fundamentales en la metodología expuesta por SARA. Este análisis de vulnerabilidad (ver Anexo 3) determinará de manera más clara la necesidad de reforzamiento de cada estructura puesto que cada parámetro será ponderado. En la zona de evaluación del sistema estructural y vulnerabilidad se propone un “check list” en base a una escala que va desde 1 a 5, con el objetivo de cuantificar la vulnerabilidad que la estructura en análisis presenta, siendo 1 considerado como “poco vulnerable” y 5 “altamente vulnerable”.

El formato propuesto para la evaluación rápida estructural de viviendas informales tiene como fin plantear soluciones de reforzamiento estructural de acuerdo a la realidad de cada vivienda. Para esto se toma como base la puntuación obtenida en esta evaluación. Una puntuación elevada (20 puntos o más) necesitará una combinación de reforzamientos (encamisado de columnas + cfrp, enchapado de paredes + encamisado de columnas, etc.). Esto se plantea en la Tabla 14.

Tabla 14.

Reforzamiento Estructural sugerido de acuerdo a puntaje obtenido del formato de evaluación.

Puntaje obtenido de Evaluación	Reforzamiento Sugerido
20 – 25	Muro de hormigón** + encamisado de columna
15 – 19	Encamisado de columnas + Enchapado + Cfrp
10 – 14	Encamisado de columnas + Enchapado de paredes + Cfrp*
Menor a 10	Enchapado de paredes + Cfrp*

** Se refiere a un muro de espesor 5 a 7 cm armado con malla electrosoldada.

* Se colocará Cfrp en zonas específicas donde haga falta refuerzo. Puede ser en vigas, columnas o losas.

2.12 Técnicas de Reforzamiento y su base teórica.

Existen diversas técnicas de reforzamiento estructural en las cuales intervienen varios materiales como el acero, fibras de carbono, mallas electrosoldadas, hormigón, etc. Estas técnicas dependen del nivel de intervención que se haga a la edificación, por ejemplo es común plantear un reforzamiento con diagonales de acero a edificaciones que tengan una altura de pisos considerables (4 o más), mientras que para viviendas de carácter unifamiliar se considera como una alternativa realizar enchapados de mampostería. Con esto se quiere introducir la idea al lector que las técnicas de reforzamiento que se plantean en este trabajo de investigación no son las únicas, pero sin embargo se han considerado como las más apropiadas para la tipología de estructura a estudiarse.

Enchapado de Mampostería

Una de las primeras técnicas y en un principio menos agresiva, es la que se basa en el enchapado de mampostería, técnica que consiste en revestir la pared con malla electrosoldada, y anclarla al sistema estructural para hacerla actuar como un muro estructural el mismo que disminuya los desplazamientos y consecuentemente las derivas de piso, así como también disminuir notablemente los esfuerzos presentes en los distintos pórticos. Como se considera un muro, el enchapado se diseña como tal a flexo compresión y corte amparado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 15 en su apartado de Mampostería Estructural. Es importante que las mamposterías a reforzar tengan una ubicación estratégica (lo más alejado posible del centro de masas y que sus líneas de acción no coincidan) y simétrica en planta y elevación, para tener una estructura lo más rígida y estable posible (Borja & Torres, 2016).

Encamisado de Columnas

El encamisado de columnas es una técnica que aumenta la capacidad a corte y a flexión de la columna, la misma que consiste en envolver las columnas con la adición de refuerzo longitudinal y a corte (estribos) para luego

recubrirlo con hormigón lanzado o premezclado. Lo usual de este reforzamiento es realizarlo con hormigón, pero existe la posibilidad de realizarlo también con presillas metálicas o fibra de carbono. Para efectos de este trabajo se priorizará el encamisado de columnas con hormigón puesto que es la alternativa menos costosa y más utilizada por los profesionales. Una consideración necesaria para estos procesos de reforzamiento es que el nuevo acero longitudinal de la columna debe atravesar la losa para mejorar la flexión y reforzar la conexión.

Se sugiere que la relación entre la menor y la mayor dimensión de una columna ya recrecida sea mayor que 0.4, sin embargo se debe considerar que el espesor mínimo del recrecido no debe ser menor a 10 cm en el caso de usar concreto colado en sitio y de 4 cm para concreto lanzado (Moreta Viscarra, 2015).

Polímeros Reforzados con Fibras.

El reforzamiento con materiales de fibra de carbono ha sido uno de los más utilizados en el mundo entero, debido a la facilidad de instalación y el poco cambio en las secciones del elemento a intervenir. La fibra de carbono ha sido utilizada para el encamisado de columnas, reforzamiento de vigas a flexión y corte, reforzamiento de losas, etc., como se visualiza en la Figura 48. Para situaciones en donde se ha producido incremento de cargas, daños de partes estructurales, mejoramiento de la capacidad de servicio, modificaciones del sistema estructural, errores de planeación, entre otros la fibra de carbono CFRP se considera como una alternativa adecuada dadas sus amplias ventajas como peso bajo, espesores bajos, fácil colocación, alto módulo de elasticidad y bajo costo de aplicación en comparación a otros sistemas de reforzamiento como las platinas de acero o diagonales.

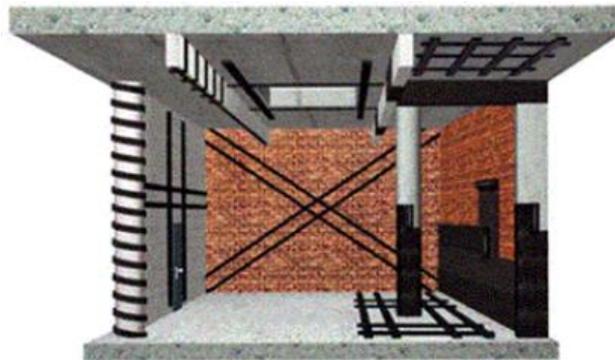


Figura 48. Aplicaciones del reforzamiento con Polímeros

Fuente: (SIKA, 2010)

Reforzamiento con platinas metálicas.

Otra alternativa de reforzamiento que se utiliza, aunque en menor escala, es la adición de acero o platinas metálicas para refuerzos a corte en columnas y flexión y corte en vigas. Sin duda es más complicado su cálculo y su instalación puesto que en muchos casos se necesitaría de pernos de anclaje lo que encarecería de manera significativa la intervención estructural. Sin embargo su metodología de cálculo se puede asemejar a la adoptada para la fibra de carbono puesto que básicamente se utilizan bajo las mismas consideraciones.

2.13 Parámetros de análisis estructural a controlar.

Como ya se mencionó anteriormente en el próximo capítulo se realizará los diferentes modelos de las estructuras en estudio, conjuntamente con el formato de análisis estructural también expuesto en literales anteriores. Una vez realizado el modelo se evaluará la edificación basándose en tres puntos principales: resistencia elástica y ductilidad, deriva de piso y torsión en planta.

Los problemas de torsión en planta y derivas de piso se han mencionado en puntos anteriores pero los términos de resistencia elástica y ductilidad no, para estos efectos se ha tomado en consideración lo que menciona la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC -15) en su apartado de peligro sísmico.

El término de resistencia elástica y el de ductilidad se refieren al trabajo de los elementos estructurales tanto en el rango elástico, como inelástico, de manera general se puede clasificar la ductilidad en ductilidad global y local; la ductilidad global se traduce en la capacidad de la estructura para deformarse más allá del rango elástico, sin pérdida sustancial de su resistencia, ante cargas laterales estáticas o cíclicas o ante la ocurrencia de una acción sísmica (Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, 2015), mientras que la ductilidad local corresponde al mismo significado, solo que enfocado a la capacidad de una sección transversal o un elemento específico. En la Figura 49 se visualiza la curva de esfuerzo – deformación tanto en el rango elástico como en el inelástico..

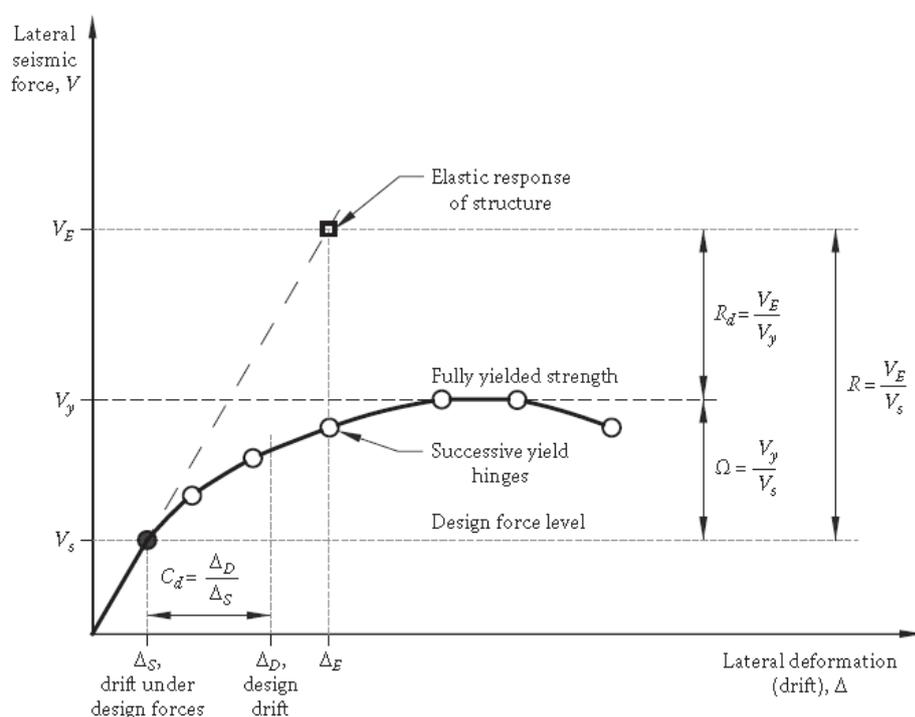


Figura 49. Curva esfuerzo – deformación.

Fuente: (Taranath, 2017)

2.14 Análisis por fuerzas. Comparación espectros NEC 15 Y ASCE 7-10, respecto al “pushover”.

Los modelos planteados en el capítulo siguiente se analizarán utilizando la metodología de pushover, es decir, un incremento monotónico de fuerza para denotar el comportamiento de la edificación en el rango no lineal. Uno de los procesos posteriores a hallar la curva de capacidad del modelo es el de calcular los diferentes parámetros expuestos en la Figura 50 como por ejemplo el cortante de diseño (V_s), cortante de fluencia (V_y), factor de reducción por ductilidad (R_d), y el factor de reducción por sobre resistencia (Ω).

Como parte del procedimiento se determinará en primer lugar el punto de fluencia que se obtienen con las coordenadas $(\Delta y, V_y)$, Figura 50, a través de un modelo bilineal como se expresa en (Aguiar, Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB, 2012). Este parámetro es de fácil obtención por parte de ETABS al ordenar al programa que se nos presente la curva de capacidad del modelo “Static Pushover Curve”, a través de la opción Display/Static Pushover Curve.

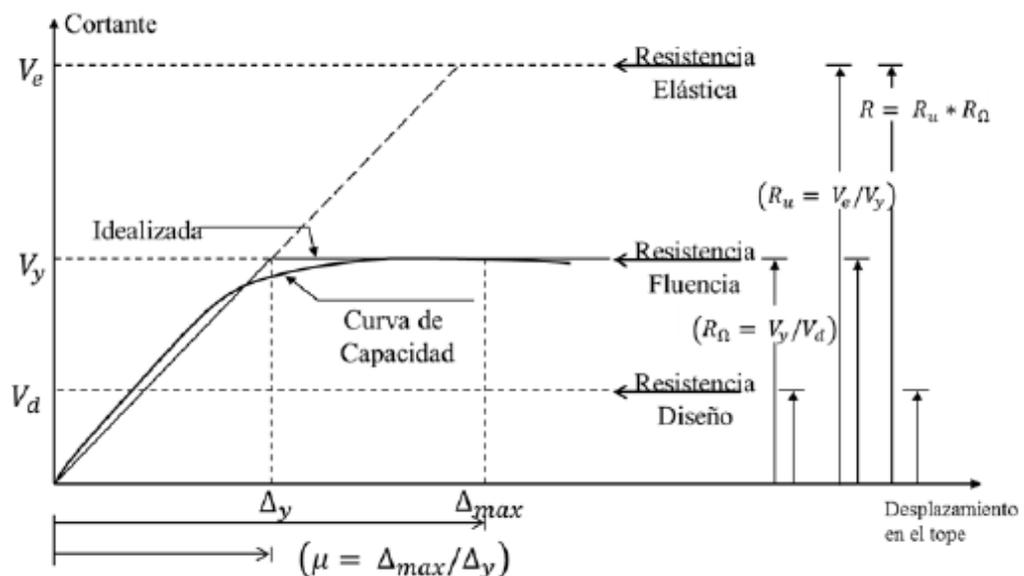


Figura 50. Curva de capacidad sísmica y factores R_μ y R_Ω .

Fuente: Mwafy y Elnashai (2002) citado en Aguiar 2012, Dinámica de Estructuras con CEINCI -LAB.

Vy y Δy pueden ser obtenidos al sustituir en el parámetro “Plot Type”, “V vs Displ” por “ASCE 41-13 NSP”, en la opción “Calculated Parameters”. Podemos a su vez seleccionar el “Espectro de Demanda” para la estructura en análisis. Por defecto el programa nos coloca el espectro determinado por el código ASCE 7-10 con sus respectivos factores correspondientes a la aceleración espectral para 0.2 y 1 segundo (S_s y S_1) respectivamente, la clasificación del sitio, entre otros. Con el propósito de determinar diferencias entre nuestro código, NEC-15 y el ASCE 7-10 se ha presentado la necesidad de comparar sus dos “Espectros de Aceleración”.

El “Espectro de Demanda” no es más que la transformación del Espectro normal de Aceleraciones en una curva de coordenadas espectrales (S_a , S_d ; aceleración espectral, desplazamiento espectral). Este Espectro determina la demanda sísmica a la que la estructura estará expuesta.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-15, en su apartado de Peligro Sísmico considera entre las diferentes normas base al código del American Society of Civil Engineers (ASCE 7-10), sin embargo muchos de sus parámetros y coeficientes son diferentes, como se explicará en los párrafos siguientes. El objetivo final será determinar los dos espectros y plantear sus semejanzas y diferencias.

2.14.1 Espectro de Aceleraciones del ASCE 7-10

El ASCE 7-10 en su apartado de “Cargas de Diseño Mínimas para Edificios y Otras Estructuras” determina la obtención de los parámetros S_s y S_1 en base al mapeo a lo largo de los Estados Unidos de América. Para otras zonas con riesgo sísmico, estos factores se explican en la norma (ASCE 7-10) que se pueden obtener a través de la página de la USGS (<http://earthquake.usgs.gov/designmaps>). En el trabajo de (Jarrín & Romo, 2015) se pueden apreciar estos factores para el territorio de Quito, cuyos valores son $S_s = 2,12g$ y $S_1 = 0,82g$.

El factor de suelo también se necesita en la normativa ASCE 7-10, donde está determinado por factores como la velocidad de onda de corte V_s . En la Tabla 15 se visualizan los valores comparativos de la velocidad de onda de corte del suelo según el ASCE 7-10 y la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15.

Tabla 15.

Valores de onda de corte por tipo de suelo según ASCE 7-10 y NEC - 15

Tipo de Suelo	ASCE 7-10	NEC -15
A	> 5000 ft/s. > 1524 m/s	≥ 1500 m/s
B	2500 ft/s – 5000 ft/s. 762 m/s – 1524 m/s	760 m/s – 1500 m/s
C	1200 ft/s – 2500 ft/s. 365.76 m/s – 762 m/s	360 m/s – 760 m/s.
D	600 ft/s – 1200 ft/s. 182.88 m/s – 365.76 m/s	180 m/s – 360 m/s
E	< 600 ft/s. < 182.88 m/s	< 180 m/s.
F	Suelos que requieren análisis de respuesta del sitio de conformidad con la sección 21.1	Requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista, pudiendo clasificarse en F1, F2, F3, F4, F5, F6.

En la Tabla 15 se muestra que las dos normas son básicamente idénticas en cuanto a la identificación del tipo de suelo.

De acuerdo a la clasificación de suelo se determinan los parámetros F_a (coeficiente de sitio para período corto) y F_v (coeficiente de sitio para un segundo) como se pueden visualizar en las tablas 11.4-1 y 11.4-2 de la norma ASCE 7-10. Posteriormente se determinan los coeficientes de sitio para el sismo máximo considerado (MCE), S_{MS} (para períodos cortos) y S_{M1} (para

períodos de 1 segundo) según las ecuaciones 11.4-1 y 11.4-2 presentes en el código en mención.

Como es de conocimiento los espectros de las normas en comparación son los valores de diseño, los mismos que corresponden a los 2/3 del MCE o máximo sismo considerado. De esta manera se calculan los valores de S_{DS} y S_{D1} , fórmulas 11.4-3 y 11.4-4 con los cuales se determinan los valores del espectro de diseño, determinado por 4 intervalos:

- Períodos menores a T_0 , definidos por la fórmula:

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- Períodos entre T_0 y T_s , definidos por:

$$S_a = S_{DS}$$

- Períodos entre T_s y T_L , definidos por:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

- Períodos mayores a T_L , definidos por:

$$S_a = \frac{S_{D1} * T_L}{T^2}$$

A su vez el período T_0 y T_s se definen por las fórmulas:

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

El período fundamental de la estructura se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$T = C_t h_n^x$$

Sus parámetros son similares a los determinados en la NEC -15 y se encuentran explicados en el apartado 12.8.2.1 del código ASCE 7-10.

La Tabla 16 muestra los resultados de los parámetros expuestos con anterioridad para el cálculo del espectro de aceleraciones según el código ASCE 7-10, mientras que en la Tabla 17 se muestran los parámetros para el cálculo del espectro de la NEC -15 y su comparación con los parámetros del código ASCE 7-10, esta comparación fue realizada por el tutor de este proyecto, el Dr. Pablo Caiza.

Cabe mencionar que la comparación de dichos espectros se ha realizado para un solo modelo (Vivienda del Sr. Carrasco Valarezo), puesto que en este punto del presente trabajo investigativo el objetivo final es introducir al lector las principales diferencias y similitudes entre los dos códigos. A su vez en la Figura 51 se muestran los espectros de aceleración del ASCE 7-10 y la NEC -15; se recalca que se ha considerado explicar de manera más detallada el código norteamericano, puesto que la NEC-15 es de mayor conocimiento y aplicabilidad por parte de nuestros profesionales dando de esta manera una determinada experticia en el manejo de la misma.

Tabla 16.

Parámetros para la elaboración del espectro del código ASCE 7-10

DATOS		DESCRIPCIÓN	CÁLCULOS		DESCRIPCIÓN
S_s	2,12	Coeficiente de Aceleración espectral períodos cortos	SMS	2,120	Aceleración espectral períodos cortos para MCE
S₁	0,82	Coeficiente de Aceleración espectral para 1 segundo	SM1	1,230	Aceleración espectral para 1 segundo para MCE
F_a	1	Coeficiente de sitio para período corto	SDS	1,413	Aceleración espectral para períodos cortos (sismo de diseño)



Fv	1,5	Coeficiente de sitio para 1 segundo	SD1	0,820	Aceleración espectral para 1 segundo (sismo de diseño)
Site Class	D	Clase de Suelo	To	0,116	
hn	10,6	Altura edificación (m)	Ts	0,580	
Ct	0,0466	Tabla 12.8-2	T	0,390	Período fundamental
x	0,9	Tabla 12.8-2	TL	8	Período Largo

Tabla 17.

Parámetros para la elaboración del espectro NEC -15 y comparación con la norma ASCE 7-10

PARAMETROS NEC 15 (Equivalencia al ASCE 7-10)			
Z	0,4	To	0,126 (To = 0.116)
Fa	1,2 (SDS=1.413)	Tc	0,698 (Ts = 0.58)
Fs	1,19 (S1=0.82)	T	0,460 (T = 0.39)
Fd	1,28 (SM1 = 1.23)	Ct	0,055 (Ct = 0.466)
hn	10,6	α	0,9 (x = 0,9)
n	2,48 (Ss =2.12)	r	1
TIPO SUELO D (Site Class D)			

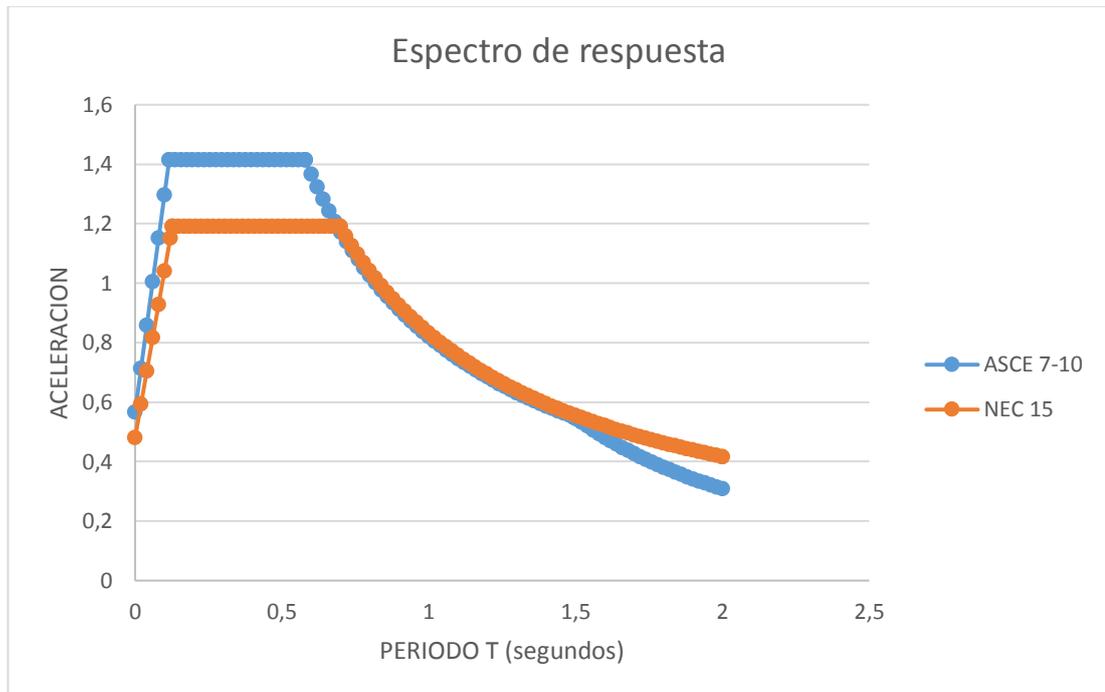


Figura 51. Espectros de respuesta para los códigos ASCE 7-10 y NEC - 15. Tipo de Suelo D en Quito

La Figura 51 muestra las diferencias entre los dos espectros de respuesta de los códigos en mención. La aceleración en períodos cortos tiene una diferencia de aproximadamente el 15%, siendo mayor el obtenido por medio del código ASCE 7-10.

Los períodos de los espectros también presentan diferencias: el período fundamental tiene una diferencia del 15%, T_0 tiene una diferencia del 8%, y T_c una diferencia del 17%; en todos estos parámetros el valor mayor se obtuvo bajo los parámetros de la NEC -15.

Además se visualiza que la Norma Ecuatoriana de la Construcción es ligeramente mayor en el rango de períodos largos, en valores de $T > T_c$.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CONSTRUCCIONES APORTICADAS INFORMALES

3.1 Datos Preliminares.

En el presente capítulo se enmarcará el análisis de cada modelo estructural para las diez diferentes estructuras (5 de 2 pisos y 5 de 3 pisos) que comprenden el total de la muestra. Como primer paso se determinan las diferentes características propias de cada edificación con el fin de que el lector conozca a detalle y se familiarice con las mismas.

3.1.1 Estructuras de 3 pisos de altura.

Los modelos de viviendas de 3 pisos de altura son los mostrados en la siguiente tabla (Tabla 18):

Tabla 18.

Resumen de Viviendas de 3 pisos de altura estudiadas

Nombre del Proyecto	Ubicación: Sector, (Barrio)	Material en Mampostería	Ocupación	Año de Reconocimiento	Número de Predio
Residencia Sr. Carrasco Valarezo Cesibel	Guamaní, (Barrio Nueva Aurora II)	Exterior: Ladrillo. Interior: Bloque	Vivienda	2014	325149
Residencia Sr. Bonifaz Mario	La Argelia, (Hierba Buena 2)	Exterior: Bloque Interior: Bloque	Vivienda	2016	1209770
Residencia Sra. Flores Angélica	La Ferroviaria (Forestal Alta)	Exterior: Bloque Interior: Bloque	Vivienda	2015	648621



Residencia Sr. Yupanqui Enrique	Guamaní, (San Fernando de Guamaní)	Exterior: Ladrillo / Bloque Interior: Bloque	Vivienda	2015	515739
Residencia Sr. Chicaiza José	Guamaní, (Ejército Nacional 2da Etapa)	Exterior: Bloque Interior: Bloque	Vivienda	2015	619569

En las siguientes Fotografías (1 – 6) se visualizan las viviendas de 3 pisos mostradas en la Tabla 18. Todas las estructuras se encuentran asentadas en el sector sur de la ciudad en sectores donde el acceso a servicios básicos (agua potable, alcantarillado, servicio de luz eléctrica) es total, además fueron reconocidas dentro de la ordenanza 434 “Ordenanza Metropolitana de Reconocimiento y Regularización de Edificaciones Existentes dentro de un Régimen Transitorio y Especial en el Distrito Metropolitano de Quito” (años 2013-2014, 2015- 2016).



**Fotografía 1. Fachada Principal Residencia Sr. Carrasco Valarezo
Cesibel**



Fotografía 2. Fachada Principal Residencia Sr. Bonifaz Mario.



Fotografía 3. Fachada Principal Residencia Sra. Flores Angélica



Fotografía 4. Entrada Principal Residencia Sra. Flores Angélica



Fotografía 5. Fachada Principal Residencia Sr. Yupanqui Enrique.



Fotografía 6. Fachada Principal Residencia Sr. Chicaiza José.

3.1.2 Estructuras de 2 pisos de altura.

Los modelos de viviendas de 2 pisos de altura son los mostrados en la siguiente tabla (Tabla 19):

Tabla 19.

Resumen de Viviendas de 2 pisos de altura estudiadas

Nombre del Proyecto	Ubicación: Sector, (Barrio)	Material en Mampostería	Ocupación	Año de Reconocimiento	Número de Predio
Residencia del Sr. Chango Rafael	Quitumbe, (Ciudad Futura)	Exterior: Bloque. Interior: Bloque	Vivienda	2015	404169
Residencia Sra. Palaquibay Luzmila	Quitumbe, (Pacarillacta)	Exterior: Bloque Interior: Bloque	Vivienda	2015	426613
Residencia Sr.	Turubamba, (S/N)	Exterior: Bloque	Vivienda	2015	542818



Rodríguez José.		Interior: Bloque			
Residencia Sr. Mora Galo	Turubamba, (Venecia I)	Exterior: Ladrillo / Bloque Interior: Bloque	Vivienda	2014	670551
Residencia Sr. Chávez José Serafín y Herederos	Turubamba, (San José de Guamaní).	Exterior: Bloque Interior: Bloque	Vivienda	2014	1318675

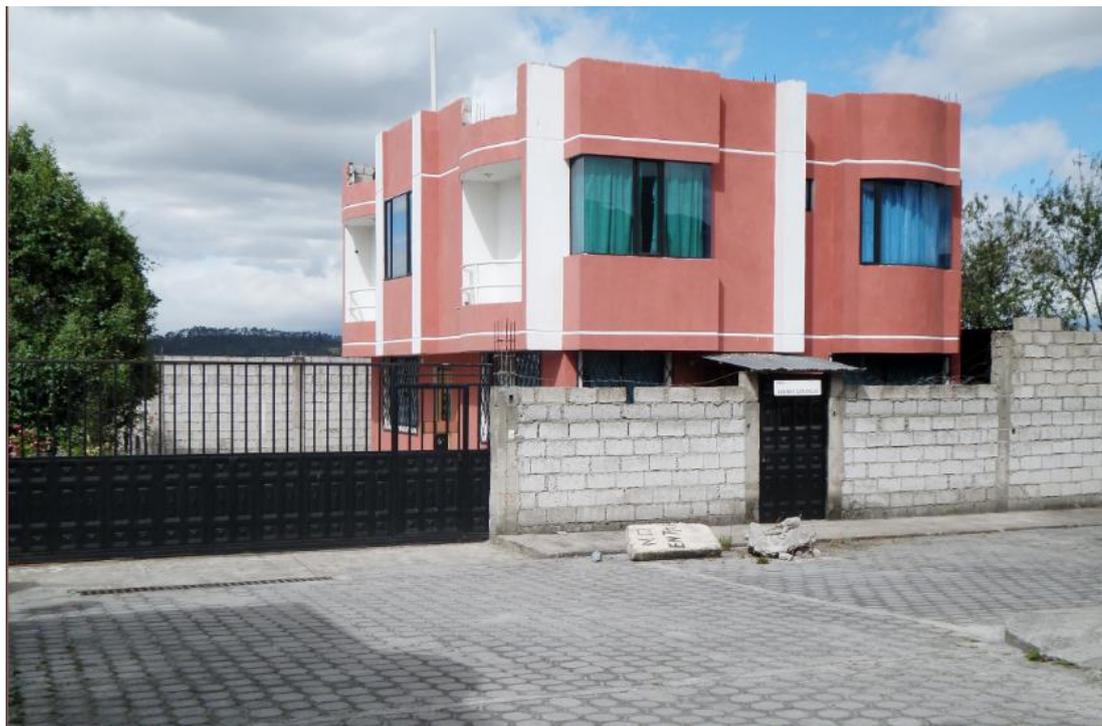
En las siguientes Fotografías (7-12) se visualizan las viviendas de 2 pisos mostradas en la Tabla 19. Todas las estructuras se encuentran asentadas en el sector sur de la ciudad en sectores donde el acceso a servicios básicos (agua potable, alcantarillado, servicio de luz eléctrica) es total, además fueron reconocidas dentro de la ordenanza 434 “Ordenanza Metropolitana de Reconocimiento y Regularización de Edificaciones Existentes dentro de un Régimen Transitorio y Especial en el Distrito Metropolitano de Quito” (años 2013-2014, 2015- 2016).



Fotografía 7. Fachada Principal Residencia Sr. Chango Rafael



Fotografía 8. Fachada Principal Residencia Sra. Palaquibay Luzmila.



Fotografía 9. Fachada Principal Residencia Sr. Rodríguez José.



Fotografía 10. Fachada Principal Residencia Sr. Mora Galo.



Fotografía 11. Fachada Residencia Sr. Mora Galo.



Fotografía 12. Fachada Residencia Sr. Chávez José Serafín y Herederos.

Se visualiza en las fotografías que todas las viviendas pertenecen al grupo de estructuras para las cuales se ha considerado el análisis en este trabajo de investigación, todas poseen como material predominante en su construcción el hormigón armado y como sistema constructivo los pórticos resistentes a momentos. Para los análisis pertinentes tanto en ETABS como en SAFE se optará por asumir un valor de resistencia a la compresión del hormigón ($f'c$) de 180 kg/cm^2 .

El valor adoptado para la resistencia promedio del hormigón se asumió de acuerdo a valores promedio obtenidos de distintas disertaciones para viviendas específicas en las zonas periféricas de Quito. Como primera opción se trató de realizar estudios de resistencia a través de pruebas de esclerometría, sin embargo este procedimiento se dificultó debido a limitaciones en cuanto a la disponibilidad del equipo en el laboratorio de la Universidad ya que los mismos se encontraban en mantenimiento y calibración.

3.2 Características Estructurales según SARA.

Como se ha visto en el capítulo anterior existen diversas taxonomías o tipologías estructurales según el Global Earthquake Model (GEM), sin embargo todas las estructuras previstas para este análisis son aporticadas con losas alivianadas nervadas en dos direcciones. Ante esto es necesario determinar la taxonomía de estas viviendas según lo tipificado por SARA.

De esta manera se adopta la nomenclatura de CR/LFSL, la misma que significa pórtico de concreto reforzado con losa plana o nervada en 2 direcciones (waffle slab). Además se consideran alturas de entre 1 a 2 pisos (H: 1,2) y alturas entre 1 a 3 pisos (H: 1,3). En resumen para las viviendas en análisis tenemos lo siguiente:

- Viviendas de 2 pisos de altura: CR/LFSL/H:1,2
- Viviendas de 3 pisos de altura: CR/LFSL/H:1,3

3.3 Creación del Modelo en ETABS y SAFE.

Para la creación del modelo en ETABS y SAFE se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

- Hormigón valor promedio de $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Elasticidad del hormigón $E = 15100 * \sqrt{f'c}$ donde $f'c$ se coloca en kgf/cm^2 , según la conversión de unidades expuesta en el ACI 318 -14.
- Para el espectro de respuesta se ha considerado un suelo de tipo D con sus respectivos coeficientes de perfil de suelo según la normativa NEC – SE – DS Peligro Sísmico. El perfil de suelo tipo D se ha optado ya que dentro del perímetro del estudio es el que se encuentra en mayor número.
- Con la ayuda de los registros de acelerogramas de las 3 estaciones con mayor valor de aceleración (APED, AMNT, APO1), como muestra la Figura 52 y 53, se han generado acelerogramas sintéticos en ETABS

con el fin de analizar las viviendas ante un sismo similar al ocurrido en Abril 2016.

- En las columnas y vigas de cada modelo se han considerado las inercias agrietadas (0,8 en columnas y 0,5 en vigas) que se expresa en la normativa NEC – SE – DS en su apartado de Peligro Sísmico.
- El coeficiente de Balasto se calcula de acuerdo a la siguiente formula $Balasto = 120 * \sigma_s$, donde σ_s es el esfuerzo admisible del suelo en T/m², el valor asumido para el esfuerzo admisible del suelo es del 12 T/m². Este valor se considera en el estudio puesto que es uno de los valores promedio y además aceptados en las entidades de control cuando no es indispensable un estudio geotécnico como requisito para la aprobación del proyecto estructural.

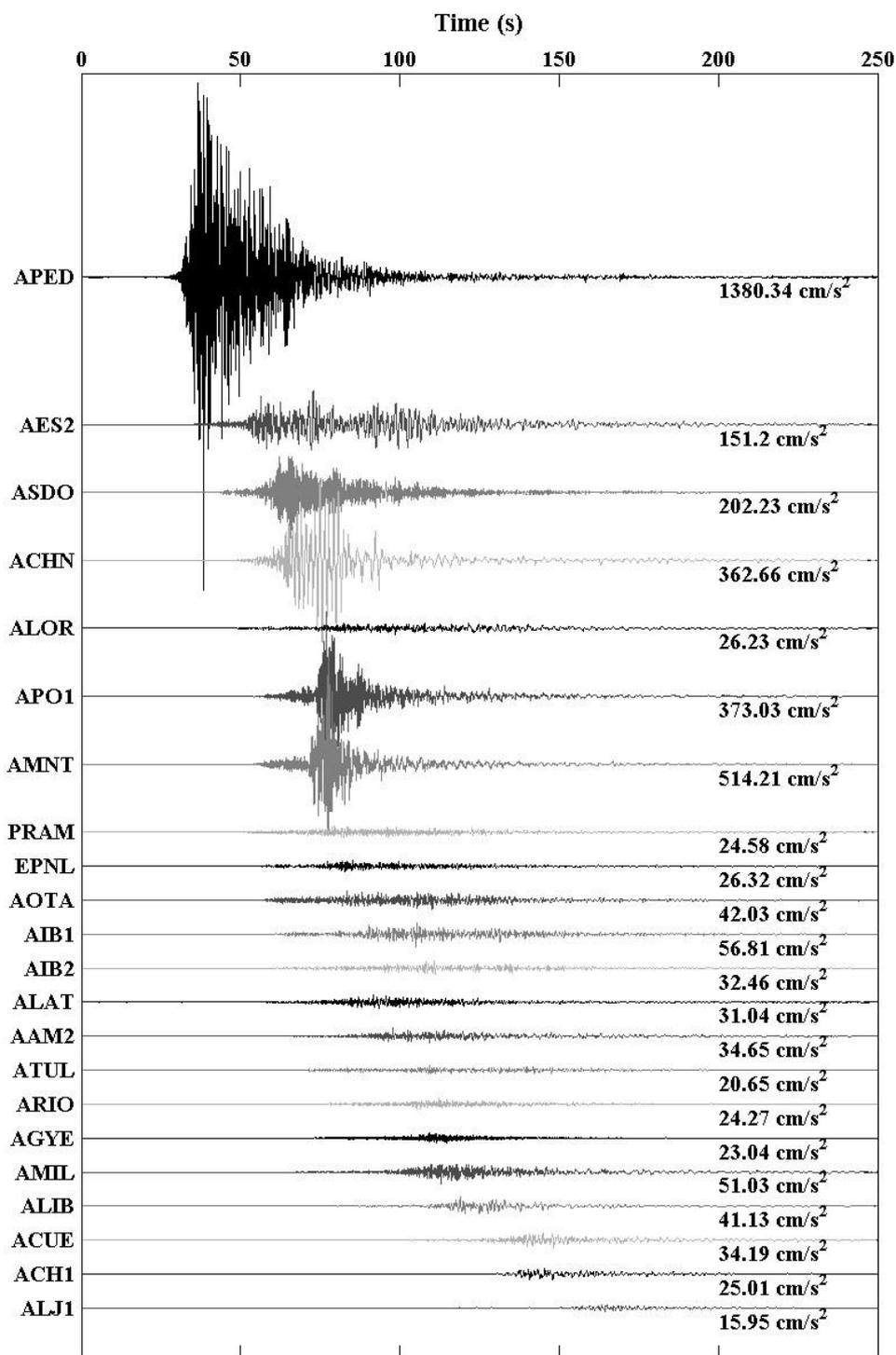


Figura 52. Acelerogramas del terremoto de las 18h58 (TL) del 16 de Abril del 2016, ordenados con respecto a la distancia epicentral.

Fuente: (EPN, 2016)

RED	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m)	R _{epi} (km)*	PGA E (m/s ²)	PGA N (m/s ²)	PGA Z (m/s ²)
RENAC	AAM2	-1,269	-78,611	2664	235	0,2548	0,3465	0,1465
	ACH1	-3,287	-79,910	13	407	0,2501	0,2365	0,0805
	ACHN	-0,698	-80,084	18	120	3,2349	3,6266	1,7287
	ACUE	-2,910	-78,959	2578	381	0,3419	0,2896	0,1748
	AES2	0,991	-79,646	4	76	1,5120	1,0831	0,4314
	AGYE	-2,054	-79,952	30	270	0,1832	0,2304	0,1462
	AIB1	0,347	-78,125	2208	202	0,4839	0,5682	0,1223
	AIB2	0,349	-78,106	2298	204	0,2080	0,3246	0,0839
	ALAT	-0,926	-78,618	2777	206	0,3104	0,2738	0,1191
	ALIB	-2,243	-80,846	40	308	0,4113	0,3895	0,2066
	ALJ1	-3,987	-79,197	2147	492	0,1490	0,1595	0,0882
	ALOR	1,293	-78,847	22	159	0,2564	0,2623	0,1512
	AMIL	-2,181	-79,529	20	288	0,5103	0,4504	0,1836
	AMNT	-0,941	-80,735	38	171	3,9720	5,1421	1,6213
	AOTA	0,240	-78,256	2529	188	0,4203	0,3441	0,1822
	APED	0,068	-80,057	15	36	13,8034	8,3187	7,2734
	APO1	-1,038	-80,460	47	167	3,1150	3,7303	1,0184
	ASDO	-0,263	-79,124	615	115	2,0223	1,0884	0,4988
	ATUL	0,772	-77,723	3097	251	0,1598	0,2065	0,0664
	EPNL	-0,212	-78,492	2813	174	0,2632	0,1987	0,1307
PRAM	-0,145	-78,495	2840	171	0,2458	0,2290	0,1318	
ADN**	LGCB	0,382	-79,575	160	41	0,8338	0,6888	0,4279
	PDNS	0,111	-79,991	442	29	10,4085	9,5497	5,6183
OCP**	AMA1	0,935	-79,725	234	67	4,1746	1,9870	1,3195
	APR1	-0,046	-78,614	2981	155	0,0050	0,0036	0,0021
	APR2	0,077	-78,968	804	113	0,9911	1,0767	0,5544
	APS4	-0,371	-78,106	2887	220	0,0691	0,0633	0,0236
	AV11	-0,073	-78,371	2058	181	0,2930	0,3839	0,1961
	AV18	0,313	-79,478	107	52	1,4142	1,2913	0,6758
	AV21	0,661	-79,547	62	54	1,8957	1,4723	0,8941

* Repi= Distancia Epicentral/

** Proyectos de cooperación.

Figura 53. Valores de la máxima amplitud (m/s²) para cada componente para todos los sitios con un registro disponible.

Fuente: (EPN, 2016).

En los siguientes puntos se muestran las capturas de pantalla correspondientes a los modelos matemáticos de la estructura y cimentación de cada proyecto. Cabe mencionar que los datos pertenecientes a la dimensión de las zapatas de cimentación fue proporcionada por cada propietario, ya que todos participaron de manera activa en la construcción de la vivienda.

3.3.1 Modelo Vivienda Sr. Carrasco Valarezo Cesibel.

La vivienda del Sr. Carrasco Valarezo Cesibel cuenta con ejes de columnas con sección de 600 cm^2 , es decir, $20 \times 30 \text{ cm}$; vigas banda con sección de $40 \times 20 \text{ cm}$ y una losa alivianada bidireccional de 20 cm de espesor. Su cimentación posee zapatas aisladas de 1.20×1.20 en la zona perimetral y de 1.50×1.50 en la zona central, con una altura de 30 cm . La vivienda consta de 3 pisos de elevación con una altura total de $10,60 \text{ metros}$. La dimensión mayor de su luz es de 3.73 m . y posee un área por planta promedio de $92,70 \text{ m}^2$.

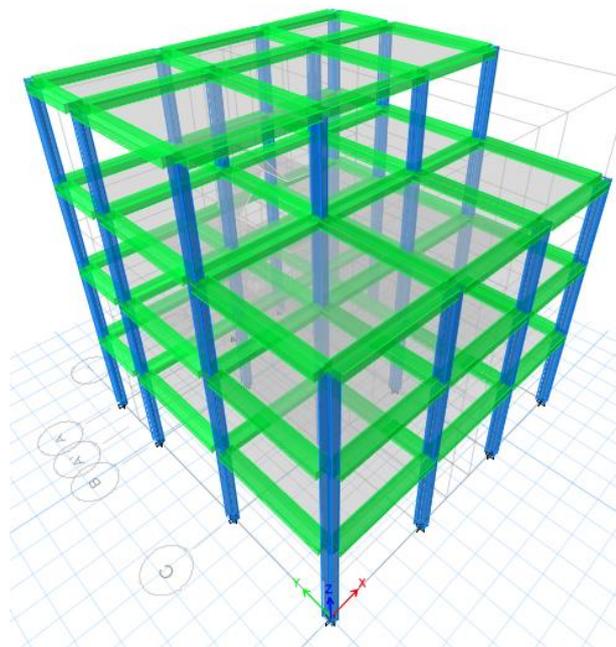


Figura 54. Modelo Matemático de la vivienda Sr. Carrasco Valarezo Cesibel.

Fuente: (ETABS , 2016)

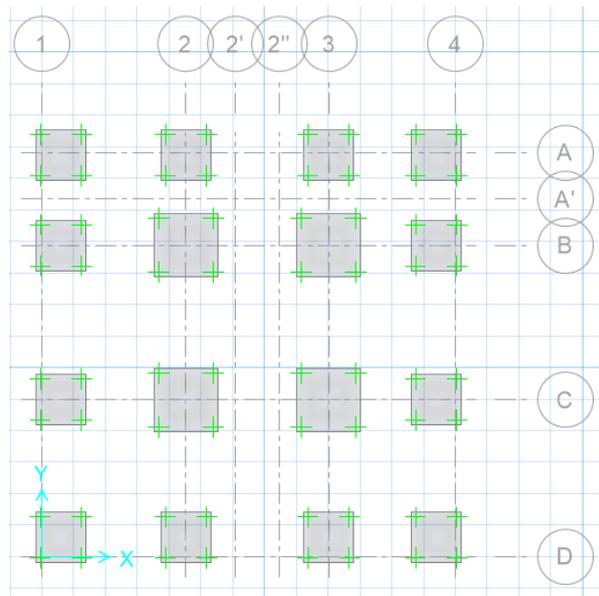


Figura 55. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda Sr. Carrasco Valarezo Cesibel.

Fuente: (SAFE, 2016)

3.3.2 Modelo Vivienda Sr. Bonifaz Mario.

La vivienda del Sr. Bonifaz Mario cuenta con ejes de columnas con sección de 1400 cm^2 , es decir, $35 \times 40 \text{ cm}$; vigas banda con sección de $40 \times 20 \text{ cm}$ y una losa alivianada bidireccional de 20 cm de espesor. Su cimentación posee zapatas aisladas de 1.50×1.50 en la zona perimetral y en la zona central, con una altura de 30 cm . La vivienda consta de 3 pisos de elevación con una altura total de $7,94 \text{ metros}$. La dimensión mayor de su luz es de 4.59 m . y posee un área por planta promedio de $145,50 \text{ m}^2$.

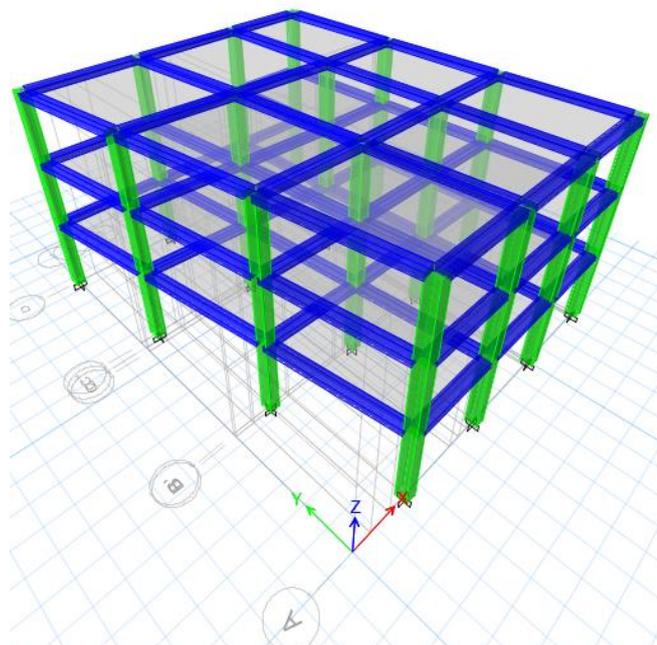


Figura 56. Modelo Matemático de la vivienda del Sr. Bonifaz Mario.

Fuente: (ETABS , 2016)

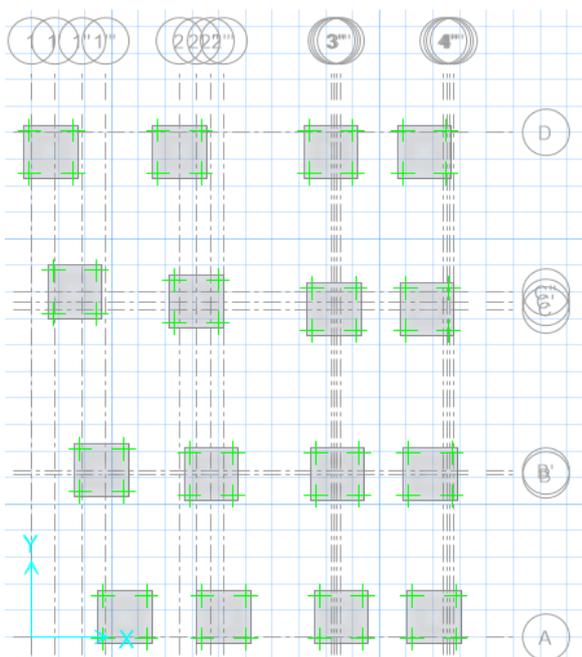


Figura 57. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr. Bonifaz Mario.

Fuente: (SAFE, 2016)

3.3.3 Modelo Vivienda Sra. Flores Angélica.

La vivienda de la Sra. Flores Angélica cuenta con ejes de columnas con sección de 600 cm^2 , es decir, $20 \times 30 \text{ cm}$; vigas banda con sección de $40 \times 20 \text{ cm}$ y una losa alivianada bidireccional de 20 cm de espesor. Su cimentación posee zapatas aisladas de 1.20×1.20 en la zona perimetral y en la zona central de $1.50 \times 1.50 \text{ m}$, con una altura de 30 cm . La vivienda consta de 3 pisos de elevación con una altura total de $10,74 \text{ metros}$. La dimensión mayor de su luz es de 4.60 m . y posee un área por planta promedio de $110,30 \text{ m}^2$.

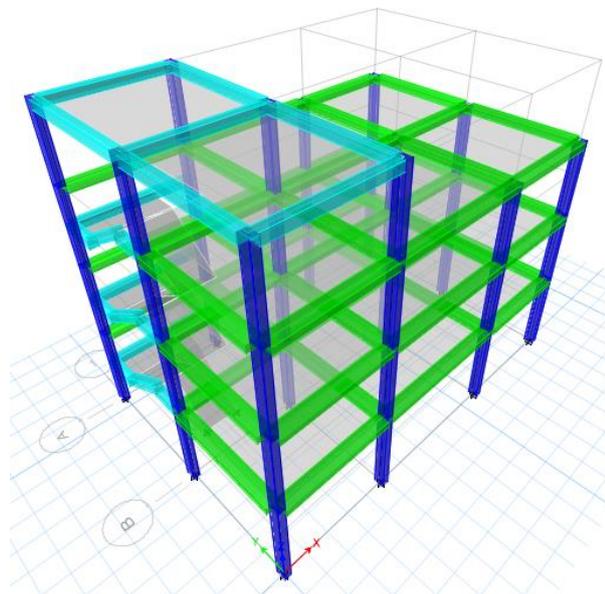


Figura 58. Modelo Matemático de la vivienda de la Sra. Flores Angélica.

Fuente: (ETABS , 2016)

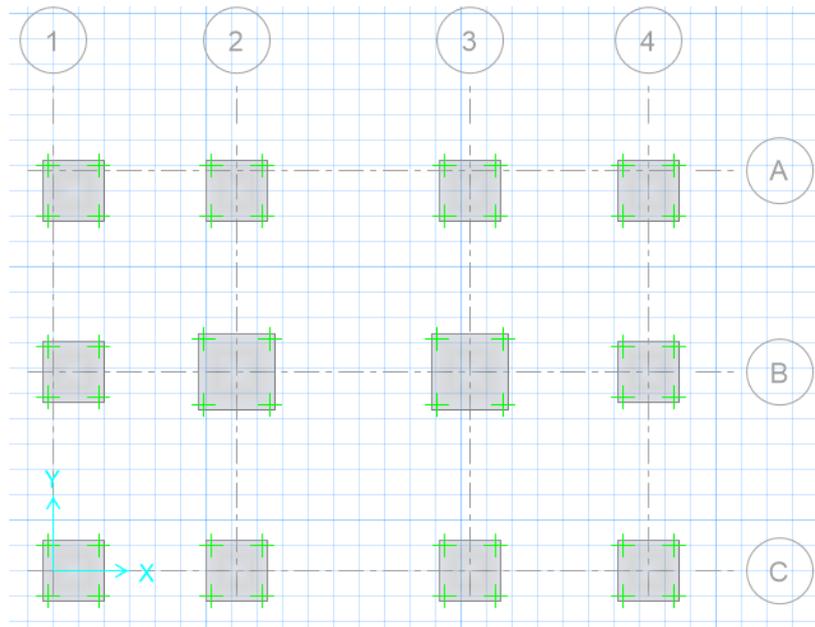


Figura 59. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda de la Sra. Flores Angélica.

Fuente: (SAFE, 2016)

3.3.4 Modelo Vivienda Sr. Yupanqui Enrique.

La vivienda del Sr. Yupanqui Enrique cuenta con ejes de columnas con sección de 875 cm^2 , es decir, $25 \times 35 \text{ cm}$; vigas banda con sección de $40 \times 20 \text{ cm}$ y una losa alivianada bidireccional de 20 cm de espesor. Su cimentación posee zapatas aisladas de 1.40×1.40 en la zona perimetral y en la zona central de $1.60 \times 1.60 \text{ m}$, con una altura de 35 cm . La vivienda consta de 3 pisos de elevación con una altura total de $10,57 \text{ metros}$. La dimensión mayor de su luz es de 3.85 m . y posee un área por planta promedio de $186,44 \text{ m}^2$.

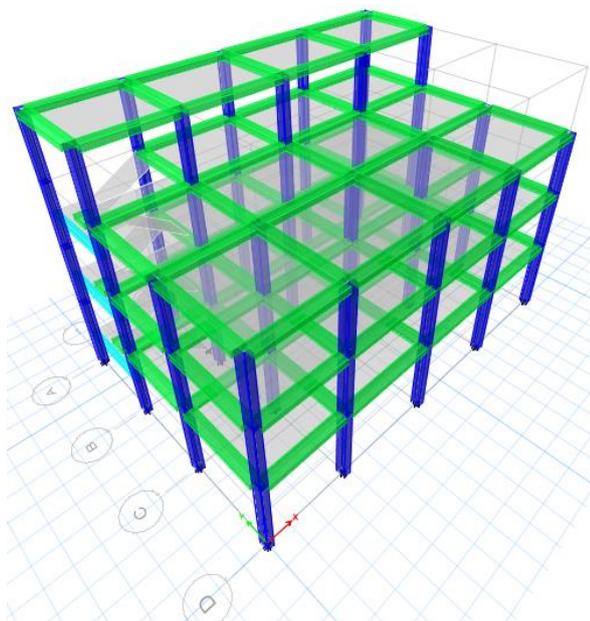


Figura 60. Modelo Matemático de la vivienda del Sr. Yupanqui Enrique.

Fuente: (ETABS , 2016)

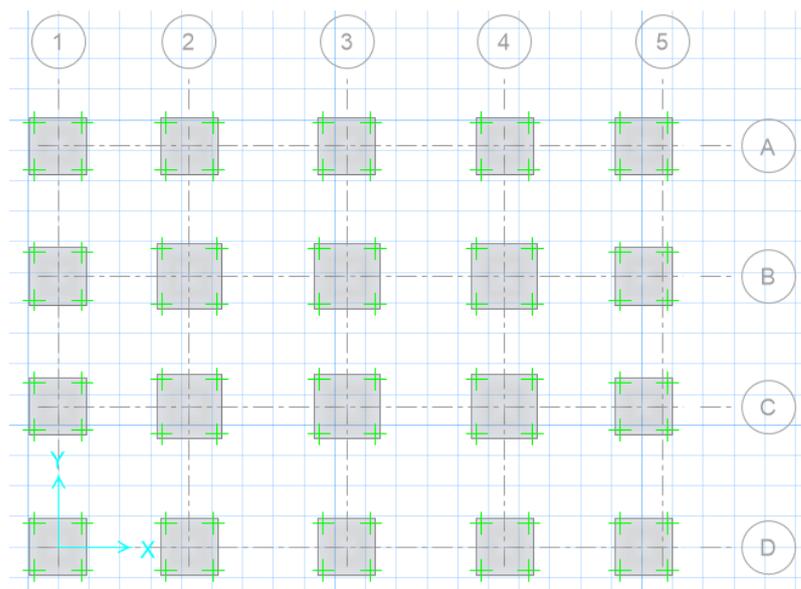


Figura 61. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr Yupanqui Enrique.

Fuente: (SAFE, 2016)

3.3.5 Modelo Vivienda Sr. Chicaiza Luis.

La vivienda del Sr. Chicaiza Luis cuenta con ejes de columnas con sección de 600 cm^2 , es decir, $20 \times 30 \text{ cm}$; vigas banda con sección de $40 \times 20 \text{ cm}$ y una losa alivianada bidireccional de 20 cm de espesor. Su cimentación posee zapatas aisladas de 1.20×1.20 en la zona perimetral y en la zona central de $1.40 \times 1.40 \text{ m}$, con una altura de 30 cm . La vivienda consta de 3 pisos de elevación con una altura total de $10,36 \text{ metros}$. La dimensión mayor de su luz es de 4.40 m . y posee un área por planta promedio de $128,68 \text{ m}^2$.

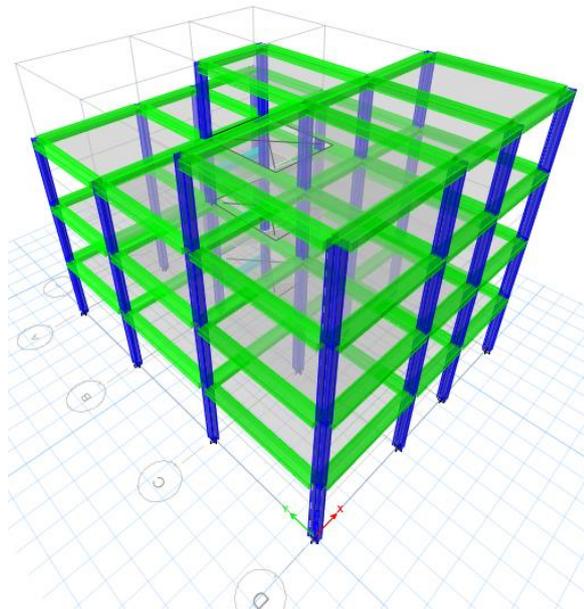


Figura 62. Modelo Matemático de la vivienda del Sr Chicaiza Luis.

Fuente: (ETABS , 2016)

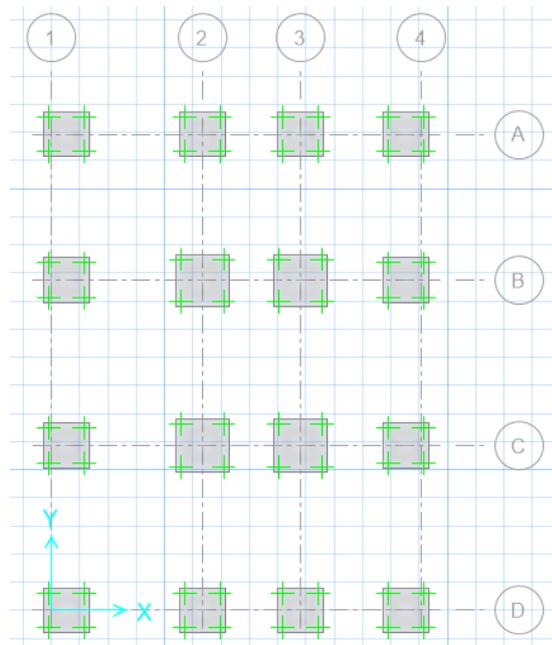


Figura 63. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr Chicaiza Luis.

Fuente: (SAFE, 2016)

3.3.6 Modelo Vivienda Sr. Chango Rafael.

La vivienda del Sr. Chango Rafael cuenta con ejes de columnas con sección de 600 cm^2 , es decir, $20 \times 30 \text{ cm}$; vigas banda con sección de $40 \times 20 \text{ cm}$ y una losa alivianada bidireccional de 20 cm de espesor. Su cimentación posee zapatas aisladas de 1.20×1.20 en la zona perimetral y en la zona central, con una altura de 30 cm . La vivienda consta de 2 pisos de elevación con una altura total de $3,86$ metros. La dimensión mayor de su luz es de 4.60 m . y posee un área por planta promedio de 97.53 m^2 .

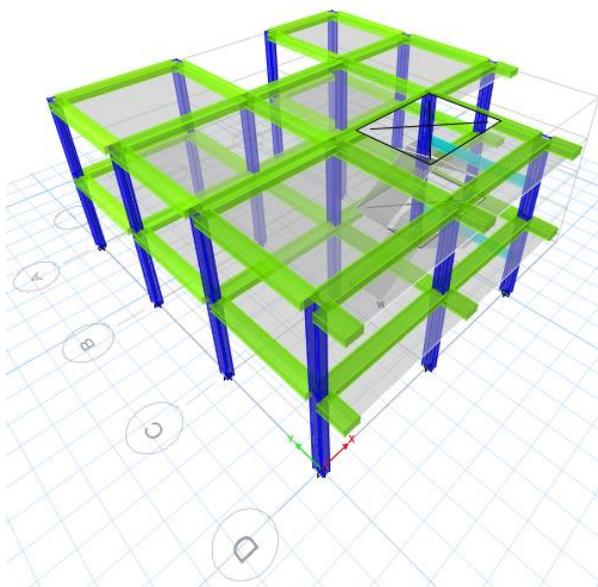


Figura 64. Modelo Matemático de la vivienda del Sr Chango Rafael.

Fuente: (ETABS , 2016)

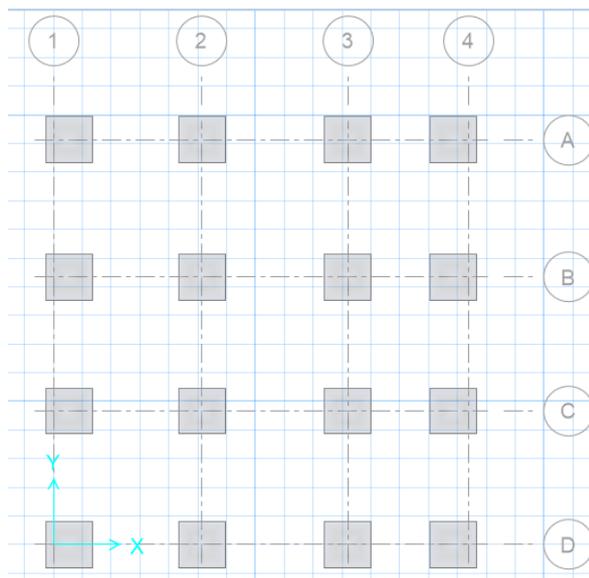


Figura 65. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr Chango Rafael.

Fuente: (SAFE, 2016)

3.3.7 Modelo Vivienda Sra. Palaquibay Luzmila.

La vivienda de la Sra. Palaquibay Luzmila cuenta con ejes de columnas con tres tipos de sección: de 3250 cm², 750 cm², 2025 cm², 1000 cm², 1225 cm², 1963.5 cm², es decir, 65 x 50 cm, 25 x 30 cm, 45 x 45 cm, 25 x 40 cm, 35 x 35 cm y columna circular de 50 cm de diámetro respectivamente; vigas banda con sección de 40 x 20 cm y una losa alivianada bidireccional de 20 cm de espesor. Su cimentación posee zapatas aisladas de 1.50 x 1.50 en la zona perimetral y en la zona central, con una altura de 30 cm. La vivienda consta de 2 pisos de elevación con una altura total de 5,65 metros. La dimensión mayor de su luz es de 4.60 m. y posee un área por planta promedio de 252.60 m².

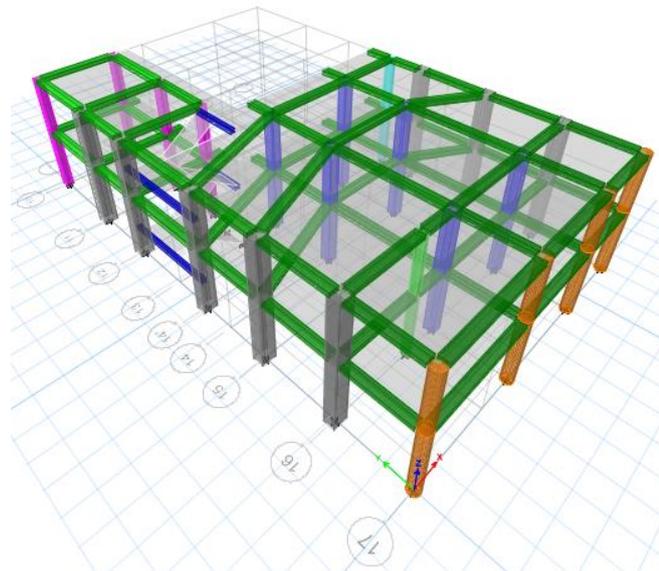


Figura 66. Modelo Matemático de la vivienda de la Sra. Palaquibay Luzmila.

Fuente: (ETABS , 2016)

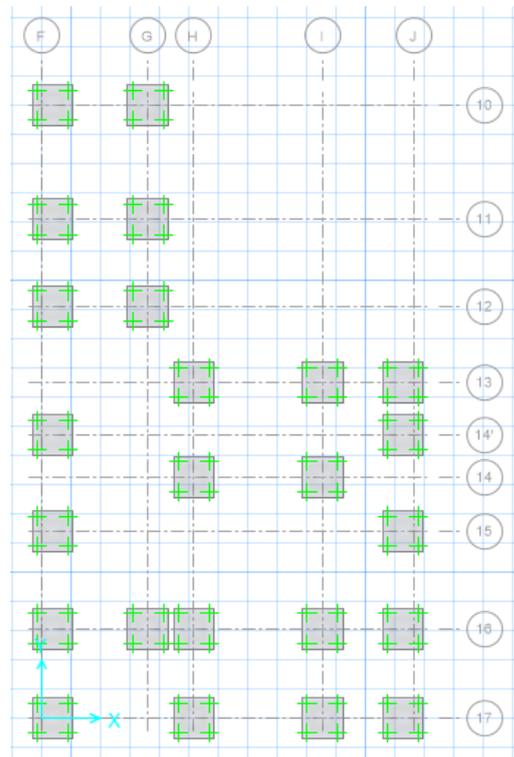


Figura 67. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda de la Sra. Palaquibay Luzmila.

Fuente: (SAFE, 2016)

3.3.8 Modelo Vivienda Sr. Rodríguez José.

La vivienda del Sr. Rodríguez José cuenta con ejes de columnas con sección de 900 cm^2 , es decir, $30 \times 30 \text{ cm}$; vigas banda con sección de $40 \times 20 \text{ cm}$ y una losa alivianada bidireccional de 20 cm de espesor. Su cimentación posee zapatas aisladas de 1.40×1.40 en la zona perimetral y en la zona central, con una altura de 35 cm . La vivienda consta de 2 pisos de elevación con una altura total de $5,94 \text{ metros}$. La dimensión mayor de su luz es de 3.65 m . y posee un área por planta promedio de 83.33 m^2 .

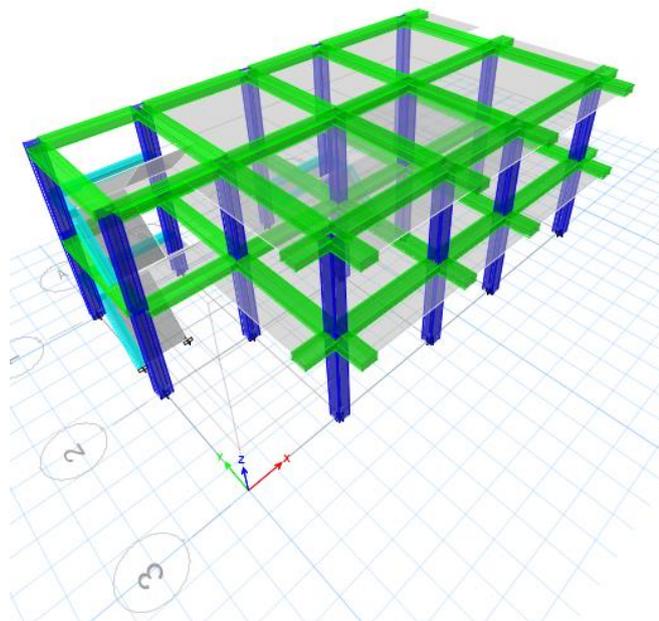


Figura 68. Modelo Matemático de la vivienda del Sr. Rodríguez José.

Fuente: (ETABS , 2016)

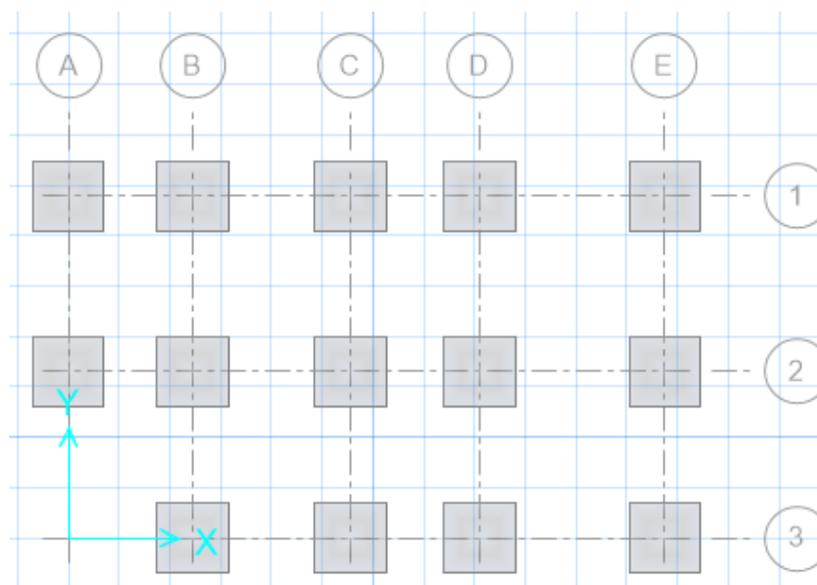


Figura 69. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr. Rodríguez José.

Fuente: (SAFE, 2016)

3.3.9 Modelo Vivienda Sr. Mora Galo.

La vivienda del Sr. Mora Galo cuenta con ejes de columnas con sección de 900 cm^2 , es decir, $30 \times 30 \text{ cm}$; vigas banda con sección de $40 \times 20 \text{ cm}$ y una losa alivianada bidireccional de 20 cm de espesor. Su cimentación posee zapatas aisladas de 1.30×1.30 en la zona perimetral y en la zona central, con una altura de 30 cm . La vivienda consta de 2 pisos de elevación con una altura total de $5,54 \text{ metros}$. La dimensión mayor de su luz es de 4.40 m . y posee un área por planta promedio de 68.79 m^2 .

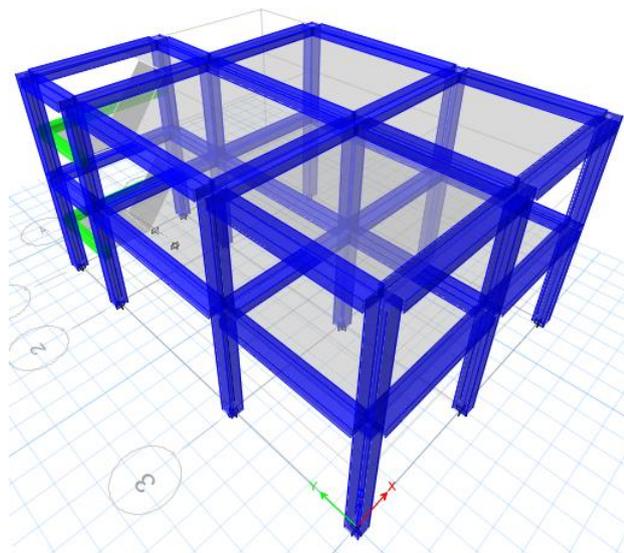


Figura 70. Modelo Matemático de la vivienda del Sr. Mora Galo.

Fuente: (ETABS , 2016)

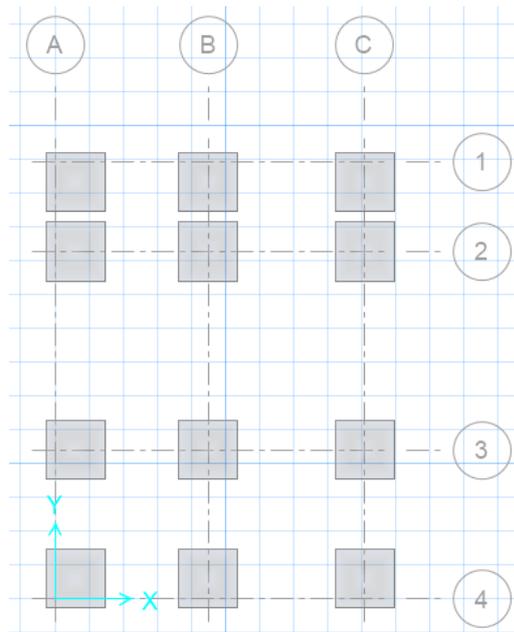


Figura 71. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr. Mora Galo.

Fuente: (SAFE, 2016)

3.3.10 Modelo Vivienda Sr. Chávez José.

La vivienda del Sr. Chávez José cuenta con ejes de columnas con sección de 600 cm^2 , es decir, $20 \times 30 \text{ cm}$; vigas banda con sección de $40 \times 20 \text{ cm}$ y una losa alivianada bidireccional de 20 cm de espesor. Su cimentación posee zapatas aisladas de 1.20×1.20 en la zona perimetral y en la zona central, con una altura de 30 cm . La vivienda consta de 2 pisos de elevación con una altura total de $5,28 \text{ metros}$. La dimensión mayor de su luz es de 3.70 m . y posee un área por planta promedio de 132.70 m^2 .

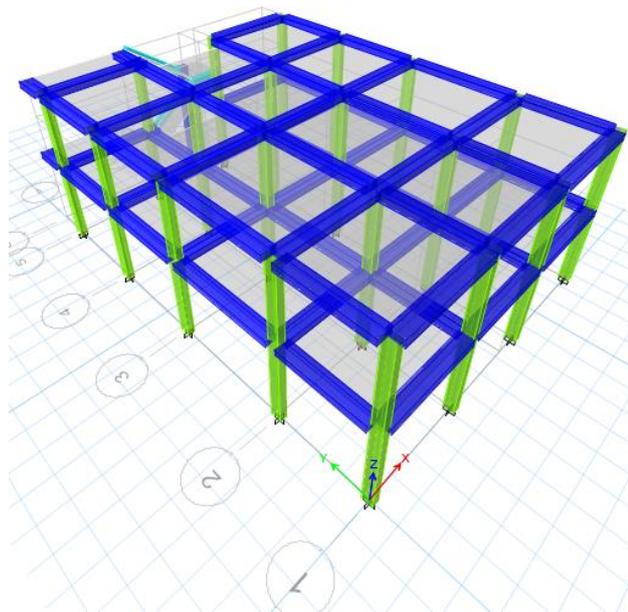


Figura 72. Modelo Matemático de la vivienda del Sr. Chávez José.

Fuente: (ETABS , 2016)

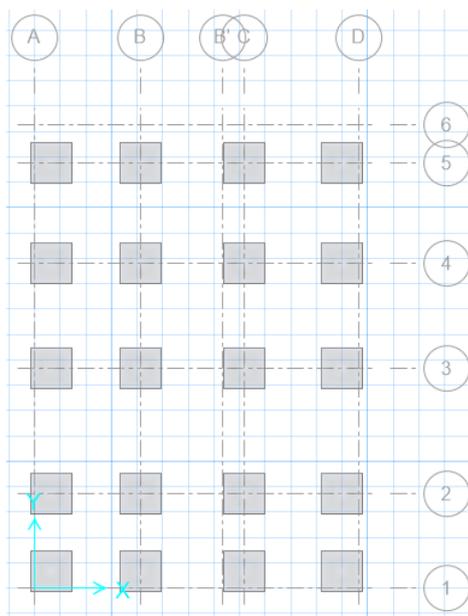


Figura 73. Modelo Matemático de la cimentación de la vivienda del Sr. Chávez José.

Fuente: (SAFE, 2016)

3.4 Análisis de Resultados.

Como punto inicial se procedió a realizar un análisis lineal elástico, parámetros como derivas de piso y torsión en planta de cada modelo se resumen en la Tabla 20 (Ver Anexo 5). Cabe recalcar que la prioridad de esta tesis se enfoca en el análisis no lineal estático y dinámico como se mostrará en párrafos siguientes; sin embargo se considera necesario mostrar resultados del análisis lineal elástico debido a que es el más común en nuestro medio.

La torsión en planta se considera que existe cuando en los dos primeros modos se obtiene un porcentaje de participación de la rotación mayor al 20% (debido a que los dos primeros modos deberían ser exclusivamente traslacionales) y en cuanto a derivas de piso, como se conoce, deben evitarse en el diseño valores mayores al 2%, a pesar de lo que se visualiza en el 65% de las estructuras estudiadas.

Tabla 20.

Resultado del análisis elástico de las viviendas

Proyecto	Deriva Inelástica X (%)	Deriva Inelástica Y (%)	Torsión en Planta
Carrasco	4,67	2,67	Torsión en modo 1 y 2
Bonifaz	4,55	4,62	Sin Torsión en planta
Chicaiza	4,94	3,35	Torsión en modo 1
Flores	5,78	6,57	Torsión en modo 1
Yupanqui	6,22	4,66	Torsión en modo 2
Chávez	2,49	1,57	Torsión en modo 1
Mora	1,55	1,00	Torsión en modo 1
Rodríguez	0,59	1,11	Torsión en modo 1
Palaquibay	1,83	1,6	Sin Torsión en planta
Chango	3,63	1,86	Torsión en modo 1 y 2

Las estructuras con mayor y menor porcentaje de deriva que se muestra en la Tabla 20 son la residencia del Sr. Yupanqui y la del Sr. Rodríguez respectivamente, presentándose en las dos el problema de torsión en planta.

Mientras que la única estructura que cumple con los requerimientos de la NEC-15 es la vivienda de la Sra. Palaquibay.

Como se mencionó anteriormente todas las estructuras fueron sometidas adicionalmente a un análisis no lineal estático o también conocido como pushover. El análisis de resultados se enfocará en explicar el comportamiento de las estructuras en el rango no lineal a través de la curva de capacidad y demás parámetros como la comparación entre el cortante de fluencia y el cortante de diseño.

3.4.1 Estructuras de tres pisos.

En la Figura 74 se muestra las curvas de capacidad de todas las viviendas de tres pisos de altura obtenidas con la ayuda del programa comercial ETABS. Mientras tanto en la Tabla 21 se visualiza los parámetros calculados de cada modelo.

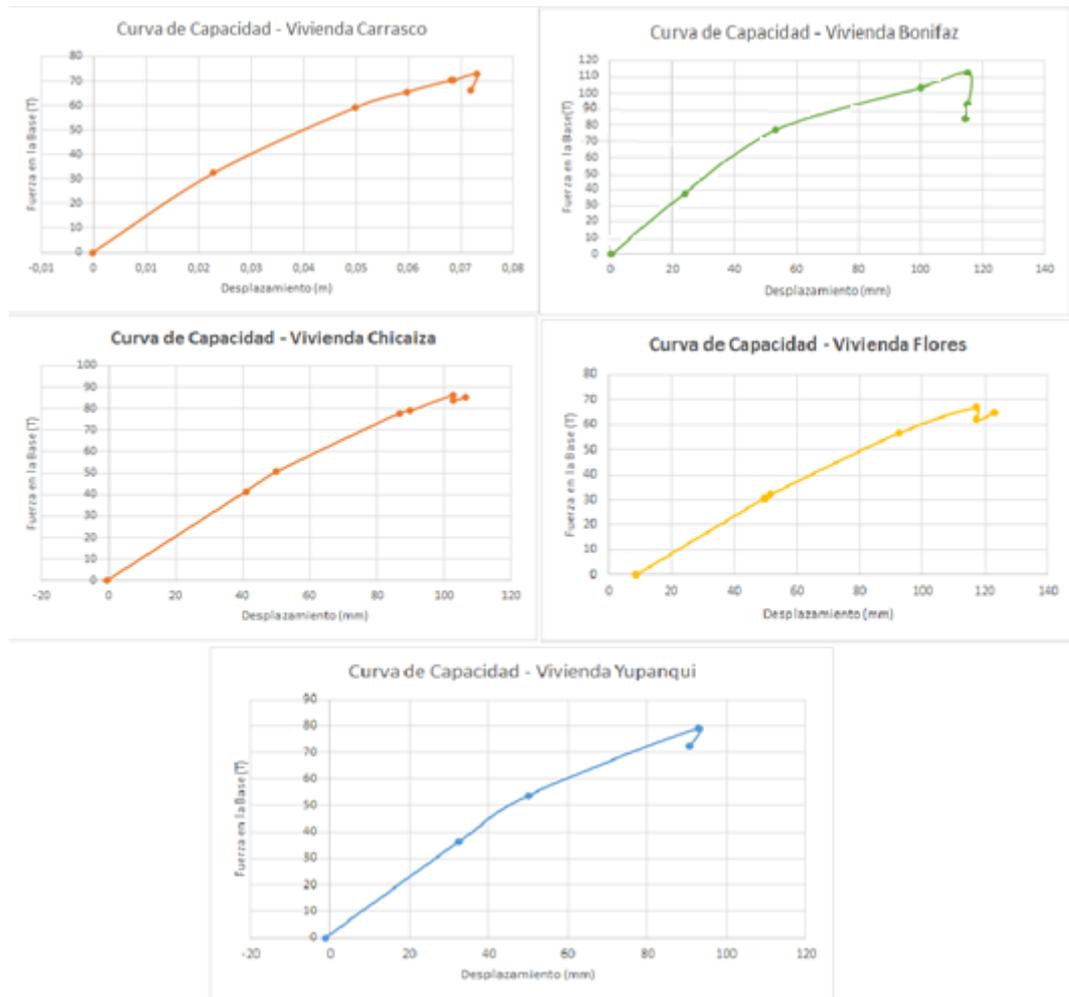


Figura 74. Curvas de Capacidad de las viviendas de 3 pisos.

Fuente: (ETABS , 2016)

El programa ETABS nos ayuda a calcular de manera directa el punto de fluencia con las coordenadas $(\Delta y, V_y)$, siguiendo la metodología expuesta en el Capítulo 2 de esta tesis, de esta manera los demás parámetros mostrados antes en la Figura 50 pueden ser calculados con mayor facilidad y se expresan en la Tabla 21 para cada uno de los modelos de viviendas de 3 pisos, en donde:

- R elástico, es el factor de reducción especificado en la norma NEC-15, el mismo que para los casos en estudio es de 5.
- V_y , es el valor de cortante de fluencia, es decir, el valor de cortante para el que se forma la primera rótula plástica.

- V_s , es el valor de cortante de diseño.
- V_e , es el valor de cortante si se considera un comportamiento estructural completamente elástico.
- D_y , es el desplazamiento alcanzado en la estructura para el valor del cortante de fluencia (V_y).
- D_s , es el valor de desplazamiento alcanzado para la estructura para el cortante de diseño (V_s).
- D_u , es el valor de desplazamiento último de la estructura, es decir, el valor máximo de la curva de capacidad en cada modelo.
- R_Ω , el factor de reducción por sobre resistencia, se calcula mediante la ecuación V_y/V_s .
- R_μ , el factor de reducción de resistencia por ductilidad, se calcula mediante la ecuación V_e/V_y .
- R_R , el factor de reducción por redundancia estructural, especificado en 1 para estas estructuras.
- R , el factor de reducción que resulta de multiplicar $R_\Omega * R_\mu * R_R$.
- μ , la ductilidad que resulta del cociente D_u/D_y .

Tabla 21.

Parámetros calculados del proceso de Bilinealización de viviendas de tres pisos.

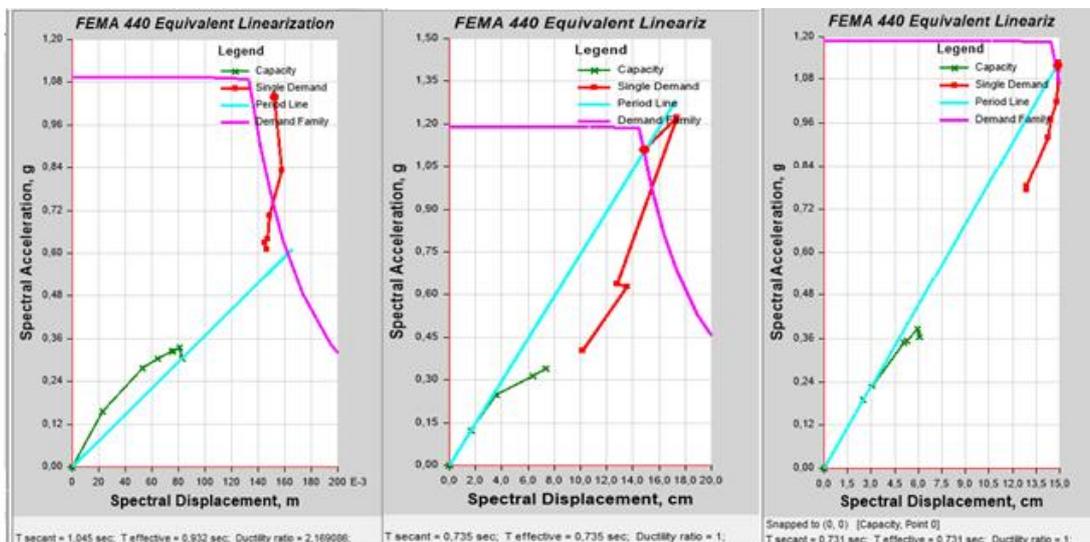
Carrasco	R Elástico	V_y (Ton)	V_s (Ton)	V_e (Ton)	D_y (m)	D_s (m)
	5	32,43	58,76	293,8	0,031485	0,080393
	D_u (m)	R_Ω	R_μ	R	μ	R_R
	0,072955	0,5519061	9,0595	5	2,3171	1
Bonifaz	R Elástico	V_y (Ton)	V_s (Ton)	V_e (Ton)	D_y (m)	D_s (m)
	5	37,42	89,32	446,6	0,02396	0,07894
	D_u (m)	R_Ω	R_μ	R	μ	R_R
	0,1152	0,4189	11,93	5	4,8	1
Chicaiza	R Elástico	V_y (Ton)	V_s (Ton)	V_e (Ton)	D_y (m)	D_s (m)
	5	41,51	64,82	324,1	0,04087	0,09945
	D_u (m)	R_Ω	R_μ	R	μ	R_R



	0,1063	0,6403	7,8077	5	2,6014	1
Flores	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
	5	30,53	58,35	291,75	0,0494	0,10952
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,1229	0,5232	9,55	5	2,48	1
Yupanqui	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
	5	36,34	94,4	472	0,03244	0,1216
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,352	0,3849	12,98	5	10,85	1

El valor del cortante de fluencia, V_y , en cada uno de los modelos es menor al cortante de diseño, V_s , lo que nos da una idea de que las estructuras llegan a su fluencia antes de resistir las fuerzas de diseño especificadas según el código de la norma NEC -15, es decir, que no son capaces de resistir las cargas mínimas indicadas en la normativa.

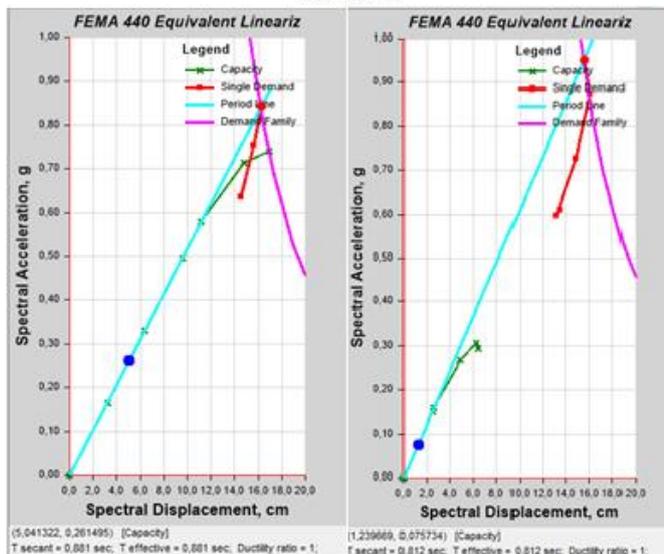
Se puede a su vez determinar el punto de desempeño de la estructura, el mismo nos indica el desplazamiento máximo que se espera de la estructura ante el sismo de diseño. La Figura 75 muestra que los espectros de capacidad de las viviendas se encuentran por debajo del espectro de demanda de la NEC-15 y en la Tabla 22 se visualiza las coordenadas del punto de desempeño que como se esperaba no intersecan los dos espectros.



CARRASCO

BONIFAZ

CHICAIZA



YUPANQUI

FLORES

Figura 75. Punto de Desempeño viviendas de 3 pisos.

Fuente: (ETABS , 2016)

Tabla 22.**Ubicación Punto de Desempeño modelos de tres pisos.**

Proyecto	Sd (m)	Sa (g)	V (Ton)
Carrasco	0,1523	1,04	214,55
Bonifaz	0,149	1,11	340,96
Chicaiza	0,149	1,12	247,64
Flores	0,156	0,95	193,68
Yupanqui	0,162	0,84	232,19

Fuente: (ETABS , 2016)

En la Tabla 22 se puede observar que los desplazamientos espectrales (Sd), se encuentran en un rango de 15 a 16 centímetros, mientras que las aceleraciones espectrales (Sa) en un rango de 0.8 g a 1.1 g. Estos resultados demuestran que se espera un gran daño en las viviendas analizadas así como también valores altos de deriva.

3.4.2 Estructuras de dos pisos.

En la Figura 76 se muestra las curvas de capacidad de todas las viviendas de dos pisos de altura obtenidas con la ayuda del programa comercial ETABS. Mientras tanto en la Tabla 23 se visualiza los parámetros calculados de cada modelo.

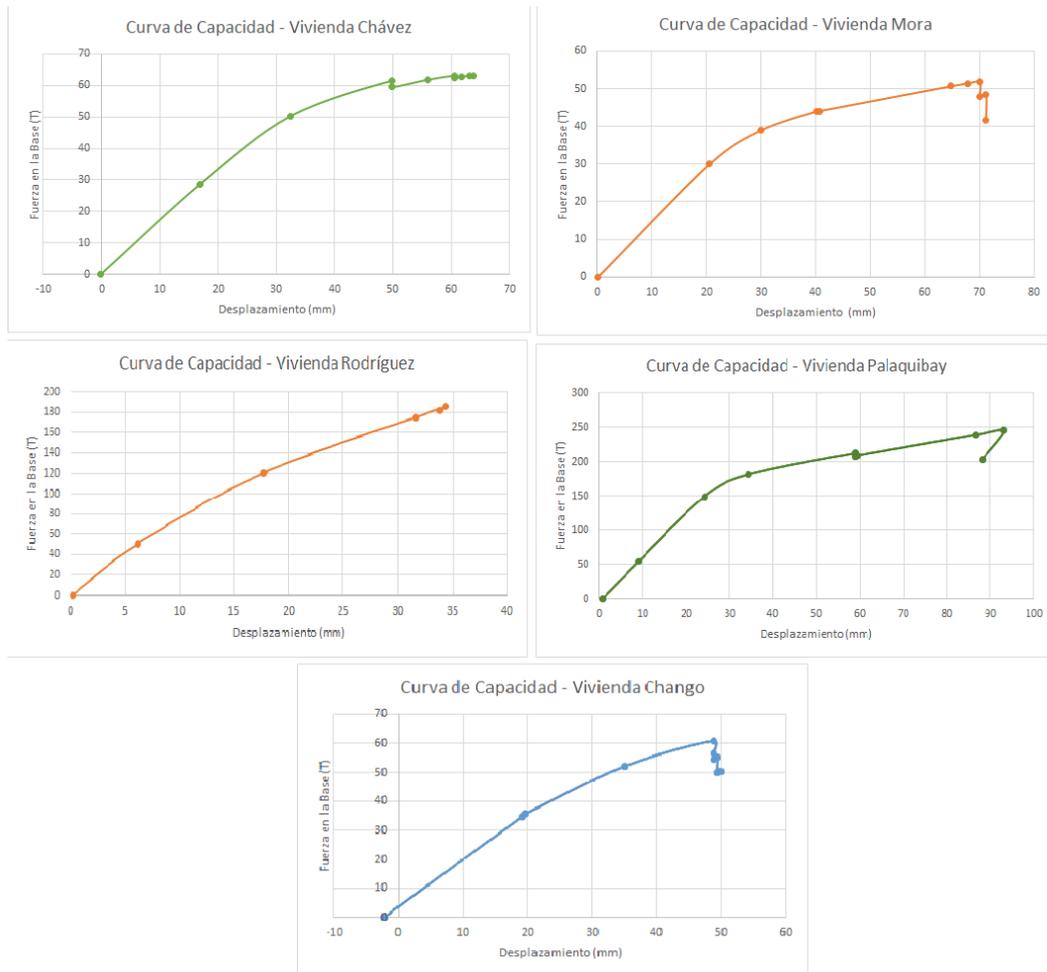


Figura 76. Curvas de Capacidad de las viviendas de 2 pisos.

Fuente: (ETABS , 2016)

Tabla 23.

Parámetros calculados del proceso de Bilinealización de viviendas de dos pisos.

Chávez	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
	5	28,68	45,09	223,45	0,01692	0,0345
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,0699	0,636	7,86	5	4,13	1
Mora	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
	5	29,95	23,02	115,1	0,02053	0,02037
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,085	1,30	3,84	5	4,15	1
Rodríguez	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
	5	50,42	26,24	131,2	0,0061	0,0078
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,034	1,92	2,6021	5	5,58	1
Palaquibay	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
	5	54,3	95,52	477,6	0,009	0,023
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,092	0,568	8,79	5	10,33	1
Chango	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
	5	34,78	35,65	178,25	0,0191	0,03131
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,0499	0,9755	5,125	5	2,615	1

Al igual que en el análisis mostrado para las viviendas de tres pisos de altura se visualiza que los modelos de las viviendas pertenecientes al Sr. Chango, Palaquibay y Chávez presentan un comportamiento similar, es decir, que se produce en aquellas una falla frágil al observarse que llegan a su fluencia antes de resistir fuerzas de diseño. Caso contrario a las viviendas del Sr. Mora y Rodríguez las mismas que se aprecia tienen una ductilidad esperada puesto que su fluencia se presenta después de resistir su fuerza cortante de diseño.

El punto de desempeño de las cinco estructuras de dos pisos se presenta en la Figura 77 y sus parámetros calculados en la Tabla 24.

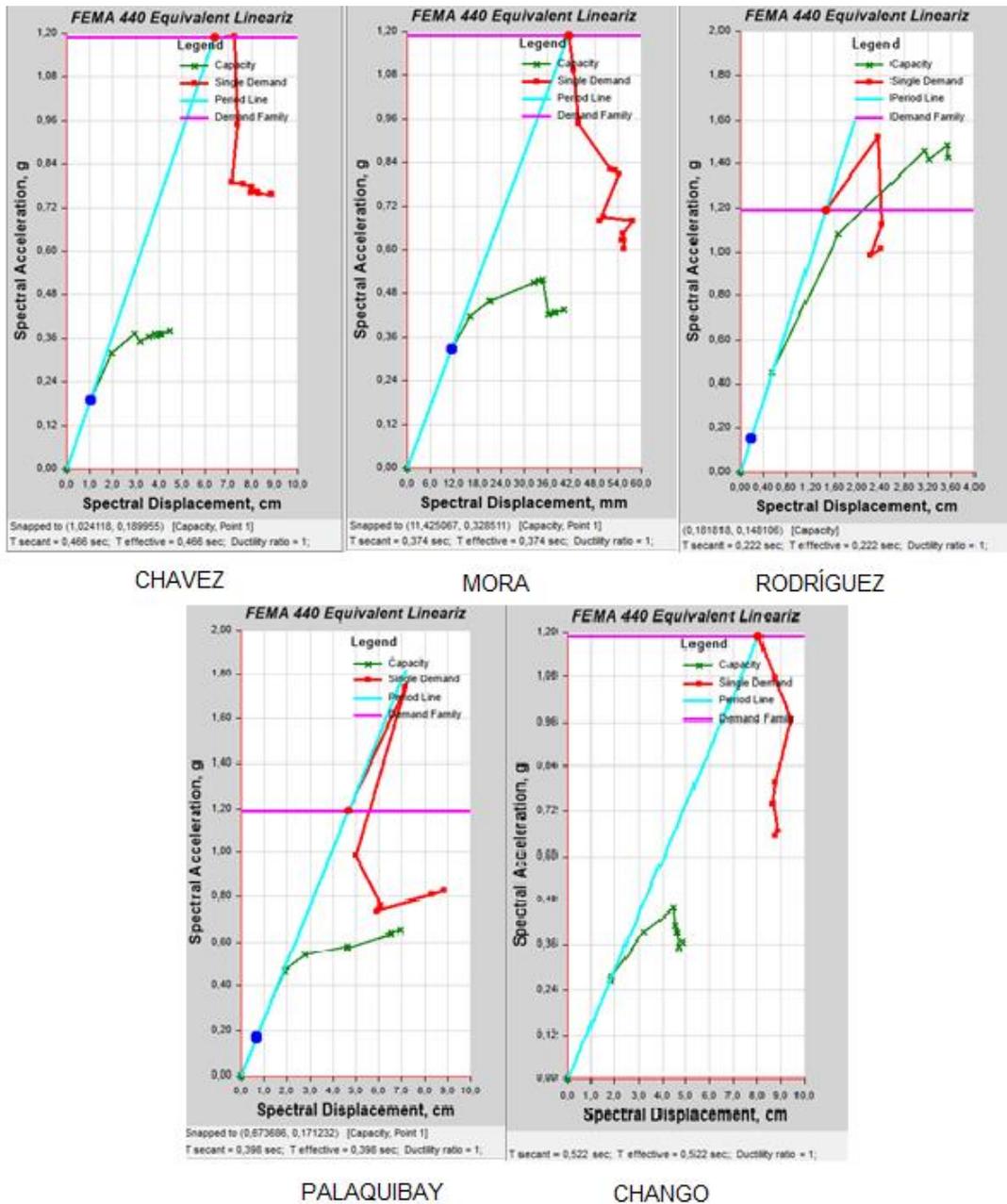


Figura 77. Punto de Desempeño viviendas de 2 pisos.

Fuente: (ETABS , 2016)

Tabla 24.**Ubicación Punto de Desempeño modelos de dos pisos.**

Proyecto	Sd (m)	Sa (g)	V (Ton)
Chávez	0,0642	1,19	179,74
Mora	0,0414	1,19	108,55
Rodríguez	0,0146	1,19	134,03
Palaquibay	0,0468	1,19	377,48
Chango	0,086	1,19	155,47

Fuente: (ETABS , 2016)

En la Tabla 24 se puede observar que los desplazamientos espectrales (Sd), se encuentran en un rango de 1 a 8 centímetros, mientras que las aceleraciones espectrales (Sa) tienen un valor constante de 1.19 g. Estos resultados demuestran que se espera un daño considerable en este tipo de viviendas.

Tomando los datos de registros de acelerogramas de tres estaciones de la RENAC (Red Nacional de Acelerógrafos) del pasado evento sísmico en la provincia de Manabí en Abril del 2016 se ha realizado un análisis no lineal dinámico con la opción FNA (Fast Nonlinear Analysis) del programa ETABS de cada modelo en estudio; previamente dichos acelerogramas han sido corregidos con la ayuda del programa SeismoSpect 2016 y escalados al espectro de la NEC-15 por medio de la opción Time History de ETABS.

Los registros de Manta, Pedernales y Portoviejo han permitido obtener gráficas de Tiempo vs Desplazamiento de diversos nudos, como por ejemplo el presentado en la Figura 78 correspondiente al desplazamiento en sentido X del nudo 3 en el segundo piso del modelo de la vivienda del Sr. Chango Rafael. Estos resultados se utilizaron para calcular la irregularidad torsional como especifica la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su apartado de Peligro Sísmico.



Figura 78. Desplazamiento Nudo 3 sentido X. Vivienda del Sr. Chango Rafael.

Fuente: (ETABS , 2016)

Las Figuras 79 y 80 muestran los resultados de los cálculos efectuados para cada modelo en los dos sentidos de análisis, de acuerdo a lo que establece la NEC 15, para evaluar la irregularidad torsional. Estos resultados se pueden contrastar con lo especificado en la Tabla 20 en donde a través del análisis lineal elástico se determinó la torsión en planta por medio de los modos de vibración.

Se observa que en 7 de las 10 viviendas coinciden los resultados de los dos análisis, traduciéndose en el 70% de similitud entre los mismos. De esta manera se evalúan los desplazamientos reales de la estructura a través de tres acelerogramas registrados, lo cual constituye un análisis mucho más detallado debido a que se toma en consideración las propiedades mecánicas de los materiales y su comportamiento.

Debido a que se quiere enfocar los resultados con respecto a las metodologías más recientes se ha tomado como base del análisis el FNA propuesto por ETABS, sin embargo se deja constancia que un labor adicional y tema para otro trabajo investigativo sería el análisis y la comparación entre el Fast Nonlinear Analysis y el Método de Integración Directa.

ANALISIS EN SENTIDO X												
PROYECTO	ACELEROGRAMA TH ESTACION AMNT (MANTA)				ACELEROGRAMA TH ESTACION APED (PEDERNALES)				ACELEROGRAMA TH ESTACION APO1 (PORTOVIEJO)			
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$
CARRASCO	0,0010	0,0002	0,0010	Torsión	0,0005	0,0009	0,0009	Torsión	0,0004	0,0002	0,0004	Torsión
BONIFAZ	0,0021	0,0031	0,0031	Sin Torsión	0,0018	0,0028	0,0028	Torsión	0,0025	0,0041	0,0041	Torsión
CHICAIZA	0,0106	0,0119	0,0119	Sin Torsión	0,0125	0,0129	0,0129	Sin Torsión	0,0111	0,0122	0,0122	Sin Torsión
FLORES	0,0014	0,0014	0,0014	Sin Torsión	0,0016	0,0016	0,0016	Sin Torsión	0,0016	0,0016	0,0016	Sin Torsión
YUPANQUI	0,0016	0,0011	0,0016	Sin Torsión	0,0019	0,0017	0,0019	Sin Torsión	0,0014	0,0013	0,0014	Sin Torsión
CHÁVEZ	0,0030	0,0012	0,0030	Torsión	0,0021	0,0010	0,0021	Torsión	0,0016	0,0006	0,0016	Torsión
MORA	0,0013	0,0008	0,0013	Torsión	0,0016	0,0007	0,0016	Torsión	0,0011	0,0004	0,0011	Torsión
PALAUQUIBAY	0,0011	0,0012	0,0012	Sin Torsión	0,0016	0,0017	0,0017	Sin Torsión	0,0010	0,0010	0,0010	Sin Torsión
RODRIGUEZ	0,0007	0,0004	0,0007	Torsión	0,0005	0,0004	0,0005	Sin Torsión	0,0003	0,0002	0,0003	Torsión
CHANGO	0,0014	0,0020	0,0020	Sin Torsión	0,0018	0,0017	0,0018	Sin Torsión	0,0011	0,0015	0,0015	Sin Torsión

Figura 79. Resultados del cálculo de Irregularidad Torsional en sentido X.

Fuente: (ETABS , 2016)

ANALISIS EN SENTIDO Y												
PROYECTO	ACELEROGRAMA TH ESTACION AMNT (MANTA)				ACELEROGRAMA TH ESTACION APED (PEDERNALES)				ACELEROGRAMA TH ESTACION APO1 (PORTOVIEJO)			
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$
CARRASCO	3,92E-05	2,35E-04	2,35E-04	Torsión	0,0006	0,0009	0,0009	Sin Torsión	0,0004	0,0002	0,0004	Torsión
BONIFAZ	3,57E-03	2,90E-03	3,57E-03	Sin Torsión	0,0031	0,0027	0,0031	Sin Torsión	0,0029	0,0035	0,0035	Sin Torsión
CHICAIZA	2,07E-02	1,54E-02	2,07E-02	Sin Torsión	0,0154	0,0141	0,0154	Sin Torsión	0,0137	0,0108	0,0137	Sin Torsión
FLORES	6,16E-03	4,31E-05	6,16E-03	Torsión	0,0059	0,0000	0,0059	Torsión	0,0100	0,0001	0,0100	Torsión
YUPANQUI	1,56E-03	1,73E-03	1,73E-03	Sin Torsión	0,0015	0,0015	0,0015	Sin Torsión	0,0011	0,0015	0,0015	Sin Torsión
CHÁVEZ	2,32E-03	1,72E-03	2,32E-03	Sin Torsión	0,0019	0,0020	0,0020	Sin Torsión	0,0010	0,0009	0,0010	Sin Torsión
MORA	9,84E-04	1,30E-03	1,30E-03	Sin Torsión	0,0010	0,0014	0,0014	Sin Torsión	0,0009	0,0013	0,0013	Torsión
PALAUQUIBAY	1,63E-03	1,70E-03	1,70E-03	Sin Torsión	0,0014	0,0013	0,0014	Sin Torsión	0,0009	0,0009	0,0009	Sin Torsión
RODRIGUEZ	1,27E-03	2,78E-04	1,27E-03	Torsión	0,0010	0,0003	0,0010	Torsión	0,0005	0,0002	0,0005	Torsión
CHANGO	1,79E-03	1,47E-03	1,79E-03	Sin Torsión	0,0015	0,0013	0,0015	Sin Torsión	0,0011	0,0009	0,0011	Sin Torsión

Figura 80. Resultados del cálculo de Irregularidad Torsional en sentido Y.

Fuente: (ETABS , 2016)

3.5 Resultados de cimentación

La cimentación de todas las viviendas en estudio consta de zapatas aisladas las mismas que fueron modeladas en el programa comercial SAFE. Para los modelos planteados se ha asumido un esfuerzo de suelo de 12 T/m^2 debido a que este es uno de los valores promedio aceptado por las entidades de control (como el Colegio de Arquitectos de Pichincha) para la aprobación de proyectos estructurales en los cuales no es un requisito indispensable la realización de un estudio geotécnico. En este trabajo investigativo se llegó a determinar el valor mencionado anteriormente puesto que la inversión (para realizar los diez ensayos geotécnicos necesarios) es muy alta y no en todas las viviendas se presenta la factibilidad técnica de su realización; sin embargo se recomienda que el profesional a cargo de cada proyecto considere la necesidad de dicho estudio con el objetivo de tener mayor seguridad al momento del análisis estructural íntegro.

En la Figura 81 y 82 se muestran los modelos de la cimentación de las viviendas de 3 pisos de altura, mientras en la Figura 83 y 84 la cimentación de las viviendas de 2 pisos de altura. La Figura 81 y 83 corresponden a la presión admisible debido a la combinación de carga $1.2 \text{ D} + 1.6 \text{ L}$, mientras que las Figuras 82 y 84 muestran la presión de suelo producto de la combinación de carga $1.2 \text{ D} + 1.6 \text{ L} + \text{Sismo}$; cabe mencionar que para estas últimas figuras la presión admisible del suelo se incrementa un 33% llegando a un valor de 15.96 T/m^2 .

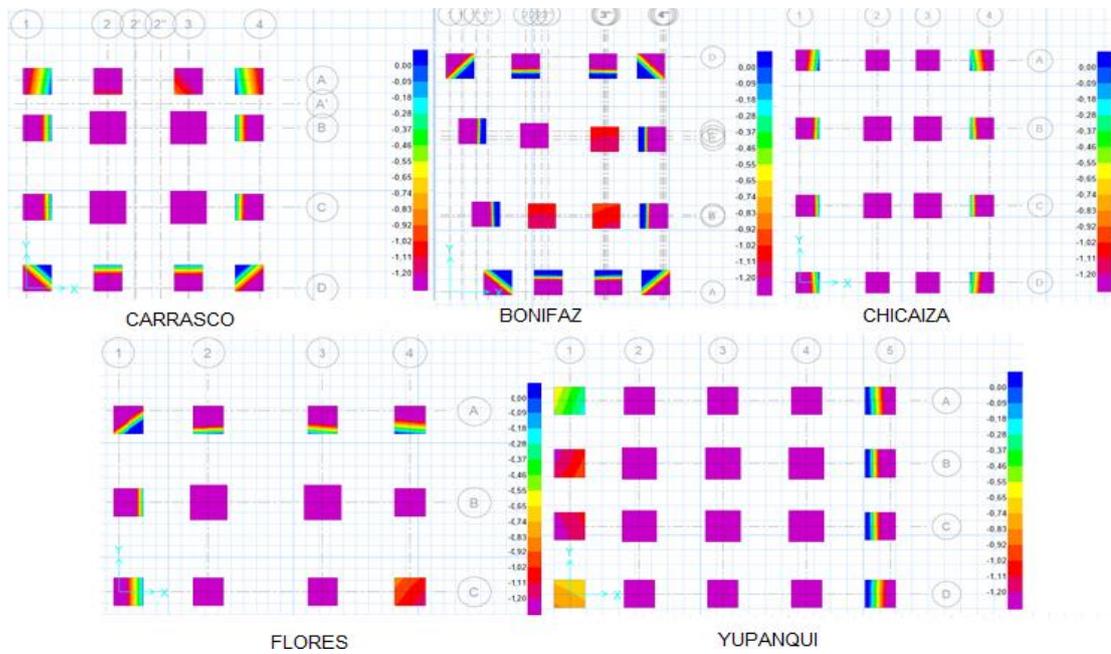


Figura 81. Presión admisible en Cimentación por combinación 1.2 D + 1.6 L, Modelos 3 pisos.

Fuente: (SAFE, 2016)

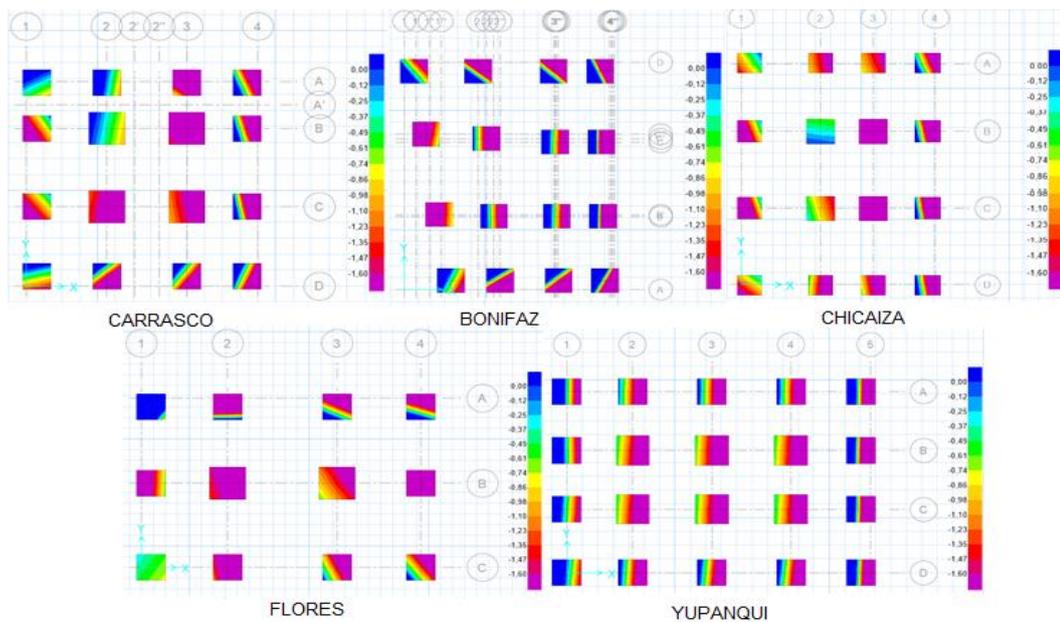


Figura 82. Presión admisible en Cimentación, combinación 1.2 D + 1.6 L + Sismo, Modelos 3 pisos.

Fuente: (SAFE, 2016)

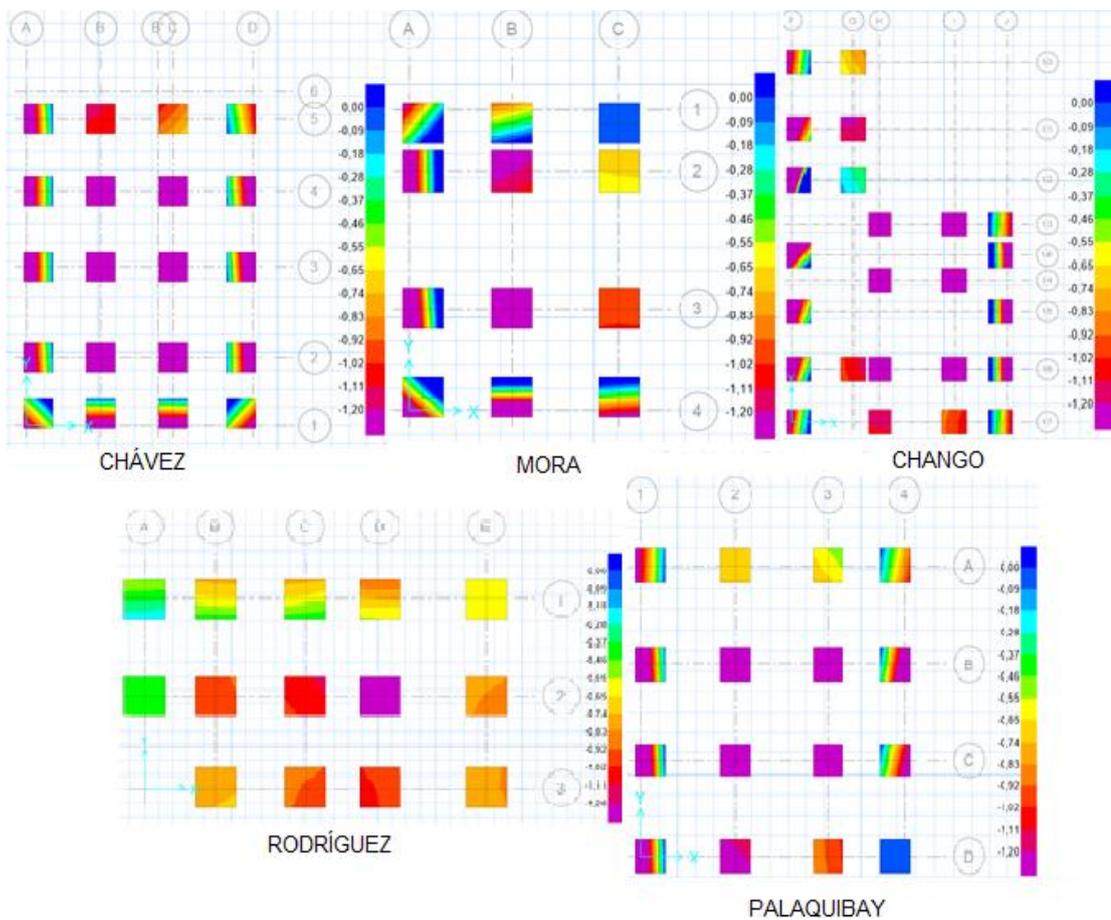


Figura 83. Presión admisible en Cimentación, combinación 1.2 D + 1.6 L Modelos 2 pisos.

Fuente: (SAFE, 2016)

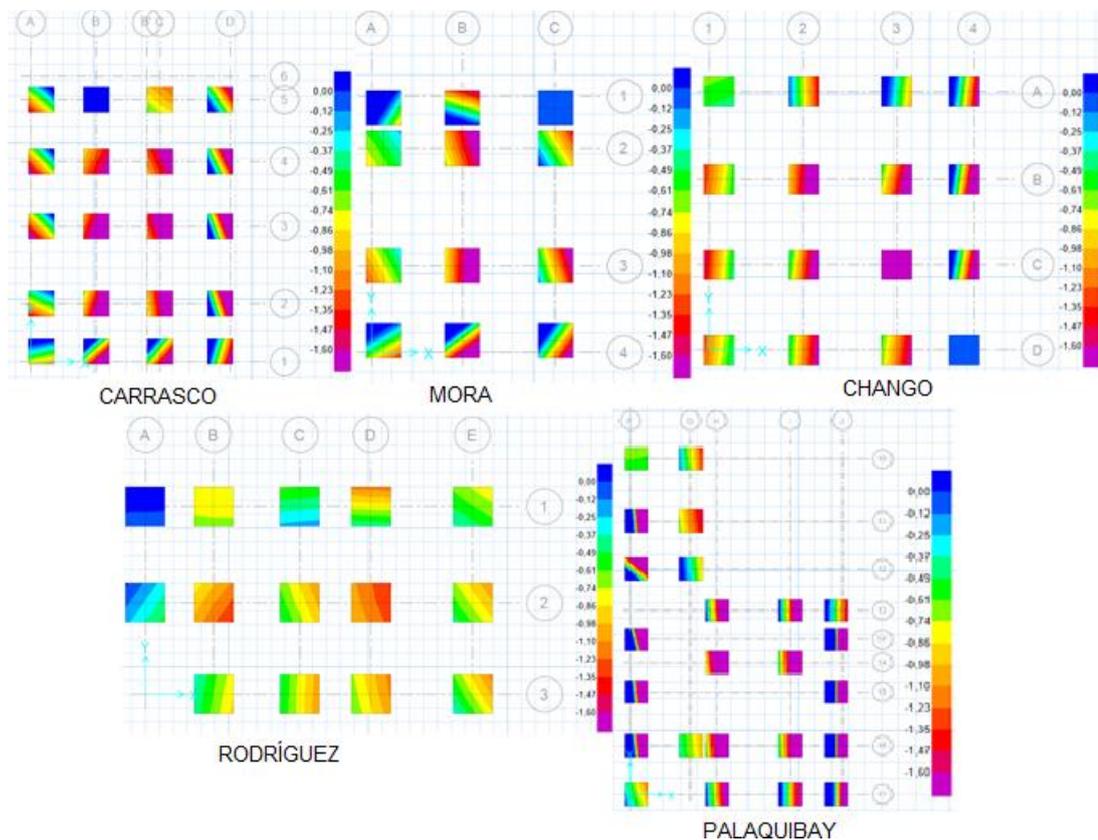


Figura 84. Presión admisible en Cimentación, combinación 1.2 D + 1.6 L + Sismo, Modelos 2 pisos.

Fuente: (SAFE, 2016)

Mediante las Figuras 81, 82, 83 y 84 podemos determinar que la cimentación existente en cada uno de los modelos en su gran mayoría son insuficientes, puesto que casi todas las zapatas aisladas superan la presión de suelo admisible; con esto comprobamos que en cimentación es necesario realizar un refuerzo estructural que permita subsanar los problemas de presiones y punzonamiento.

3.6 Propuestas de Refuerzo.

Basados en el “Formato para Evaluación Rápida Estructural de Viviendas Informales” especificado en el Anexo 3, se ha evaluado a las estructuras expuestas en este trabajo con la finalidad de proponer refuerzos cuyo cálculo será detallado en el capítulo siguiente. La Tabla 14 mostrada en el Capítulo 2

detalla los reforzamientos sugeridos de acuerdo a un rango de puntos obtenidos en la evaluación citada.

De manera didáctica se ha incorporado en el Anexo 4 los formatos completos las viviendas estudiadas como ejemplo. Dichos valores pueden ser cotejados con los expuestos en la Tabla 25, la misma que muestra un resumen de los 10 modelos estudiados.

Tabla 25.

Resumen de la evaluación rápida de las viviendas en estudio.

PROYECTO	PUNTAJE DE EVALUACION (sobre 24)	COSTO DE REPOSICION (USD)	PROPUESTA DE REFUERZO
CARRASCO	11	85274,80	Encamisado + enchapado + cfrp (opcional)
BONIFAZ	10	65475,00	Encamisado + enchapado + cfrp (opcional)
CHICAIZA	11	118236,10	Encamisado + enchapado + cfrp (opcional)
FLORES	13	76130,00	Encamisado + enchapado + cfrp (opcional)
YUPANQUI	12	83898,00	Encamisado + enchapado + cfrp (opcional)
CHANGO	11	29257,50	Encamisado + enchapado + cfrp (opcional)
RODRIGUEZ	10	38329,50	Encamisado + enchapado + cfrp (opcional)
PALQUIBAY	10	116193,70	Encamisado + enchapado + cfrp (opcional)
CHÁVEZ	10	39769,50	Encamisado + enchapado + cfrp (opcional)
MORA	10	20635,50	Encamisado + enchapado + cfrp (opcional)

Podemos observar que en todos los modelos se ha obtenido un puntaje entre el rango de 10 a 13 puntos, lo que demuestra que estas viviendas tienen una vulnerabilidad estructural media. De acuerdo al puntaje de evaluación se recomienda realizar un encamisado de columnas más un enchapado de mampostería y refuerzo de Cfrp (opcional). Este último usualmente para solventar la deficiencia de acero positivo (o armadura a flexión) en vigas. Con estos reforzamientos se buscará elevar el nivel de capacidad resistente de las estructuras con el objetivo de eliminar su comportamiento frágil mostrado en los resultados mediante el análisis estático no lineal.

CAPÍTULO 4

CÁLCULO DE PROPUESTAS DE REFUERZO

En este capítulo se busca dar un ejemplo práctico del cálculo de los diversos tipos de reforzamiento que se plantean en este trabajo de investigación, para ello se tomarán casos puntuales de los diversos modelos realizados en el capítulo anterior; por ejemplo se tomarán dos secciones de columna con el fin de determinar su refuerzo y comportamiento frente a las alternativas de encamisado, también dos secciones de vigas con el fin de someterlos a reforzamiento por medio de la adición de un perfil metálico en su base y también a un reforzamiento a flexión utilizando fibras de carbono o CFRP. Además se realizarán ejemplos del reforzamiento en losas, cimentación y a nivel de mampostería con el enchapado de las mismas. Las secciones de columnas y vigas serán tomadas al azar y serán consideradas para los ejemplos tipo de los respectivos análisis.

Este capítulo se enmarca en el análisis estructural de las propuestas, mas no en el proceso constructivo de las mismas, este parámetro se detallará en el capítulo 7 dentro de la guía propuesta. El objetivo de estos cálculos es el de brindar información al profesional responsable del proyecto de reforzamiento de esta clase de viviendas, para realizar su trabajo de manera práctica después de utilizar como herramienta los resultados obtenidos de un programa comercial como el ETABS y SAFE.

4.1 Refuerzo en Columnas

El reforzamiento en columnas se plantea de dos maneras: encamisado mediante recrido de sección de hormigón y el encamisado mediante colocación de fibras de carbono. Para las dos opciones se utilizará el diagrama de interacción finalmente obtenido de ETABS y se comprobará que los esfuerzos críticos en los modelos sin reforzamiento se encuentren solventados por la sección reforzada.

4.1.1 Encamisado de Hormigón

A continuación se muestra el cálculo para el encamisado de hormigón de una columna (intersección de ejes C - 2) de sección 20 x 30 cm en el modelo de la vivienda del Sr. Chicaiza. Para determinar la necesidad de reforzamiento se muestra en la Figura 86, el diagrama de interacción obtenido gracias a la opción de section designer de ETABS, en la misma se visualiza que todos los puntos que representan los valores de Momento – Fuerza Axial obtenidos después de la corrida del programa, se encuentran fuera de la envolvente que delimita la resistencia máxima de la sección existente en la vivienda en estudio. Se recuerda que la sección analizada consta de un armado de 6 varillas de 12 milímetros de diámetro en su armado longitudinal y un estribo de 10 milímetros de diámetro en su armado transversal, como se muestra en la Figura 85.

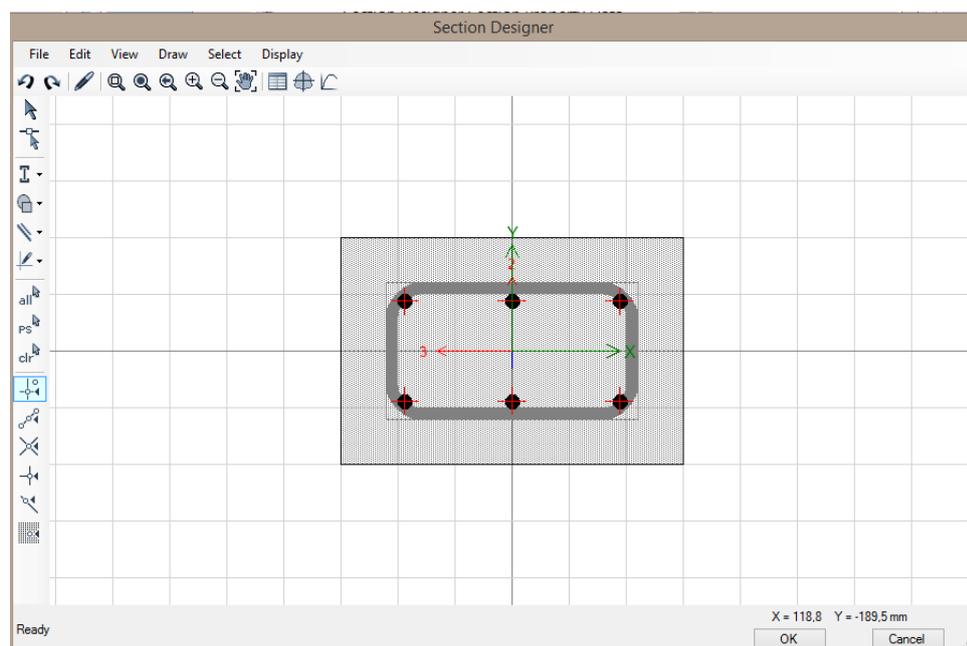


Figura 85. Sección de columna de 20 x 30 cm. Opción Section Designer

Fuente: (ETABS , 2016)

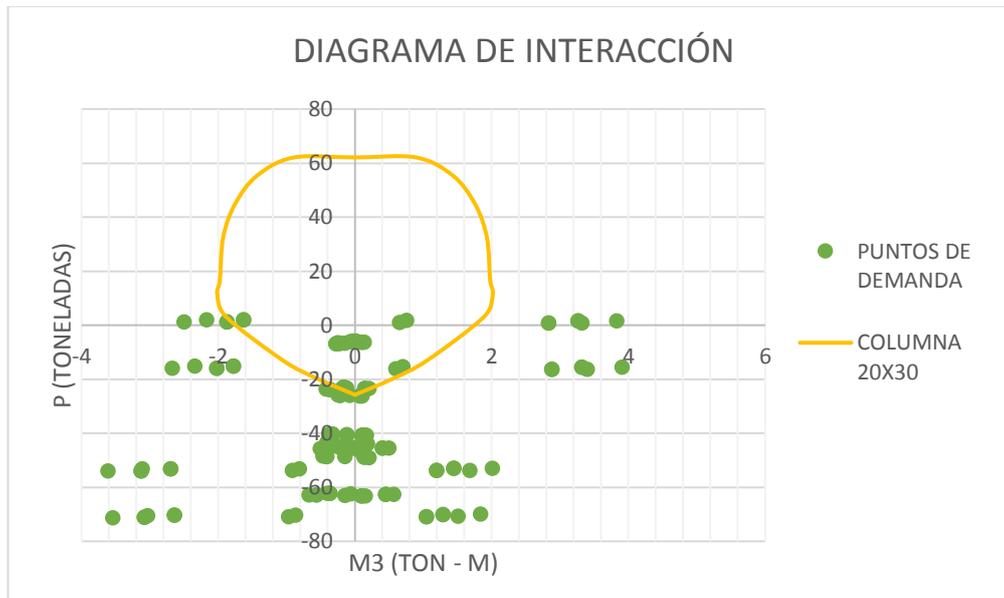


Figura 86. Diagrama de Interacción Columna 20 x 30.

Fuente: (ETABS , 2016)

Se puede visualizar por medio de la Figura 86 la necesidad de un reforzamiento de la sección, para aquello se propone las siguientes opciones para el encamisado, las mismas que se muestran con sus diagramas de interacción en la Figura 87.

- Encamisado de 10 centímetros por lado, sección final de 30 x 40 cm armado con 4 varillas de 14 mm + 6 varillas de 12 mm. Cuantía 1.07%.
- Encamisado de 10 centímetros por lado, sección final de 30 x 40 cm armado con 12 varillas de 14 mm. Cuantía 1.54%.
- Encamisado de 10 centímetros por lado, sección final de 30 x 40 cm armado con 12 varillas de 16 mm. Cuantía 2.01%.
- Encamisado de 15 centímetros por lado, sección final de 35 x 45 cm armado con 4 varillas de 16 mm + 6 varillas de 14 mm. Cuantía 1.10%.

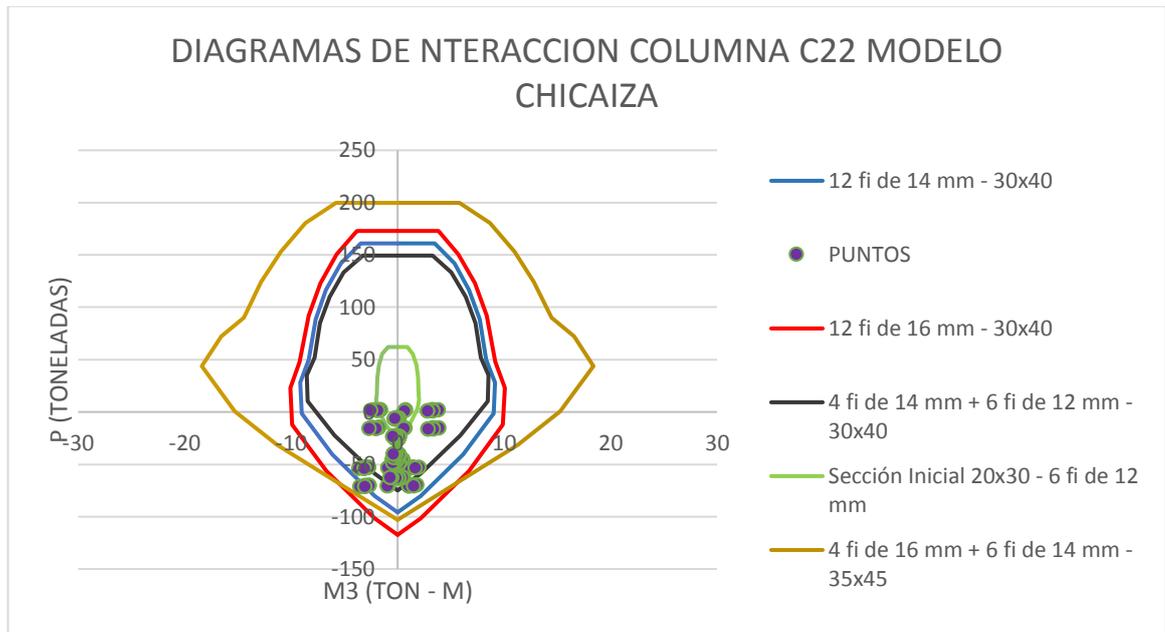


Figura 87. Diagrama de Interacción Columna C22, Modelo Vivienda Sr. Chicaiza.

Fuente: (ETABS , 2016)

Como se aprecia en la Figura 87 los únicos dos diagramas de interacción que cubren todos los puntos pertenecientes a las solicitaciones presentes en la columna en estudio son los de la columna de sección 30x40 cm con 12 varillas longitudinales de 16 mm y la columna de sección 35x45 cm con un armado de 4 varillas de 16 mm + 6 varillas de 14 mm longitudinales, cada una con estribo transversal de 10 mm. La Figura 88 muestra un esquema general de la sección reforzada. Se quiere hacer notar que la sección inicial posee menor resistencia ($f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$), mientras que el encamisado una resistencia mayor ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$).

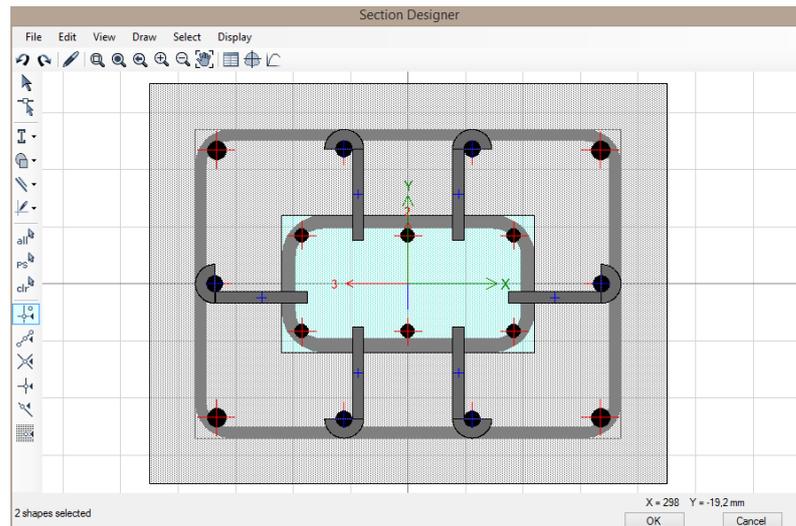


Figura 88. Sección de columna encamisada. Opción Section Designer.

Fuente: (ETABS , 2016)

Otro punto importante del reforzamiento de la sección es el cálculo del confinamiento de la misma, puesto que no se pueden colocar binchas ni dobles estribos para el confinamiento; se tiene como única opción colocar un solo estribo cerrado teniendo así la necesidad de optar por dos opciones: disminuir el espaciamiento o aumentar el diámetro del mismo. El cálculo siguiente se realiza basado en las fórmulas propuestas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC -15.

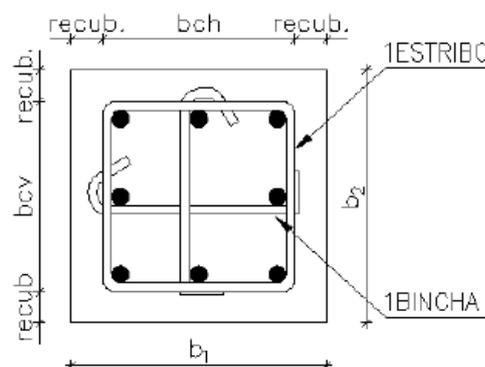


Figura 89. Esquema General para el Cálculo del confinamiento en una sección de Columna.

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

Es importante mencionar que la columna inicial ya presenta confinamiento, es por esta razón que bajo el criterio del tutor de este trabajo investigativo, el Ing. Pablo Caiza Ph.D, se debe incluir el confinamiento inicial mediante un factor de efectividad de 0,75, resultando los cálculos de la siguiente manera:

$$Ash = \text{Área de acero inicial} * 0,75 + \text{Área requerida}$$

Ecuación 1: Sentido X

$$Ashx = 0,3 * \frac{s * bch * f'c}{fyt} * \left[\frac{Ag}{Ach} - 1 \right]$$

$$Ashx = 0,3 * \frac{6,75 * 22 * 210}{4200} * \left[\frac{(30 * 40)}{(22 * 32)} - 1 \right]$$

$$Ashx = 1,57 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área requerida} = 0,39 \text{ cm}^2$$

Ecuación 1: Sentido Y

$$Ashy = 0,3 * \frac{s * bch * f'c}{fyt} * \left[\frac{Ag}{Ach} - 1 \right]$$

$$Ashy = 0,3 * \frac{4,64 * 32 * 210}{4200} * \left[\frac{(30 * 40)}{(22 * 32)} - 1 \right]$$

$$Ashy = 1,57 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área requerida} = 0,39 \text{ cm}^2$$

Ecuación 2: Sentido X

$$Ashx = 0,09 * \frac{s * bcv * f'c}{fyt}$$

$$Ashx = 0,09 * \frac{15,85 * 22 * 210}{4200}$$

$$Ashx = 1,57 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área requerida} = 0,39 \text{ cm}^2$$

Ecuación 2: Sentido Y

$$Ash_y = 0,09 * \frac{s * bcv * f'c}{fyt}$$

$$Ash_y = 0,09 * \frac{10,90 * 32 * 210}{4200}$$

$$Ash_y = 1,57 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área requerida} = 0,39 \text{ cm}^2$$

Se calcula el acero transversal para las direcciones horizontal y vertical y, de las dos ecuaciones propuestas, se considera como resultado el mayor valor. Ante los cálculos se toma como espaciamiento válido el valor de $s = 4,64$ cm obtenido de la ecuación 1, sin embargo se asume el valor de $s = 4,5$ cm por facilidad constructiva. Estos valores de espaciamiento se consideran cuando se desprecie totalmente la contribución de confinamiento que tiene la sección inicial. Debido a la poca información existente sobre el tema de confinamiento en secciones recreadas con hormigón en la norma vigente se especifica el cálculo basados en los parámetros existentes.

No está por demás aclarar que el área de varillas requeridas para el confinamiento de la sección, (Ash_x , Ash_y), se encuentra conformada por dos ramales, es decir, $1,57 \text{ cm}^2$ se deben cumplir considerando los dos ramales en el sentido de análisis. $1,57 \text{ cm}^2$ se cumple con $2 \phi 10 \text{ mm}$.

Además se quiere hacer mención que este tipo de encamisado propuesto se lo debe realizar cuando las disposiciones arquitectónicas lo permitan, es decir, por ejemplo, en columnas interiores. Para las columnas exteriores o de lindero se toman otras medidas de reforzamiento como por ejemplo el reforzamiento que se propone en el punto siguiente, las fibras de carbono.

4.1.2 Encamisado con Fibras de Carbono CFRP.

Cuando las condiciones arquitectónicas no permitan realizar un encamisado con el crecimiento de la sección de hormigón como se detalló anteriormente

se deben analizar otras técnicas o posibilidades de reforzamiento, como por ejemplo el enchapado de mampostería, que absorbe de manera eficiente los esfuerzos producidos por fuerzas laterales o de sismo y como consecuencia disminuye las sollicitaciones en columnas, o el encamisado de la sección con fibras de carbono o CFRP cuando la mampostería no es una solución práctica debido a las condiciones arquitectónicas.

Se analizará el reforzamiento de la sección por medio de la adición de fibras de carbono, SikaWrap 600C cuyos propiedades se presentan en la Tabla 26, los mismos que han sido tomados de la ficha técnica del material proporcionada en la web por la compañía fabricante. Se ha considerado este material puesto que es el comercializado en nuestro país y en los países vecinos.

Tabla 26.

Propiedades del material SikaWrap 600C.

Parámetro	Valor	Unidades
Resistencia a la Tensión (f^*fu)	3800	N/mm ²
Módulo de Elasticidad (E_f)	242000	N/mm ²
Elongación de Rotura ($\epsilon^* fu$)	1.55%	-----
Espesor	0.337	mm
Densidad	1.81	Gramos / cm ³

Presentación: 1 rollo por caja (25 m²), ancho 300 mm

Fuente: (SIKA ECUADOR, 2014)

El dimensionamiento del número de fibras que se necesita para el reforzamiento se calcula basado en el ACI 440, el mismo que se muestra a continuación. Los valores de las cargas sin reforzamiento y la requerida en la sección se toman de la columna C21 del modelo de la vivienda del Sr. Chicaiza la misma que cuenta con sección de columna de 20 x 30 cm y un armado de 6 varillas de 12 milímetros en su acero longitudinal y un estribo

cerrado de 10 milímetros. Estos valores como se menciona en el Capítulo 3 fueron obtenidos directamente de los propietarios de estas viviendas, puesto que los mismos participaron activamente de la construcción de las mismas. Es además prudente mencionar que lo más común en este tipo de viviendas es encontrar estribos cerrados de 8 mm de diámetro, por este motivo se recomienda tener certeza de los armados y secciones existentes.

En la Tabla 27 se presentan todos los datos necesarios para el cálculo.

Tabla 27.

Parámetros necesarios para el cálculo del número de fibras.

Parámetro	Valor	Unidad
$f'c$	18	MPa
f_y	420	MPa
r_c	15	mm
Armado	6 ϕ 12	mm
A_g	600	cm ²
A_{st}	6,78	cm ²
ρ_g %	1,13	----
ϕ Pn	609,00	KN
ϕ Pn (requerido)	914,49	KN
Espesor fibra t_f	0,337	mm
Resistencia a la tensión	3800	N/mm ²
f^*f_u		
Elongación a la rotura	0,0155	mm/mm
ε^*f_u		
Módulo de Elasticidad	242000	N/mm ²

La carga axial (ϕ Pn), al que también se puede definir como la máxima carga axial soportada por la sección existente, se ha obtenido del máximo valor de carga axial procedente del diagrama de interacción para la sección en estudio, es decir, columna de 20x30 centímetros con un armado del 1,13%, mientras que el valor de carga axial requerido (ϕ Pn (requerido)), se obtiene del mayor

valor de carga axial actuante en la columna, (después de la corrida del programa), dividido para el factor de reducción “ ϕ ”, cuyo valor es de 0.65; para esto se ha desplegado las tablas de resultados después del análisis de ETABS, en la sección Tables/Analysis/Results/Frame Results/ Column Forces.

Es importante citar que todas estas definiciones fueron tomadas del código (American Concrete Institute, 2008). A manera de resumen para un mejor entendimiento se menciona:

- ϕP_n : máxima carga axial que la sección de columna existente (o elemento) soportaría en base a su armado.
- ϕP_n (requerido): carga axial, la cual el elemento (columna) necesita solventar después de ser reforzada.

A continuación se muestra el proceso para el dimensionamiento del número de láminas de fibra de carbono necesarias.

- **Propiedades de la lámina CFRP.**

$$f_{fu} = CE * f_{fu}^*$$

$$f_{fu} = 0,95 * 3800 = 3610 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_{fu} = CE * \varepsilon_{fu}^*$$

$$\varepsilon_{fu} = 0,95 * 0,0155 = 0,01473 \text{ mm/mm}$$

- **Determinar la fuerza de compresión máxima del concreto confinado f'_{cc} .**

$$f'_{cc} = \frac{1}{0,85 * (A_g - A_{st})} * \left(\frac{\phi P_n, req}{0,80 * \phi} - f_y * A_{st} \right)$$

$$f'_{cc} = \frac{1}{0,85 * (60000\text{mm}^2 - 678\text{mm}^2)} * \left(\frac{914490 \text{ N}}{0,80 * 0,65} - 420 \text{ Mpa} * 678 \text{ mm}^2 \right)$$

$$f'_{cc} = 29,23 \text{ Mpa}$$

- **Presión máxima de Confinamiento incluido CFRP. El parámetro rc se refiere al radio de redondeo de las esquinas de la columna (en milímetros)**

$$\frac{Ae}{Ac} = \frac{1 - \frac{\left[\left(\frac{b}{h}\right)(h - 2rc)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)(b - 2rc)^2\right] - \rho_g}{3Ag}}{1 - \rho_g}$$

$$\frac{Ae}{Ac} = \frac{1 - \frac{\left[\left(\frac{200}{300}\right)(300 - 2 * 15)^2 + \left(\frac{300}{200}\right)(200 - 2 * 15)^2\right] - 0,013}{3 * 60000}}{1 - 0,013} = 0,4833$$

$$Ka = \frac{Ae}{Ac} * \left(\frac{b}{h}\right)^2$$

$$Ka = 0,4833 * \left(\frac{200}{300}\right)^2 = 0,2148$$

$$f_l = \frac{f'_{cc} - f'_c}{3,3 * Ka} = \frac{29,23 \text{ Mpa} - 18 \text{ Mpa}}{3,3 * 0,2148} = 15,84 \text{ Mpa}$$

- **Determinar el número de fibras de carbono necesarias**

$$\varepsilon_{fe} = K_\varepsilon * \varepsilon_{fu} = 0,55 * 0,01473 = 0,008098 \text{ mm/mm}$$

$$n = \frac{f_l * \sqrt{b^2 + h^2}}{\psi_f * 2E_f t_f \varepsilon_{fe}}$$

$$n = \frac{15,84 * \sqrt{200^2 + 300^2}}{0,95 * 2 * 242000 * 0,337 * 0,008098} = 4,65 \approx 5 \text{ fibras}$$

Se determina entonces que se necesitan 5 fibras de un espesor de 0,337 mm para cumplir con las solicitaciones impuestas en la sección. En la Figura 90 se muestra el diagrama de interacción de la columna una vez incorporado el refuerzo mediante la opción de section designer de ETABS. Se muestra además en la Figura 91, la cual es un diagrama aproximado (puesto que no considera redondeo de esquinas), la sección modelada en la opción antes

mencionada; para la creación del material se ha tomado uno de tipo “Rebar” con las respectivas modificaciones en sus propiedades.

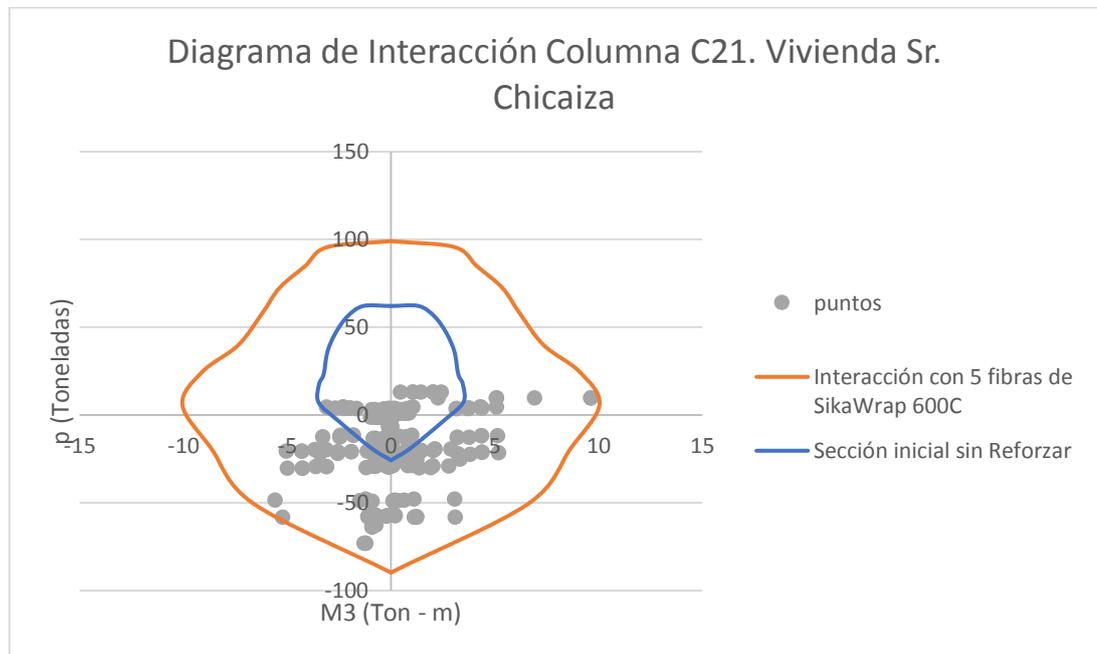


Figura 90. Diagrama de Interacción Columna C21 con refuerzo de CFRP, Modelo Vivienda Sr. Chicaiza.

Fuente: (ETABS , 2016)

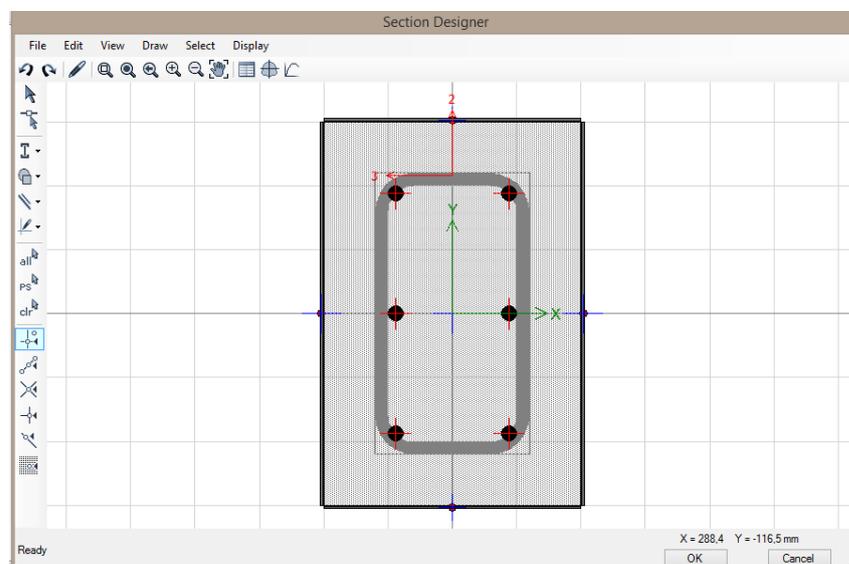


Figura 91. Esquema General Columna C21 con refuerzo de CFRP en section Designer, Modelo Vivienda Sr. Chicaiza.

Fuente: ETAB (ETABS , 2016)

Se observa en la Figura 90, que la sección reforzada es capaz de resistir los esfuerzos presentes en la columna en estudio, de esta manera se acepta el cálculo mostrado para determinar el número de fibras (5) necesarias. Al modelar la sección con su reforzamiento se consideró una sección tipo platina compuesta por el material CFRP creado y de espesor igual a 1,68 mm, es decir, 5 fibras requeridas por el espesor de cada una de ellas 0,337 mm.

Es además importante mencionar que el refuerzo con este material se considera para secciones cuyo requerimiento no supere alrededor del 30% del valor sin reforzamiento, puesto que el refuerzo con fibra de carbono tendría un costo muy elevado. El recubrir el elemento con más fibras no garantiza que su resistencia aumente de manera directamente proporcional, ya que llega un punto en el que a pesar del incremento significativo de las mismas la capacidad de resistencia del elemento no se incrementa.

4.2 Refuerzo en Vigas

En esta sección se considerará el refuerzo para vigas de dos maneras: el reforzamiento por medio de la adición de un perfil metálico bajo la viga y el reforzamiento de la misma a flexión por medio de fibras de carbono, Sika Carbodur S52. Como punto inicial se realiza el cálculo del momento nominal resistente de la viga sin reforzamiento.

Para el análisis del reforzamiento con CFRP, se ha tomado la viga B9 de la vivienda del Sr. Rodríguez de dos pisos en altura, mientras que para el análisis del reforzamiento con el perfil metálico se ha tomado la viga B4 de la vivienda del Sr. Carrasco. Ambas vigas tienen dimensiones de 40 x 20 cm y un armado a compresión y flexión de 4.52 cm², equivalente a 4 varillas longitudinales de 12 milímetros. Se han considerado dos vigas diferentes puesto que el reforzamiento con fibra de carbono no permite solventar reforzamientos que sobrepasen alrededor del 30% de la resistencia original, la vivienda del Sr. Rodríguez de dos pisos (con menor solicitaciones en vigas) se considera ideal para probar este tipo de reforzamientos; mientras que la viga de la vivienda

del Sr. Carrasco al poseer solicitaciones mayores demandaría de perfilería metálica para su reforzamiento.

4.2.1 Momento Nominal de Viga sin Refuerzo.

El cálculo del momento nominal de la viga sin refuerzo se detalla a continuación. Para el modelo se ha considerado modelar el bloque a compresión del hormigón mediante el bloque equivalente de Whitney, y el diagrama de deformaciones y fuerzas internas en la sección de hormigón, mostrado en la Figura 92.

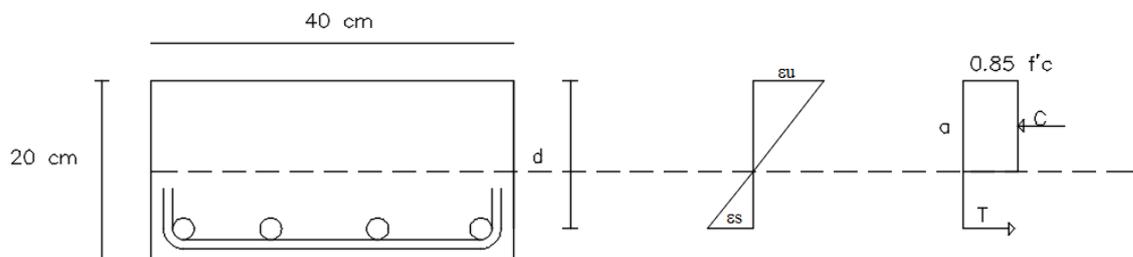


Figura 92. Diagrama de deformaciones y fuerzas internas en sección de viga de 40 x 20 cm. Vivienda Sr. Carrasco.

Armado de la sección: 4Ø12 mm

$$d = 20\text{cm} - 3\text{cm} - \frac{1,2\text{ cm}}{2} - \frac{1,0\text{ cm}}{2} = 15,9\text{ cm}$$

$$C = 0,85 * f'c * a * b$$

$$T = As * fy$$

$$C = T$$

$$a = \frac{As * fy}{0,85 * f'c * b} = \frac{4,52\text{ cm}^2 * 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{0,85 * 180 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 40\text{ cm}} = 3,10\text{ cm}$$

$$Mn = As * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_n = 4,52 \text{ cm}^2 * 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \left(15.9 \text{ cm} - \frac{3.10 \text{ cm}}{2} \right)$$

$$M_n = 272420 \text{ kg} - \text{cm} = 2.72 \text{ T} - \text{m}$$

$$\phi_{flexión} = 0.90$$

$$\phi M_n = 0.90 * 2.72 \text{ T} - \text{m} = \mathbf{2.45 \text{ T} - \text{m}}$$

Se comprueba así que la sección sin reforzamiento adoptada para este análisis tiene un momento resistente de 2.45 T-m, siendo necesario su reforzamiento.

4.2.2 Refuerzo de viga con perfiles metálicos.

Para ilustrar la metodología que se requiere para el cálculo de la viga metálica apropiada para el reforzamiento, se toma como ejemplo la viga B4 en el modelo de la vivienda del Sr. Carrasco. La incorporación de una viga metálica permite incrementar de manera considerable el momento resistente, siendo así una de las mejores soluciones especialmente cuando se tiene una configuración estructural con losas planas. Un reforzamiento de este tipo permite a su vez controlar de buena manera el problema de losas planas muy común en estos casos.

El momento requerido en la viga después del análisis estructural realizado en el programa Etabs es de 10.36 T-m, necesitándose así una sección compuesta que permita obtener un momento alrededor de cuatro veces su resistencia inicial. Para realizar los cálculos se ha optado por la colocación de un perfil metálico tipo "I" IPN 160. En la Tabla 28 se muestra las características geométricas del perfil seleccionado.

Tabla 28.

Características del perfil IPN 160.

IPN 160	
d	16 cm
bf	7.4 cm
tf	0.95 cm
tw	0.63 cm
As	22.80 cm^2

- **Momento Nominal Positivo de Viga reforzada con perfil metálico.**

La fórmula para el cálculo del momento nominal positivo en la viga compuesta se determinará de acuerdo a tres posibles casos:

- Cuando el ENP (Eje Neutro Plástico) se localiza en el bloque de hormigón.
- Cuando el ENP (Eje Neutro Plástico) se localiza en el ala del perfil metálico.
- Cuando el ENP (Eje Neutro Plástico) se localiza en el alma del perfil metálico.

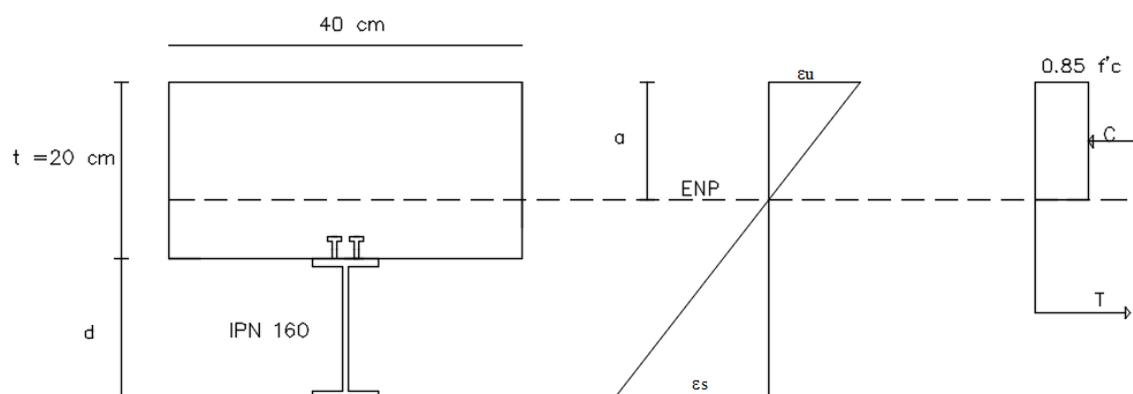


Figura 93. Diagrama de deformaciones y fuerzas internas en sección de viga compuesta. Vivienda Sr. Carrasco.

be(base equivalente)

se considera como en ancho total de la viga de hormigón = 40 cm

$$F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$$

$$a = \frac{A_s * F_y}{0.85 * f'_c * b_e}$$

$$a = \frac{22.80 \text{ cm}^2 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{0.85 * 180 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 40 \text{ cm}}$$

$$a = 9.43 \text{ cm}$$

De acuerdo al cálculo anterior se concluye que el eje plástico neutro (EPN), se encuentra en la sección de hormigón. Estas formulaciones fueron obtenidas de (Navarro, 2012) y de (Lema & Juan, 2009). Por lo tanto la ecuación para calcular el momento nominal en la viga es la siguiente:

$$d = 16 \text{ cm (altura del perfil)}$$

$$M_n = A_s * F_y \left(\frac{d}{2} + t - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} M_n &= 22.80 \text{ cm} * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \left(\frac{16 \text{ cm}}{2} + 20 \text{ cm} + \frac{9.43 \text{ cm}}{2} \right) \\ &= 134171.94 \text{ kg} - \text{cm} \end{aligned}$$

$$M_n = 13.43 \text{ T} - \text{m}$$

$$\phi M_n = 0.90 * 13.43 \text{ T} - \text{m} = \mathbf{12.08 \text{ T} - \text{m}}$$

$$\mathbf{12.08 \text{ T} - \text{m} > M_u = 10.36 \text{ T} - \text{m}}$$

Mediante este cálculo se demuestra que el reforzamiento con el perfil IPN160 se cumple con las solicitaciones requeridas para la viga en estudio

- **Momento Nominal Negativo de Viga reforzada con perfil metálico.**

Para el cálculo del momento negativo se hace una primera iteración, para lograr el equilibrio de fuerza con el objetivo de encontrar la posición del eje neutro plástico ENP. Se considera como primera iteración que el eje neutro plástico ENP se encuentre bajo el ala superior de la viga metálica, como lo muestra la Figura 94. Las formulas planteadas a continuación se toman de (Lema & Juan, 2009).

Pueden darse 3 casos

- Si $T > C$, ENP atraviesa el patín.
- Si $T = C$, ENP pasa por el borde inferior del patín.
- Si $T < C$, ENP atraviesa el alma.

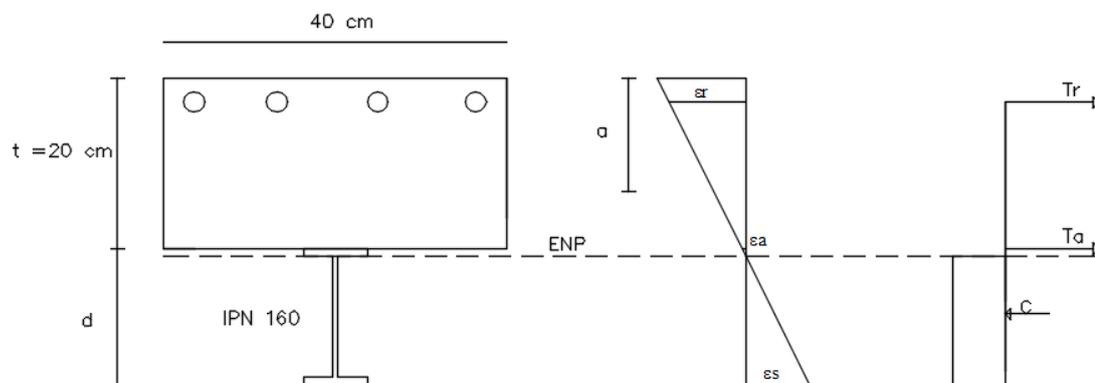


Figura 94. Diagrama de deformaciones y fuerzas internas en sección de viga compuesta. Primera iteración para cálculo de momento Negativo.

Armado de la sección: 4Ø12 mm

$$T = Tr + Ta$$

$$Tr = As * fy + A_{patin} * Fy$$

$$Tr = 4.52 \text{ cm}^2 * 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 18984 \text{ kg}$$

$$Ta = (7.4 \text{ cm} * 0.95 \text{ cm}) * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 17785.9 \text{ kg}$$

$$T = 18984 \text{ kg} + 17785.9 \text{ kg} = 36769.9 \text{ kg}$$

$$C = (A_{\text{perfil}} - A_{\text{patin}}) * Fy$$

$$C = (22.80 \text{ cm}^2 - 7.03 \text{ cm}^2) * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 39898.10 \text{ kg}$$

$$T < C$$

Se observa que nos encontramos en el caso 3, es decir, que el ENP atraviesa el alma. Entonces el momento nominal se calcula de la siguiente manera. Se hace notar que esta vez las fuerzas de compresión se encuentran bajo el eje neutro plástico, y las fuerzas de tensión sobre el mismo como se muestra en la Figura 95.

Cálculo de la distancia del eje neutro

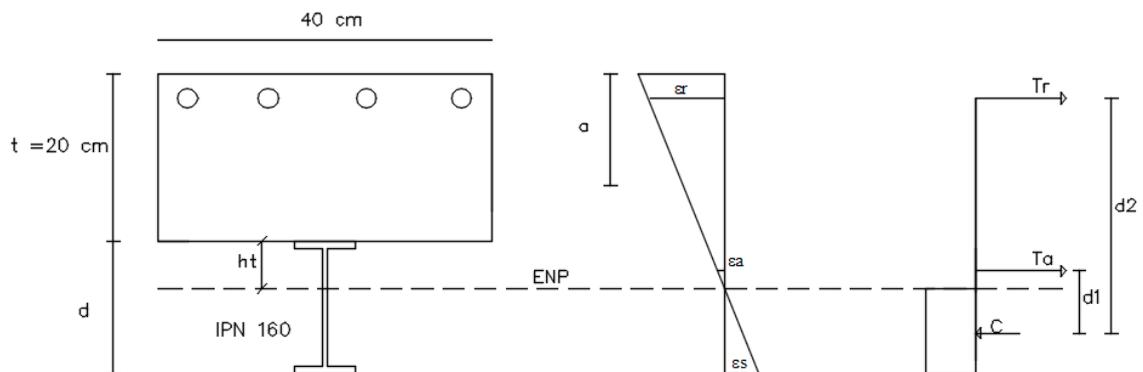


Figura 95. Diagrama de deformaciones y fuerzas internas en sección de viga compuesta. Iteración para calcular la localización del ENP.

Realizando el equilibrio de fuerzas se obtiene la distancia "ht" y el momento nominal de la viga en análisis

$$T_r = 4.52 \text{ cm}^2 * 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 18984 \text{ kg}$$

$$T_a = 17785.9 \text{ kg} + 1593.9 * ht$$

$$C = (7.4 \text{ cm} * 0.95 \text{ cm}) * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + [0.63 * (d - ht - 0.95 * 2)] * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$C = 17785.9 + [0.63 * (16 \text{ cm} - ht - 1.9)] * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$C = 17785.9 + 22473.99 - 1593.9 * ht$$

$$C = T$$

$$18984 + 17785.9 \text{ kg} + 1593.9 * ht = 17785.9 + 22473.99 - 1593.9 * ht$$

$$ht = 1.09 \text{ cm}$$

A través del resultado obtenido deducimos que el eje neutro plástico, ENP, está atravesando el alma del perfil metálico.

Se procede a calcular las distancias donde actúan las fuerzas C y T_2 , las mismas que se muestran en la Figura 96.

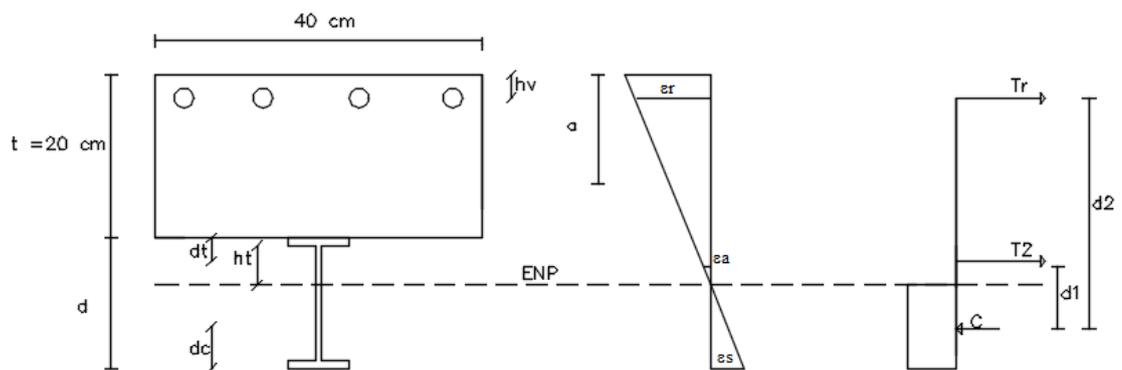


Figura 96. Diagrama de deformaciones y fuerzas internas en sección de viga compuesta. Ubicación de fuerzas de compresión y tensión

La fuerza de tensión, T_2 , se encuentra actuando en el centro de gravedad del esquema sombreado en Figura 97. Para su respectivo cálculo se muestra la ubicación del eje neutro de esta parte del perfil metálico.

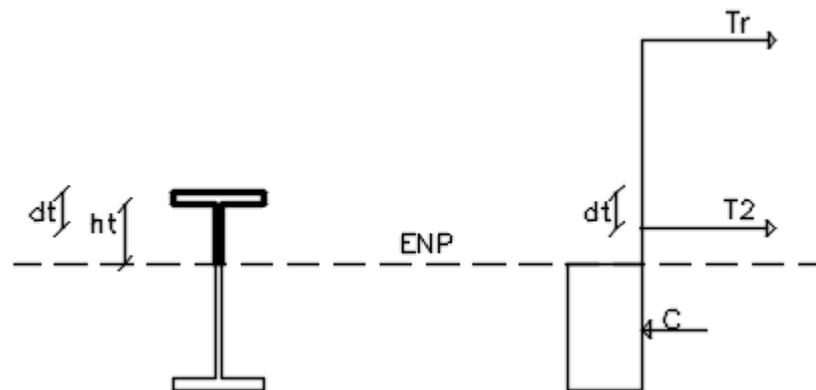


Figura 97. Esquema de la ubicación de la fuerza de tensión T2.

$$\bar{y}_1 = \frac{(0.63 \text{ cm} * 1.09 \text{ cm}) * \left(\frac{1.09 \text{ cm}}{2}\right) + (7.4 \text{ cm} * 0.95 \text{ cm}) * (1.565 \text{ cm})}{(0.63 \text{ cm} * 1.09 \text{ cm}) + (7.4 \text{ cm} * 0.95 \text{ cm})}$$

$$= 1.47 \text{ cm}$$

$$d_t = 2.04 \text{ cm} - 1.47 \text{ cm} = 0.57 \text{ cm}$$

De igual manera la fuerza de compresión, C, se encuentra actuando en el centro de gravedad del esquema sombreado en Figura 98. Para su respectivo cálculo se muestra la ubicación del eje neutro de esta parte del perfil metálico.

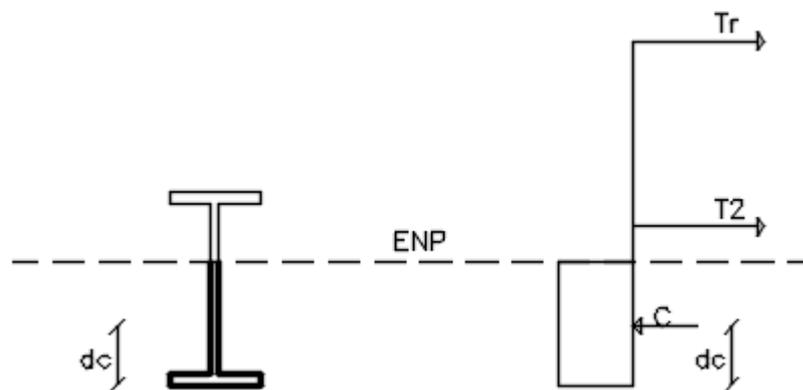


Figura 98. Esquema de la ubicación de la fuerza de compresión C.

$$\bar{y}_2 = \frac{(7.4 \text{ cm} * 0.95 \text{ cm}) * \left(\frac{0.95 \text{ cm}}{2}\right) + (0.63 \text{ cm} * 13.96 \text{ cm}) * (7.455 \text{ cm})}{(7.4 \text{ cm} * 0.95 \text{ cm}) + (0.63 \text{ cm} * 13.96 \text{ cm})}$$

$$\bar{y}_2 = 4.35 \text{ cm}$$

$$\bar{y}_2 = d_c = 4.35 \text{ cm}$$

$$d_1 = d - d_t - d_c = 16 \text{ cm} - 0.57 \text{ cm} - 4.35 \text{ cm} = 11.08 \text{ cm}$$

$$d_2 = d + t - h_v - d_c = 16 \text{ cm} + 20 \text{ cm} - 3.6 \text{ cm} - 4.35 \text{ cm} = 31.83 \text{ cm}$$

$$Mn = T_r * d_2 + T_2 * d_1$$

$$Mn = 18984 \text{ kg} - \text{cm} * 28.05 \text{ m} + 19523.25 \text{ kg} - \text{cm} * 11.08 \text{ m}$$

$$Mn = 532501.2 \text{ kg} - \text{cm} + 216317.61 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$Mn = 748818.81 \text{ kg} - \text{cm} = 7.49 \text{ T} - \text{m}$$

$$\emptyset Mn = 0.9 * 7.49 \text{ T} - \text{m} = \mathbf{6.74 \text{ T} - \text{m}}$$

Se puede observar que el momento negativo obtenido por la incorporación del perfil IPN 160 es de 6.74 T-m, el cual resulta mayor al requerido de 5.63 T-m. Demostrando de esta manera que el perfil metálico escogido es apropiado para el reforzamiento de caso en particular. Es importante recordar que el profesional en lo posible debe ajustar su cálculo para utilizar perfiles metálicos comerciales en su región.

- **Cálculo de conectores de cortante.**

En el cálculo de los conectores de cortante se debe tomar en consideración la fuerza cortante que actúa en la zona de contacto de los dos materiales. Para esto se debe realizar una sección equivalente tomando como base la relación entre módulos de elasticidad de los materiales hormigón y acero. La fórmula utilizada para encontrar el valor de cortante que absorbe el conector se ha tomado del trabajo de (Medina, Medina, & Barroso) asemejándolo a la varilla longitudinal de 12 mm adoptada en esta sección como conector de corte.

La Figura 99 muestra un esquema de la sección transformada completamente a acero y su diagrama de esfuerzos cortantes, en el mismo se

visualiza el cortante máximo (ubicado en el centro de gravedad de la figura compuesta) y el esfuerzo cortante de diseño para la zona en estudio.

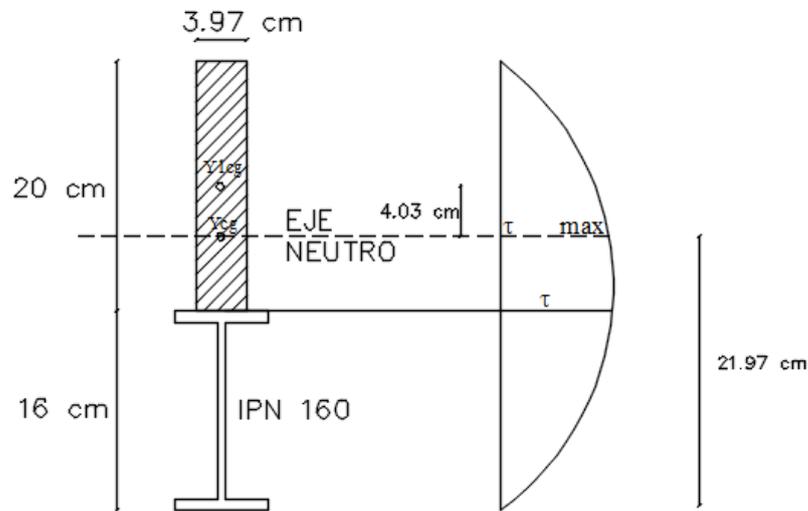


Figura 99. Esfuerzos cortantes en sección transformada.

El cálculo del cortante actuante en la zona de estudio (τ) se desarrolla a continuación. Se considera además que se cumpla con la condición de diseño $\phi v_n \geq \tau$.

$$\tau = \frac{Vu \text{ calculado} * S}{be * I}$$

En donde:

τ = esfuerzo cortante en la zona de estudio (Vu)

Vu calculado = cortante último obtenido del cálculo estructural.

S = Momento estático de primer orden ($S = A$ sombreada * d)

d = distancia entre el centro de gravedad de la figura transformada y el centro de gravedad de la figura sombreada.

be = base en la zona de análisis

I = inercia de la sección transformada.

$$\tau = \frac{(6.12 * 10^3)Kg * (3.47 * 20 * 4.03)cm^3}{(3.97 * 9362.56)cm^5} = 52.69 \frac{Kg}{cm^2} = 526.9 \frac{T}{m^2}$$

El cortante último V_u se obtiene de la multiplicación del esfuerzo cortante último en la zona de análisis (τ) por el área (transformada) sobre la misma (ver el área sombreada en la Figura 99).

$$V_u = 52.69 \frac{kg}{cm^2} * (3.97 * 20) = 4183.59 Kg$$

Se considera como conector de corte colocar un perno tipo espárrago con un diámetro de 0.75 pulgadas (1.91 cm), y un esfuerzo último F_u de 3450 Kg/cm² (Navarro, 2012). Para el cálculo del esfuerzo cortante soportado por el conector se toma la siguiente fórmula:

$$Q_n = 0.14 * A_{cp} * \sqrt{f'c * E_c} * \left(\frac{s}{d_{cp}}\right)^{0.25} \leq A_{cp} * F_u$$

Donde:

Q_n = esfuerzo cortante admitido por el cortante (kg)

A_{cp} = Área de la sección del conector (cm²)

$f'c$ = resistencia a la compresión del hormigón $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón. $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

s = espaciamiento longitudinal entre conectores. (cm)

d_{cp} = diámetro nominal del conector. (cm)

F_u = El esfuerzo último del acero del conector. $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

$$Q_n = 0.14 * 5.73 * \sqrt{180 * 15100 * \sqrt{180}} * \left(\frac{50}{1.91}\right)^{0.25} \leq 5.73 * 3450$$

$$Q_n = 10957,45 Kg \leq 19768.5 Kg$$

El esfuerzo Q_n soportado por dos filas de conectores espaciados cada 50 cm se denominará V_n , el mismo que deberá cumplir con la condición esencial de corte.

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$0.75 * 10957,45 \geq 4183.59$$

$$8218,09 \text{ Kg} \geq 4183.59 \text{ Kg}$$

4.2.3 Refuerzo de viga a flexión con fibra de carbono CFRP.

Como principio general se recomienda utilizar este tipo de reforzamiento cuando la deficiencia de la sección sea únicamente a flexión y la necesidad del refuerzo no sobrepase el 30% del valor inicial. Se considera además el procedimiento expuesto en el ACI 440, el cual se basa en una iteración de valores para calcular la profundidad del eje neutro de la sección. Cuando se calcula el mismo se procede a determinar el momento nominal de la sección con los esquemas vistos en el punto anterior.

Para el análisis se considera la viga B9 de la vivienda del Sr. Rodríguez, cuya sección y armado ya se analizó en el punto 4.2.1. Dicha sección debe cumplir un momento positivo de 2.70 T-m, el mismo que se suplirá con láminas de carbono Sika Carbodur S52; las propiedades de esta lámina se exponen en la Tabla 29.

Tabla 29.

Propiedades del material Sika Carbodur S52.

Parámetro	Valor	Unidades
Resistencia a la Tensión (f^*f_u)	3100	N/mm ²
Módulo de Elasticidad (E_f)	165000	N/mm ²
Elongación de Rotura (ε^* f_u)	1.7%	-----



Espesor	1.2	mm
Densidad	1.5	Gramos / cm ³

Presentación: Secciones longitudinales, 50 mm ancho y 1.2 mm espesor.

Sección transversal de 60 mm²

Fuente: (SIKA ECUADOR, 2014)

Se procede al cálculo del número de fibras necesarias para solventar las sollicitaciones de la viga en mencionada por medio de la metodología expuesta en el código ACI 440.2R-08. Los parámetros necesarios para el cálculo se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30.

Parámetros para el cálculo del reforzamiento de la viga con CFRP.

Parámetro	Valor	Unidad
f _c	18	MPa
f _y	420	MPa
d	164	mm
Armado	4 ϕ 12	mm
h=df	200	mm
Ancho (b)	400	mm
Longitud de la viga	3400	mm
ϕ Mn sin CFRP	2.45	T-m
MDL	1.99	KN-m
Espesor fibra <i>tf</i>	1.2	mm
Resistencia a la tensión <i>f*fu</i>	3100	N/mm ²
Elongación a la rotura <i>ε*fu</i>	0,017	mm/mm
Módulo de Elasticidad	165000	N/mm ²

Se colocará 8 fibras de Sika Carbodur de manera seguida, obteniendo así una sección transversal de 400 mm x 1.2 mm (480 mm²).

- **Se calcula las propiedades del material CFRP.**

$$f_{fu} = CE * f_{fu}^*$$

$$f_{fu} = 0,95 * 3100 = 2945 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_{fu} = CE * \varepsilon_{fu}^*$$

$$\varepsilon_{fu} = 0,95 * 0,017 = 0,01615 \text{ mm/mm}$$

- **Cálculos preliminares.**

$$\beta_1 = 1.05 - 0.05 \frac{f'_c}{6.9} = 0,9195$$

$$E_c = 4700 * \sqrt{18} = 19940.41 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = 4 \phi 12 = 4 * 1.13 \text{ cm}^2 = 4.52 \text{ cm}^2$$

$$A_f = n * t_f * w_f = 8 \text{ fibras} * 1.2 \text{ mm} * 50 \text{ mm} = 480 \text{ mm}^2$$

- **Determinar el estado actual de Tensión suponiendo que la viga se encuentra fisurada al momento de la instalación del CFRP.**

Para la viga en estudio se tiene un momento de la sección agrietada de:

$$I_{cr} = 78457165.85 \text{ mm}^4$$

Por su parte el valor de k es de 0.3152

Formulaciones que fueron tomadas de (INTI CIRSOC, 2017).

$$\varepsilon_{bi} = \frac{M_{DL}(df - kd)}{I_{cr} * E_c}$$

$$\varepsilon_{bi} = \frac{0.001996(200 - 0.3152 * 164)}{78457165.85 * 19940.41} = 0.000189$$

- **Determinar la tensión del CFRP.**

$$\varepsilon_{fd} = 0,41 * \sqrt{\frac{f'_c}{n E_f t_f}} \leq 0.9 \varepsilon_{fu}$$

$$\varepsilon_{fd} = 0.41 * \sqrt{\frac{18}{1 * 19940.41 * 1.2}} \leq 0.9 * 0,01615$$

$$\varepsilon_{fd} = 0.0039 \leq 0.0145$$

$$\varepsilon_{fd} \text{ adoptado} = 0.0039$$

- **Estimar la profundidad de eje neutro (iteración)**

En esta sección se debe colocar un valor aproximado para determinar la posición del eje neutro, una primera iteración recomienda el ACI 440 realizarlo con $c = 0.2*d$. Sin embargo se muestra directamente el valor de “c” después de haber realizado el proceso de iteración.

$$c = 9.2254 \text{ cm} = 92.25 \text{ mm}$$

- **Estimar la tensión efectiva del CFRP.**

$$\varepsilon_{fe} = 0.003 \left(\frac{df - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd}$$

$$\varepsilon_{fe} = 0.003 \left(\frac{164 - 92.25}{92.25} \right) - 0.000189 \leq 0.0039$$

$$\varepsilon_{fe} = 0.0033 \leq 0.0039$$

$$\varepsilon_{fe \text{ adoptado}} = 0.0033$$

$$\varepsilon_c = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \left(\frac{c}{df - c} \right)$$

$$\varepsilon_c = (0.0033 + 0.000189) \left(\frac{92.25}{200 - 92.25} \right) = 0.0030$$

- **Determinar la tensión en el reforzamiento existente.**

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \left(\frac{d - c}{df - c} \right)$$

$$\varepsilon_s = (0.0033 + 0.000189) \left(\frac{164 - 92.25}{200 - 92.25} \right) = 0.0023$$

- **Cálculo del nivel de esfuerzos de tensión en el acero y el CFRP.**

$$f_s = E_s * \varepsilon_s \leq f_y$$

$$f_s = 210000 * 0.0023 \leq 0.42$$

$$f_s = 0.483 \geq 0.42$$

$$f_s \text{ adoptado} = 0.42 \text{ KN/mm}^2$$

$$f_{fe} = E_f * \epsilon_{fe}$$

$$f_{fe} = 165 * 0.0033 = 0.547 \text{ KN/mm}^2$$

- **Cálculo de fuerzas internas y equilibrio.**

$$\epsilon'_c = \frac{1.7 * f'_c}{E_c}$$

$$\epsilon'_c = \frac{1.7 * 18}{19940.41} = 0.0015$$

$$\beta_1 = \frac{4\epsilon'_c - \epsilon_c}{6\epsilon'_c - 2\epsilon_c} = \frac{4 * 0.0015 - 0.0030}{6 * 0.0015 - 2 * 0.0030} = 0.9784$$

$$\alpha_1 = \frac{3\epsilon'_c * \epsilon_c - \epsilon_c^2}{3\beta_1 * \epsilon_c'^2} = \frac{3 * 0.0015 * 0.0033 - 0.0033^2}{3 * 0.9784 * 0.0015^2} = 0.696$$

$$c = \frac{A_s f_s + A_f * f_{fe}}{\alpha_1 * f'_c * \beta_1 * b} = 92,25 \text{ mm} = c \text{ inicial adoptado}$$

Se comprueba que no existe variación entre los dos valores de profundidad de eje neutro, dando así como válido dicho valor. Si el calculista no logra igualar estos dos valores tendría que adoptar un nuevo valor de "c" y repetir el cálculo de manera iterativa hasta lograrlo.

- **Cálculo de la resistencia a flexión.**

$$M_{ns} = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) = 22.56 \text{ KN} - m$$

$$M_{nf} = A_f * f_{fe} \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right) = 40.65 \text{ KN} - m$$

- **Cálculo de la resistencia a flexión de diseño.**

$$\phi M_n = \phi [M_{ns} + \psi_f M_{nf}]$$

$$\phi Mn = 0.9 [22.56 + 0.85 * 40.65] = 51.40 \text{ KN} - m$$

$$\phi Mn = 5.24 T - m$$

$$\phi Mn = 5.24 T - m \geq Mu = 2.70 T - m$$

Así se concluye que el refuerzo propuesto mediante la fibra de carbono, cumple los requerimientos para la viga en estudio.

4.3 Refuerzo en Losas

Los modelos en análisis cuentan con losas alivianadas de 20 cm de espesor, las mismas que usualmente trabajan de manera adecuada para luces pequeñas y estructuras hasta tres pisos de altura. Sin embargo mediante las siguientes expresiones, recopiladas del código ACI 314S-14, se comprueba que trabajan de manera efectiva a través de la altura, no necesitando así un reforzamiento. En la Figura 100 se muestra lo especificado en la norma en mención, para calcular el espesor mínimo de la losa maciza de acuerdo a la distancia de sus luces.

Tabla 8.3.1.2 — Espesor mínimo de las losas de dos direcciones con vigas entre los apoyos en todos los lados

α_{fm} ^[1]	Espesor mínimo, h , mm		
$\alpha_{fm} \leq 0.2$	Se aplica 8.3.1.1		(a)
$0.2 < \alpha_{fm} \leq 2.0$	Mayor de:	$h = \frac{\ell_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0.2)}$	(b) ^[1] ^[2]
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2.0$	Mayor de:	$h = \frac{\ell_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	(d) ^[1] ^[2]
		90	(e)

^[1] α_{fm} es el valor promedio de α_f para todas las vigas en el borde de un panel y α_f se calcula de acuerdo con 8.10.2.7.

^[2] ℓ_n corresponde a la luz libre en la dirección larga, medida cara a cara de las vigas (mm).

^[3] El término β es la relación de la luz libre en la dirección larga a la luz libre en la dirección corta de la losa.

Figura 100. Espesor mínimo de losas en dos direcciones con vigas entre apoyos.

Fuente: (American Concrete Institute, 2014)

El valor de α_{fm} , es el promedio de α_f , y se calcula de acuerdo a la fórmula siguiente. Además cabe recalcar que se enfoca el cálculo para el vano más crítico en la losa con mayores luces perteneciente a la vivienda de la Sra. Palaquibay.

$$\alpha_f = \frac{E \text{ viga} * I \text{ viga}}{E \text{ losa} * I \text{ losa}}$$

Se debe recordar que todas estas expresiones son formuladas para losas macizas, es por esta razón que se hace indispensable calcular la inercia de la sección "T" que corresponde a un nervio de la losa alivianada y de esta manera determinar la altura de la losa maciza correspondiente a una alivianada. Estos cálculos se han realizado en algunos trabajos investigativos y además no tienen un grado alto de complejidad, es por eso que se deja a un lado el detalle de este cálculo y se presentan solo resultados.

La sección "T" perteneciente al nervio de una losa alivianada de 20 centímetros de espesor por 50 cm de ancho, posee una inercia "I" igual a 12708.33 cm⁴, la misma que al igualarla a la inercia de una losa maciza de ancho igual a la sección original (es decir 50 cm), determina una altura de 14.5 cm. En resumen la sección "T" perteneciente al nervio de la losa alivianada de 20 cm de espesor es equivalente a una sección maciza de 50 x 14.5 cm. De esta manera se puede ya determinar el parámetro α_f , para el caso más crítico, es decir, para las vigas existentes que no han sufrido reforzamiento y mantienen su sección inicial de 40 x 20 cm.

$$\alpha_f = \frac{15100 * \sqrt{180} * \frac{40 * 20^3}{12}}{15100 * \sqrt{180} * 12702} = 2.09$$

$$\alpha_{fm} = 2.09 * \frac{4}{4} = 2.09$$

El promedio del valor α_{fm} , es de 2.09 lo cual nos ubica en el último caso expuesto en la Figura 100, determinando el cálculo del espesor mínimo de la losa maciza de hormigón mediante la siguiente fórmula:

$$h = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \geq 90 \text{ mm}$$

En la Tabla 31 se muestra los valores de luz libre en el sentido largo y en el sentido corto de cada uno de los diez modelos, así como también el parámetro β (mencionado en la Figura 100), indispensable para el cálculo de la altura necesaria de la losa maciza. Se menciona además que el esfuerzo de fluencia del acero f_y es de 4200 Kg/cm² (420 MPa).

Tabla 31.

Valores de Luz Libre en modelos de análisis.

Modelo	Luz libre larga (m)	Luz Libre Corta (m)	Beta
Carrasco	3,33	3,2	1,04
Bonifaz	3,99	3,55	1,12
Flores	4	3,7	1,08
Yupanqui	3,45	3,05	1,13
Chicaiza	4	3,5	1,14
Mora	4	3,05	1,31
Chávez	3,3	2,8	1,18
Chango	3,46	3,2	1,08
Palaquibay	4,1	4,05	1,01
Rodríguez	3,25	2,88	1,13

$$h = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \geq 90 \text{ mm}$$

$$h = \frac{4100 \left(0.8 + \frac{420}{1400}\right)}{36 + 9 * 1,01} = 100.02 \text{ mm} = 10.0 \text{ cm}$$

De esta manera se observa que ante la luz más crítica de los diez modelos en análisis se necesitaría una altura de 10 cm de losa maciza, menor a la altura existente de 14.5 cm. Se puede decir que las losas alivianadas de 20 cm funcionan de manera adecuada para las viviendas en estudio sin la necesidad de reforzamiento. Sin embargo cuando una losa no cumple con los

requerimientos de altura mínima expuestos en el código ACI 314S-18 se recomienda solventar el problema mediante la utilización de fibras de carbono CFRP a lo largo de sus nervios. El cálculo de este reforzamiento se asemeja al expuesto en puntos anteriores con la inclusión de fibras de carbono para solventar problemas de flexión en vigas.

4.4 Refuerzo en Cimentación.

Una parte importante del reforzamiento es el chequeo de la cimentación, puesto que ésta puede ser insuficiente debido al incremento de cargas producto del encamisado de hormigón o a una sección insuficiente desde el inicio de la construcción. Para el ejemplo se ha considerado la cimentación (plinto aislado) de la columna C2 en la vivienda del Sr. Chango, por ser una sección común de ubicación central en la cual se recibe la mayor sollicitación de tipo gravitacional. Es importante mencionar que este chequeo se debe realizar en toda las zapatas que conforman la cimentación, teniendo mayor cuidado en zapatas laterales puesto que en las mismas se concentran con una mayor magnitud los efectos de sismo.

Como se mencionó en párrafos anteriores, el esfuerzo de suelo se asumió en 12 T/m^2 , aunque se recomendó que se realice un estudio de suelos en cada caso a ser estudiado por un profesional en la realidad. Se justifica el reforzamiento por medio de un cálculo simple que determina cual sería la capacidad portante del suelo necesaria para que la sección existente no sea reforzada.

$$A_{\text{fundación}} = \frac{P * 1,15}{\sigma_s}$$

La sección construida es de 1.20 m x 1.20 m, es decir, 1.44 m². Mientras que la carga “P”, se obtiene de la combinación de carga 1.2 D + L. En la Tabla 32 se muestran las sollicitaciones resultado del análisis de la estructura y con los cuales se diseña la cimentación.

Tabla 32.

Solicitaciones para el diseño de la cimentación.

Carga Muerta	Carga Viva	Sismo (sentido más crítico)
$P_D = 15.96 T$	$P_L = 4.92 T$	$P_{SY} = 1.20 T$
$M_{XD} = 0.25 T - m$	$M_{XL} = 0.13 T - m$	$M_{SX} = -0.19 T - m$
$M_{YD} = -0.18 T - m$	$M_{YL} = -0.09 T - m$	$M_{SY} = -3.85 T - m$
$P_u = 1.2 P_D + P_L = 1.2 * 15.96 + 4.92 = 24.07 T$		
$P_{su} = 1.2 P_D + P_L + 1 P_{SY} = 1.2 * 15.96 + 4.92 + 1.20 = 25.27 T$		
$M_x = 1.2 M_{XD} + M_{XL} = 1.2 * 0.25 + 0.13 = 0.43 T - m$		
$M_y = 1.2 M_{YD} + M_{YL} = 1.2 * (-0.18) + (-0.09) = -0.306 T - m$		
$M_{xs} = 1.2 M_{XD} + M_{XL} + 1 M_{SX} = 1.2 * (0.25) + 0.13 + (-0.19) = 0.24 T - m$		
$M_{ys} = 1.2 M_{YD} + M_{YL} + 1 M_{SY} = 1.2 * (-0.18) + (-0.09) + (-3.85) = -4.16 T - m$		

Fuente: (ETABS , 2016)

$$(1.20 \times 1.20)m^2 = \frac{25.27 * 1,15}{\sigma_s}$$

$$\sigma_s = 20.18 T/m^2$$

Podemos observar que con la sección construida se necesitaría que el esfuerzo de suelo fuese de 20.18 T/m² una vez incrementado el 33% por acción sísmica. Eso nos indica que la capacidad portante del suelo para soportar cargas gravitacionales sería de 15.17 T/m².

Un suelo con esas características es muy poco frecuente en las zonas donde se realiza el presente estudio, mostrando así que la necesidad de un reforzamiento es muy probable. Realizado este pequeño análisis se procede a calcular la nueva sección para el reforzamiento utilizando los datos de la Tabla 32.

$$A_{fundación} = \frac{P * 1,15}{\sigma_s} = \frac{24.07 * 1.15}{12} = 2.31 m^2$$

$B = \sqrt{2.31} = 1.51 M = L$; Se adopta una zapata de $1.65 \times 1.65 m$

$$e_x = \frac{My}{P} = \frac{-0.36}{26.90} = -0.013 m$$

$$e_y = \frac{Mx}{P} = \frac{0.508}{26.90} = 0.019 m$$

$$\frac{L}{6} = \frac{1.65}{6} = 0.275 > e_x \quad \text{Distribución Trapezoidal de Esfuerzos}$$

$$\frac{B}{6} = \frac{1.65}{6} = 0.275 > e_y \quad \text{Distribución Trapezoidal de Esfuerzos}$$

Análisis de presiones admisibles

Sentido "x"

$$q_{s1,2} = \frac{24.07}{1.65^2} * \left(1 \pm \frac{6 * -0.013}{1.65} \right)$$

$$q_{s1} = 8.42 T/m^2$$

$$q_{s2} = 9,26 T/m^2$$

Sentido "y"

$$q_{s3,4} = \frac{24.07}{1.65^2} * \left(1 \pm \frac{6 * 0.019}{1.65} \right)$$

$$q_{s3} = 9.45 T/m^2$$

$$q_{s4} = 8.42 T/m^2$$

El sentido en donde se encuentra el esfuerzo admisible más crítico es el sentido y, por esta razón se realizará el análisis solo para dicho sentido. El análisis para el sentido x se lo realiza de la misma manera del que se presenta a continuación.

Análisis del corte Unidireccional.

El análisis para el corte unidireccional se lo realiza a una distancia “d” de la cara del apoyo, para aquello es necesario determinar las presiones admisibles resultantes en la cara del apoyo así como también a la distancia “d” mencionada con anterioridad. Mediante un cálculo basado en semejanzas de triángulos se obtienen los valores mencionados. Para mejor entendimiento se presenta la Figura 101 en donde se visualiza lo expuesto en este párrafo.

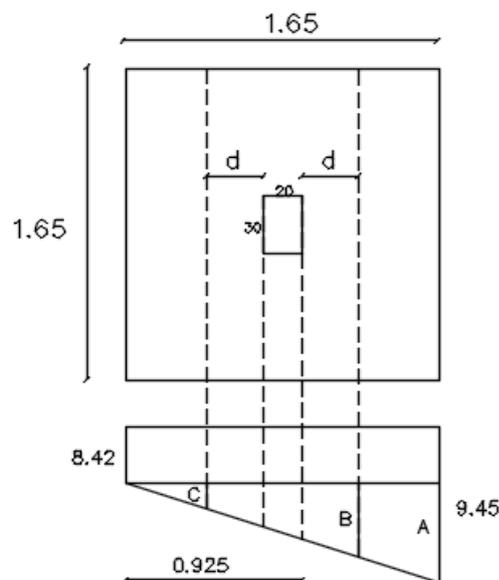


Figura 101. Distribución de Presiones en zapata. Cálculo de corte Unidireccional

$$A = 9.45 - 8.42 = 1.03 \text{ T/m}^2$$

$$\frac{B}{0.975 + d} = \frac{A}{L}; B = \frac{(0.975 + d)}{1.65} * 1.03$$

$$q_u^{sdd} = \frac{(0.975 + d)}{1.65} * 1.03 + 9.2 = 9.81 + 0.6242 d$$

$$\frac{C}{0.675 - d} = \frac{A}{L}; C = \frac{(0.675 - d)}{1.65} * 1.03$$

$$q_u^{sdi} = \frac{(0.675 - d)}{1.65} * 1.03 + 9.2 = 9.6213 - 0.6242 d$$

Considerando que la zapata tiene una altura de $H=0.3$ m, se obtiene un valor de $d = 0.23$ m. Es necesario mencionar que para este tipo de cimentación la distancia de anclaje de la varilla longitudinal dentro del bloque de hormigón constituye una parte importante y se aplican esos conceptos en el cálculo de los reforzamientos. Este al ser un ejemplo didáctico dejará de lado la premisa descrita anteriormente.

$$q_u^{sdd} = 9.95 T/m^2$$

$$q_u^{sdi} = 9.48 T/m^2$$

$$q_u^s = \frac{q_u^{sdd} + q_u^{sdi}}{2} = 9.72 T/m^2$$

$$V_u = q_u^s (0.725 - d) * L$$

$$V_u = 9.72 * (0.725 - 0.23) * 1.65 = 7.94 T$$

$$v_u = \frac{V_u}{\phi * b * d} = \frac{7.94 * 10^3}{0.75 * 165 * 23} = 2.80 Kg/cm^2$$

$$v_p = 0.53 * \sqrt{f'c} = 0.53 * \sqrt{180} = 7.11 \frac{Kg}{cm^2} > v_u \quad \text{Cumple}$$

Análisis del corte Bidireccional.

El análisis para el corte bidireccional se lo realiza a una distancia “d/2” de la cara del apoyo, para aquello es necesario determinar el perímetro para el punzonamiento. Para mejor entendimiento se presenta la Figura 102 en donde se visualiza lo expuesto en este párrafo.

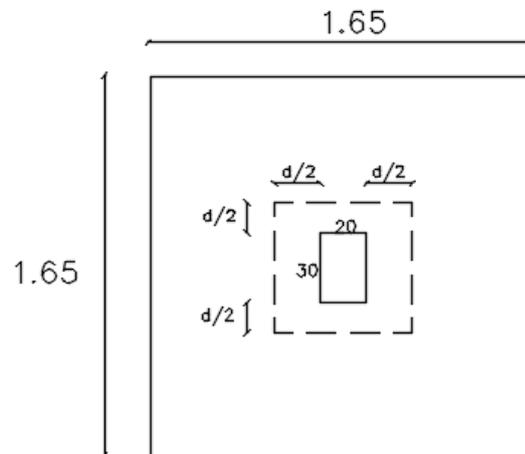


Figura 102. Perímetro Efectivo para cálculo de corte Bidireccional.

$$b_o = [(0.3 + 0.23) * 2] + [(0.2 + 0.23) * 2] = 192 \text{ cm}$$

$$Vu = q_u^s (A_T - A_{PUNZO}) = 9.72 * [1.65^2 - (0.53 * 0.43)] = 24.25 \text{ T}$$

$$vu = \frac{24.25 * 10^3}{0.75 * 192 * 23} = 7.32 \text{ Kg/cm}^2$$

$$vp = 1.06 * \sqrt{180} = 14.22 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} > vu \quad \text{Cumple Análisis}$$

Diseño a Flexión.

El análisis para el diseño a flexión se lo realiza en la cara del apoyo, para aquello es necesario determinar la presión admisible resultante en esta ubicación. Mediante un cálculo basado en semejanzas de triángulos se obtienen el valor mencionado. Para mejor entendimiento se presenta la Figura 103 en donde se visualiza lo expuesto en este párrafo.

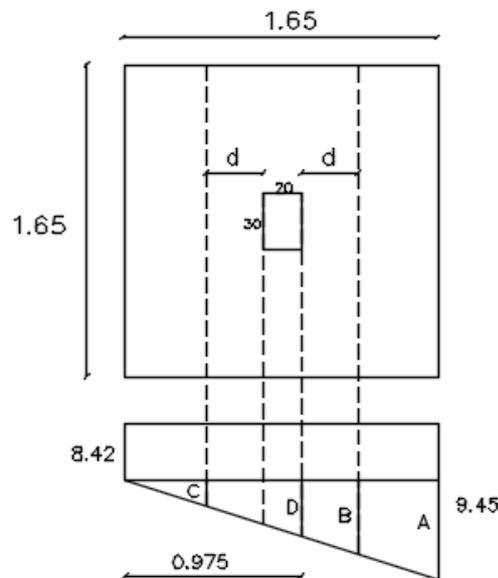


Figura 103. Distribución de Presiones en zapata para el diseño a Flexión.

$$A = 9.45 - 8.42 = 1.03 \text{ T/m}^2$$

$$\frac{D}{0.975} = \frac{A}{L}; D = \frac{0.975}{1.65} * 1.03 = 0.6086 \text{ T/m}^2$$

$$q_u^{sf} = 0.6086 + 8.42 = 9.03 \text{ T/m}^2$$

$$Mu = \frac{Lv^2}{6} (2 * q_u^{s1} + q_u^{sf}) * B$$

$$Mu = \frac{0.675^2}{6} (2 * 9.45 + 9.03) * 1.65 = 3.50 \text{ T - m}$$

$$\rho = 0.0010767 < \rho_{min}$$

$$As = 8,91 \text{ cm}^2$$

El acero requerido para la parte de reforzamiento se calcula teniendo como dato inicial el armado de la sección existente, para el ejemplo se tiene un armado de 9.04 cm² perteneciente a 8 varillas de 12 milímetros de diámetro. En este caso no se necesita adición de acero por flexión, puesto que bajo las sollicitaciones impuestas, el acero existente cumple con el área requerida,

teniendo únicamente que incrementar la sección resistente de hormigón para efectos del cumplimiento de presiones admisibles del suelo.

Sin embargo se muestra de manera didáctica como calcular el acero requerido para reforzamiento suponiendo que el área final requerida a lo largo de toda la sección (existente y ampliada) sea de 10.61 cm^2 , (este valor se ha tomado al azar y se recalca que no ha procedido de ninguno de los cálculos detallados en pasos anteriores). Por lo tanto el acero requerido es de 1.57 cm^2 . Se hace notar que para el incremento de la sección se debe retirar el recubrimiento de la zapata existente en los cuatro sentidos.

$$\text{sección inicial} - \text{recubrimiento} = 1.20 - 0.15 = 1.05 \text{ m}$$

$$1.05 = \text{sección existente efectiva}$$

Para calcular la longitud real de hormigón a colocarse se resta la longitud de la nueva sección (1.65 m) menos la sección existente efectiva (1.05 m).

$$\text{Longitud real} = 1.65 - 1.05 = 0.60 \text{ m}$$

Sobre la longitud real se deben restar los recubrimientos (0.15 m), dando una longitud de 0.45 m en donde se repartirán los 1.57 cm^2 requeridos para el refuerzo. Así teniendo un espaciamiento de 15 cm se necesita 2 varillas en cada sentido; se propone colocar 4 varillas de 12 mm obteniendo un área final de 13.56 cm^2 mayor al requerido de 10.61 cm^2 . Mostrado en la Figura 104.

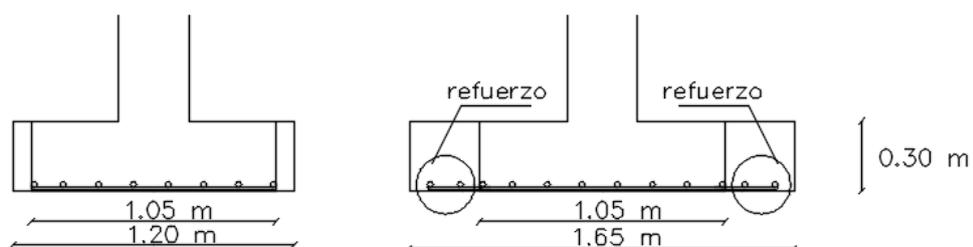


Figura 104. Esquema de ampliación de zapata aislada.

Este análisis se ha realizado para la combinación de carga $1.2 D + L$, el procedimiento es el mismo para la combinación que incluye sismo, tomando

en consideración que las presiones admisibles del suelo se incrementan un 33%. Se debe a la final considerar las secciones mayores de los dos análisis.

4.5 Enchapado en paredes de Mampostería

El enchapado en paredes de mampostería tiene como concepto fundamental actuar como un muro que absorba fuerzas laterales, es por este motivo que se lo diseña a flexo compresión y a corte.

ESPECIFICACIONES

Mallas estándar

MALLA Tipo de malla	DIÁMETRO Ø Longitud = Ø Transversal mm	SEPARACIÓN SL Longitudinal = ST Transversal cm	SECCIÓN ACERO As/m As L = As T mm ² /m	PESO	
				Kg / Plancha	Kg / m ²
U-110	3,75	10	110	25,91	1,73
U-106 *	4,5	15	106	25,07	1,67
U-177	4,75	10	177	41,57	2,77
U-173 *	5,75	15	173	40,93	2,73
U-196	5	10	196	46,06	3,07
U-205 *	6,25	15	205	48,36	3,22
U-238	5,5	10	238	55,73	3,72
U-239 *	6,75	15	239	56,41	3,76
U-335 *	8	15	335	79,23	5,28
U-524 *	10	15	524	123,80	8,25
U-55	3,75	20	55	13,16	0,88
U-71	4,25	20	71	16,91	1,13
U-89	4,75	20	89	21,12	1,41
U-108	5,25	20	108	25,80	1,72
U-131	5	15	131	30,95	2,06
U-158	5,5	15	158	37,45	2,50
U-221	7,5	20	221	52,65	3,51
U-284	8,5	20	284	67,62	4,51
U-354 *	9,5	20	354	84,47	5,63
U-433 *	10,5	20	433	103,18	6,88
U-44	3,75	25	44	10,62	0,71

Dimensiones mallas estándar
LONGITUD: 6,25 m ANCHO: 2,40 m AREA: 15 m².

* Mallas fabricadas bajo pedido

f_y min = 6000 kg/cm²

Si SL = ST = 10cm ; X1 = X2 = 7,5cm y Y1 = Y2 = 5cm

Si SL = ST = 15cm ; X1 = X2 = 5,0cm y Y1 = Y2 = 7,5cm

Figura 105. Mallas electrosoldadas estándar comercializadas por Ideal Alambrec.

Fuente: (Ideal Alambrec, 2015)

Para el ejemplo se considera utilizar la opción de section designer de Etabs mediante la metodología expuesta para el reforzamiento de columnas con la ayuda de los diagramas de interacción.

Para la conformación del enchapado se considera como reforzamiento la malla electrosoldada provista por la compañía Ideal Alambrec y especificada

en la Figura 105. Las especificaciones presentadas en la figura mencionada son estándar y comerciales.

En el siguiente ejemplo se considera el enchapado lateral en la vivienda del Sr. Carrasco sobre la mampostería de ladrillo existente (ver Fotografía 1). Esta vivienda posee muchas limitaciones arquitectónicas para realizar enchapados en su interior y a la vez simétricos en los dos ejes, determinando así la facilidad de realizar este reforzamiento en paredes laterales pero a su vez la dificultad de hacerlo en paredes transversales, limitaciones han permitido que se rigidice más un sentido que otro (como se muestra en el Capítulo 5). Estas consideraciones han hecho que se tome esta vivienda como referencia para ejemplificar el cálculo de esta mampostería. Se considera además mostrar en las Figuras 106 y 107 las propiedades del enchapado tanto en mampostería de bloque como en la de ladrillo.

Módulo Elasticidad Mampostería. Em		Resistencia a Compresión Mampostería. f'm	
(Con Arena Pintag)	50526,9 Kg/cm ²	(Con Arena Pintag)	101,1 Kg/cm ²
(Con Arena Pomasqui)	44358,8 Kg/cm ²	(Con Arena Pomasqui)	88,7 Kg/cm ²
Promedio	47442,8 Kg/cm²	Promedio	94,9 Kg/cm²

Módulo Corte Mampostería. Gm		Resistencia al Corte Mampostería	
(Con Arena Pintag)	20210,7 Kg/cm ²	(Con Arena Pintag)	2,8 Kg/cm ²
(Con Arena Pomasqui)	17743,5 Kg/cm ²	(Con Arena Pomasqui)	1,9 Kg/cm ²
Promedio	18977,1 Kg/cm²	Promedio	2,4 Kg/cm²

PESO ESPECIFICO DE LA MAMPOSTERÍA = 1.2 T/m³

Figura 106. Propiedades del enchapado de mampostería de ladrillo.

Fuente: (Félix & Flores, 2006)

Ord.	Parámetro	Valor
1	Peso volumétrico	1800 kgf/m ³
2	Módulo de elasticidad	635 kgf/mm ²
3	Módulo de corte	265 kgf/mm ²
4	Coef. De Poisson	0.20
5	Resistencia a compresión	1.41 kgf/mm ²
6	Espesor de la pared	0.20 m

Figura 107. Propiedades del enchapado de mampostería de bloque.

Fuente: (Viera & Caiza, 2016)

Como se mencionó el diseño de la pared de mampostería enchapada se realizará con la opción de section designer en Etabs. Para el mismo se considera una malla electrosoldada de 8 mm espaciada cada 15 cm. El procedimiento a seguir es el mismo estipulado en el cálculo del reforzamiento de columnas. La Figura 108 muestra la sección transversal del muro más crítico en longitud ubicado en el tramo C-D del eje 1, así como las propiedades del mismo.

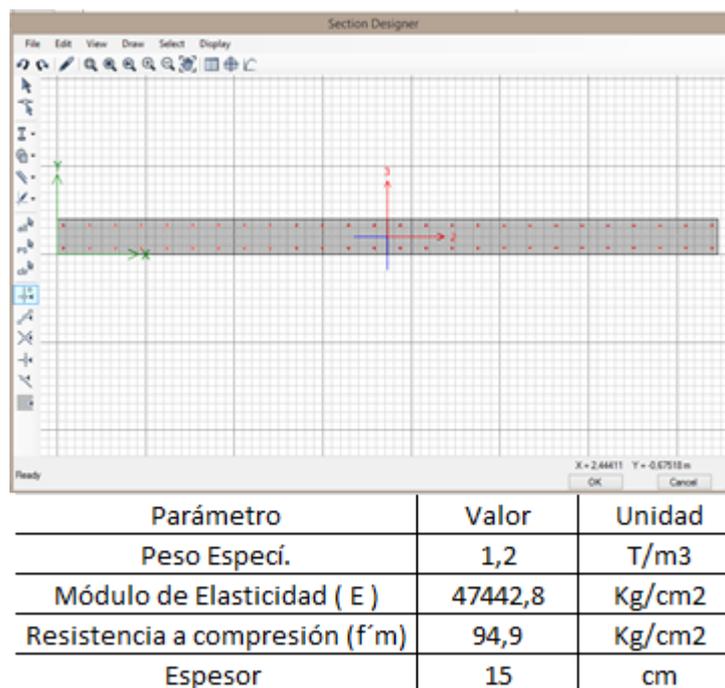


Figura 108. Mampostería enchapada Vivienda Sr. Carrasco, tramo C-D en eje 1.

Fuente: (ETABS , 2016)

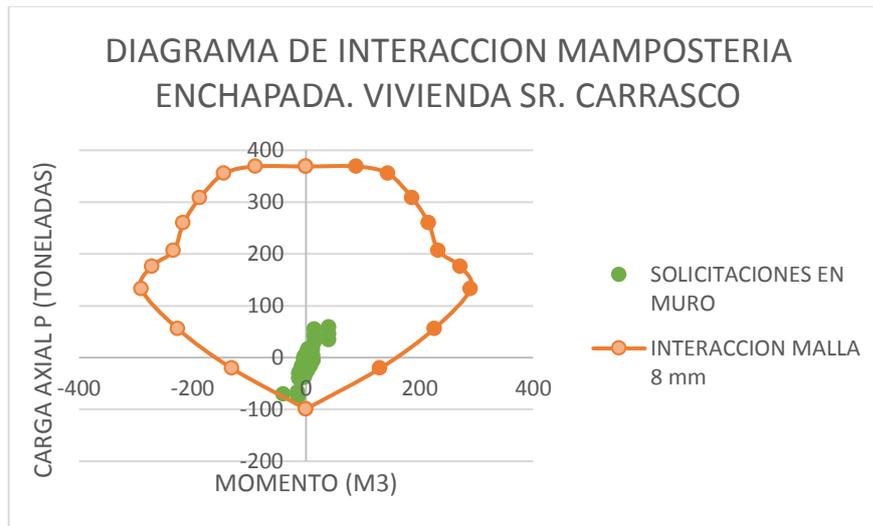


Figura 109. Diagrama de Interacción Mampostería Enchapada. Vivienda Sr. Carrasco.

Fuente: (ETABS , 2016)

Al igual que en el reforzamiento de columnas, después de realizar este análisis con el respectivo diagrama de interacción (Figura 109), se considera que el reforzamiento propuesto mediante la utilización de malla electrosoldada de 8 mm de diámetro con un espaciamiento de 15 cm en cada sentido es adecuado para resistir las solicitaciones propias de la sección.

Otro punto importante del análisis es el de cortante en la sección, ya que al considerarse un muro para reforzamiento estructural se lo debe diseñar tanto para solicitaciones de flexo compresión y corte. Las fórmulas utilizadas para este análisis se han obtenido de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC -15, en su apartado de Mampostería Estructural (NEC-SE-MP). Para el cálculo se considera el mayor valor de cortante (V_u , con su respectivo momento M_u).

$$f_y = 6000 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 15 \text{ cm}$$

$$l_w = 3,73 \text{ m}$$

$$f'_m = 94,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{wv} = b \times l_w = 15 \times 373 = 5595 \text{ cm}^2$$

$$d = 0,8 l_w$$

$$V_u = 58,2 \text{ Ton (mayor valor obtenido del cuadro de fuerzas actuantes)}$$

$$M_u = 40,2 \text{ Ton} - m$$

$$d = 0,80 \times 3,73 = 2,98$$

$$\frac{M}{V \times d} = \frac{40,2}{58,2 \times 2,98} = 0,232$$

$$V_m = \left(0,72 - 0,41 \times \frac{M}{V \times d} \right) \times A_{wv} \times \sqrt{f'_m}$$

$$V_m = (0,72 - 0,41 \times 0,232) \times 5595 \times \sqrt{94,9} = 34,06 \text{ Ton}$$

$$V_s = \rho \times f_y \times A_{wv}$$

$$\rho = \frac{A_s}{s \times b}$$

$$\rho = \frac{2 \times 0,50}{15 \times 15}$$

$$\rho = 0,00444$$

$$V_s = 0,00444 \times 6000 \times 5595 = 149,05 \text{ Ton}$$

$$V_n = V_s + V_m$$

$$V_n = 149,05 + 34,06 = 183,11 \text{ Ton}$$

$$V_u < \phi V_n$$

$$58,2 < 0,6 \times (183,11)$$

$$58,2 < 109,87 \text{ (CUMPLE)}$$

$$(2\phi 8@ 15 \text{ cm})$$

A pesar de que se muestra que se cumple con el diseño a corte de manera holgada, el reforzamiento se considera apropiado puesto que se encuentra cumpliendo el diseño a flexo compresión casi en su estado límite. Se hace notar que es necesario realizar los dos análisis para el reforzamiento, tomando además mallas electrosoldadas comerciales como las expuestas en la Figura 105 de este capítulo.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS ESTRUCTURAL CONSIDERANDO REFUERZOS

5.1 Datos para el Análisis

Los análisis de los modelos incluidos los refuerzos tienen como base los mismos parámetros expuestos en el Capítulo 3 del presente trabajo. Las propiedades de cada reforzamiento se muestran en el Capítulo 4 y se consideran para el ingreso de datos en los programas comerciales. El hormigón para el reforzamiento (encamisado de columnas, hormigón lanzado en mampostería enchapada) será de 210 kg/cm².

Como premisa se determinará la disposición de los reforzamientos considerando las limitaciones arquitectónicas de cada modelo específico. El objetivo de este capítulo y de esta tesis en general es el de mejorar el comportamiento estructural de las viviendas en estudio. Se analizarán las estructuras en el rango no lineal mediante análisis estáticos y dinámicos tomando las mismas consideraciones expuestas en el Capítulo 3.

Para conseguir un comportamiento no lineal de la mampostería se ha implementado un modelo de tipo “link”, de tipo multilineal plástico, el mismo que actúe de manera axial y simule el comportamiento real de la mampostería enchapada. Para este comportamiento se debe modelar el “link” de manera que soporte cargas axiales únicamente, restringiendo los grados de libertad correspondientes a giro. A continuación se enlista las consideraciones adoptadas en cada grado de libertad.

- U1, sin restricción (No Fixed), activado comportamiento no lineal.
- U2, sin restricción (No Fixed), comportamiento lineal.
- U3, sin restricción (No Fixed), comportamiento lineal.
- R1, restringido (Fixed).
- R2, restringido (Fixed).
- R3, restringido (Fixed).

Los desplazamientos y fuerzas efectivas de la mampostería que fueron consideradas para el modelo se tomaron del artículo de (Viera & Caiza, 2016), sin embargo se visualizaron que las mismas determina un comportamiento altamente rígido de estos elementos, es por esta razón que se redujeron sus fuerzas efectivas y aumentaron sus desplazamientos. En la Figura 110 se muestra una comparación de los tres modelos para el comportamiento de la mampostería enchapada, los mismos que se detallan a continuación, mientras que en la Tabla 33 se visualiza los valores de desplazamiento y fuerza en cada modelo.

- Primer modelo: Comportamiento altamente rígido tomado de (Viera & Caiza, 2016).
- Segundo modelo: Reducción del 25% de la fuerza y aumento del 50% en el desplazamiento, tomando como base el modelo uno.
- Tercer modelo: Reducción del 50% de la fuerza y aumento del 50% en el desplazamiento, tomando como base el modelo uno.

Tabla 33.

Desplazamiento y Fuerza en modelos estudiados de mampostería enchapada.

	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3	
	mm	Ton	mm	Ton	mm	Ton
1	-739	-11,1	-110,85	-8,325	-110,85	-5,55
2	-295	-55,4	-44,25	-41,55	-44,25	-27,7
3	-246	-62,1	-36,9	-46,575	-36,9	-31,05
4	-109	-78,2	-16,35	-58,65	-16,35	-39,1
5	-104	-77,6	-15,6	-58,2	-15,6	-38,8
6	-92	-76	-13,8	-57	-13,8	-38
7	-70	-67,6	-10,5	-50,7	-10,5	-33,8
8	-39	-46	-5,85	-34,5	-5,85	-23
9	-11	-15	-1,65	-11,25	-1,65	-7,5
10	0	0	0	0	0	0
11	73,9	1,11	11,085	0,8325	11,085	0,555

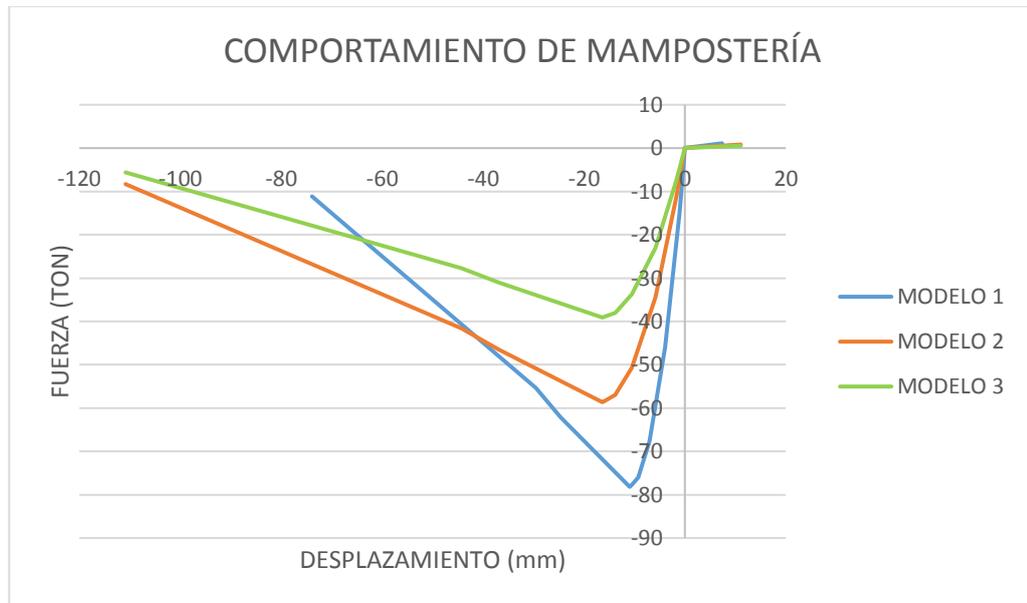


Figura 110. Comparación entre el comportamiento de los modelos de mampostería.

En la Figura 110 podemos observar que el modelo inicial (modelo 1) propuesto en (Viera & Caiza, 2016) tiene la capacidad de resistir una alta carga axial con muy poco desplazamiento dando la idea de un modelo altamente rígido, lo cual repercute directamente en el resultado de derivas de piso disminuyendo las mismas de manera poco realista (como se visualizará más adelante en este capítulo). El modelo 2 disminuye en un 25% la fuerza axial y aumenta el desplazamiento en un 50% reduciendo así su rigidez puesto que se acepta mayor desplazamiento a menores fuerzas axiales; comportamiento que también se observa en el modelo 3 el cual disminuye el 50% de fuerza axial y aumenta un 50% el desplazamiento inicial.

Es preciso mencionar también que se sugiere realizar controles de esfuerzos presentes en el modelo de la mampostería después del análisis realizado por el programa, para evitar así que éstos superen los esfuerzos máximos admitidos, obtenidos de acuerdo a modelos experimentales.

Para la validación de estos modelos teóricos de mampostería se realizó el análisis de una de las 10 viviendas en estudio con cada patrón de

mampostería y se examinó su comportamiento. Además de visualizar el comportamiento de la mampostería también se determinaron conclusiones en cuanto a la combinación de los refuerzos planteados como resultado de la evaluación rápida presentada en el Capítulo 2 de este trabajo, con el objetivo de aceptar la sugerencia de reforzamiento, hipótesis planteada en la Tabla 14.

En la Figura 111 se aprecia la comparación de las diversas curvas de capacidad obtenidas para una misma vivienda (Vivienda Sra. Flores de 3 pisos de altura), mientras que en la Tabla 34 se comparan parámetros de deriva inelástica de piso con el objetivo de visualizar dos puntos importantes: la influencia en la diferencia de rigidez de cada modelo de mampostería y además la necesidad de plantear un reforzamiento en conjunto de los elementos que conforman la estructura.

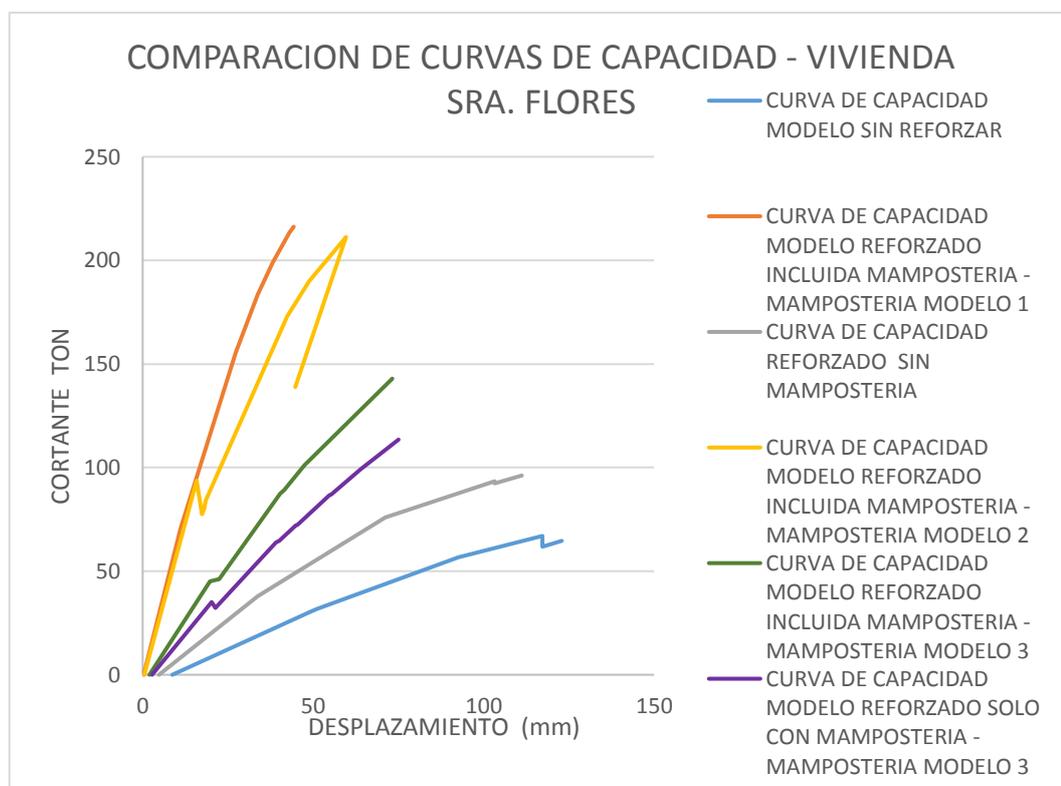


Figura 111. Comparación entre curvas de capacidad para la vivienda de la Sra. Flores.

Fuente: (ETABS , 2016)

A través de un análisis rápido de las curvas de capacidad presentadas en las Figura 111 se puede concluir que un comportamiento aceptable de la estructura lo demuestra el modelo que combina reforzamientos (curva en verde), es decir, un encamisado de columnas y un enchapado de mampostería con su tercer modelo detallado en párrafos anteriores, sin embargo se determinarán conclusiones a partir de las derivas inelásticas de piso mostradas en la Tabla 34 a continuación. Cabe mencionar que los reforzamientos realizados a parte del enchapado de mampostería fueron: encamisado de columnas y adición de perfiles metálicos bajo vigas de concreto; el primero de estos reforzamientos con el objetivo de mejorar el comportamiento global de la estructura mientras que el segundo con el fin de optimizar el comportamiento local del elemento.

Tabla 34.

Comparación de Derivas Inelásticas en modelos de la vivienda de la Sra. Flores.

	MODELO	COLOR GRAFICA	DERIVAS %	
			SISMO X	SISMO Y
1	Sin Reforzamiento	Azul	5,78	6,57
2	Reforzamiento Sin Mampostería	Gris	3,33	2,6
3	Reforzamiento Solo Con Mampostería Modelo 3 (D*1,5 - P*0.5)	Violeta	2,25	2,47
4	Reforzamiento Incluida Mampostería Modelo 3 (D*1,5 - P*0.5)	Verde	1,78	1,67
5	Reforzamiento Incluida Mampostería Modelo 2 (D*1,5 - P*0.75)	Amarillo	0,67	0,79



6	Reforzamiento Con Mampostería Normal Modelo 1	Anaranjado	0,45	0,63
---	---	------------	------	------

Fuente: (ETABS , 2016)

Una vez presentada la Tabla 34 se pueden aseverar las siguientes premisas:

- El modelo 1 (curva azul) muestra una vez más la necesidad de reforzamiento de la estructura puesto que posee derivas inelásticas mayores a las permitidas por la normativa vigente.
- El modelo 2 y 3 (curva gris y violeta) presenta derivas de piso inferiores a las iniciales pero con derivas de piso aún superiores al límite según normativa.
- Se observa que en cada uno de los modelos 2 y 3 a pesar de estar reforzados, no se logra un comportamiento adecuado de la estructura, lo que muestra la necesidad de la combinación de estos dos tipos de reforzamientos como se sugiere en la Tabla 14 del presente trabajo.
- El modelo 4 muestra resultados de deriva basados en un comportamiento real y teóricamente esperado después de los reforzamientos, esto debido a que el modelo empleado para la mampostería (modelo 3) es también el más óptimo y determina una rigidez adecuada.
- El modelo 5 presenta derivas de piso menores al 1%, valor poco real debido a que el modelo de mampostería adoptado (modelo 2) admite muy poco desplazamiento, es decir, tiene una rigidez no adecuada.
- El modelo 6 posee derivas de piso muy conservadoras debido a que su modelo de mampostería (modelo 1) tiene un comportamiento demasiado rígido y muy poco real, el mismo que no admite desplazamientos ante carga muy altas.

Después de realizar este análisis se puede concluir lo siguiente:

- Este tipo de viviendas necesitan la combinación de reforzamientos planteada en la Tabla 14, ya que de manera aislada cada uno de ellos brindan mejoras en el comportamiento estructural pero no permiten cumplir parámetros como derivas de piso inelásticas de acuerdo con la normativa vigente NEC - 15, corroborando de esta manera las sugerencias de reforzamientos planteadas en este trabajo investigativo.
- El modelo 3 de la mampostería enchapada es el que determina mejor comportamiento, brindando valores de deriva de piso mucho más reales que el resto de los modelos de mampostería (modelo 1 y 2). Tomando como antecedente este pequeño análisis mostrado se considera el modelo 3 de mampostería como válido para el reforzamiento y análisis de las demás viviendas.

5.2 Creación del Modelo en Etabs y Safe

En esta sección se presentarán datos generales del reforzamiento en cada vivienda tanto en sistema estructural y en cimentación, esta última como parte complementaria a los análisis de reforzamiento. El refuerzo de este tipo de cimentación no demanda mayor análisis, es por eso que se concentra la interpretación de resultados en la superestructura. En las Figuras 112 a 131 se muestran los modelos de estructura y cimentación realizados en Etabs y Safe de las 10 viviendas en análisis.

- **Vivienda Sr. Carrasco Valarezo Cesibel.**

La vivienda del Sr. Carrasco Valarezo se ha reforzado utilizando enchapado de mampostería con espesor de 3 cm y malla tipo U-335 según la Figura 105, encamisado de hormigón y adición de perfiles metálicos bajo vigas de hormigón. Las vigas reforzadas son las que cuentan con mayor luz libre en ambos sentidos. Para el reforzamiento se ha considerado incrementar 10 cm por lado en el encamisado de columnas y un perfil IPN 160. En cuanto a la cimentación se presenta el modelo con la ampliación de las zapatas aisladas

a secciones que cumplan con las solicitaciones de la vivienda una vez reforzada.

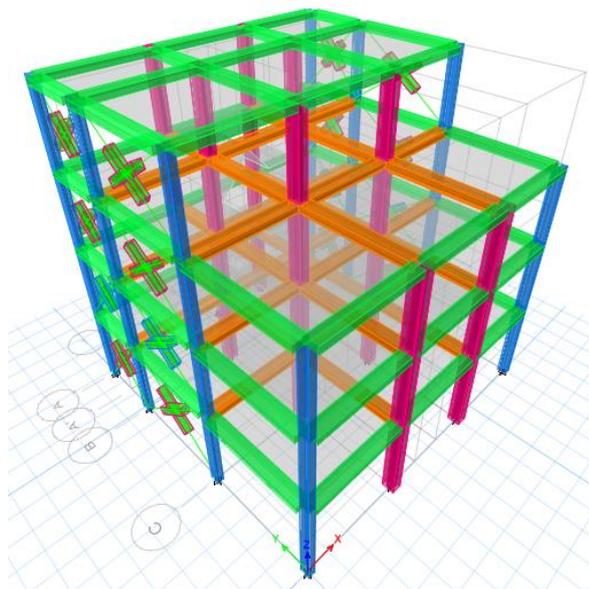


Figura 112. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Carrasco Valarezo Cesibel.

Fuente: (ETABS , 2016)

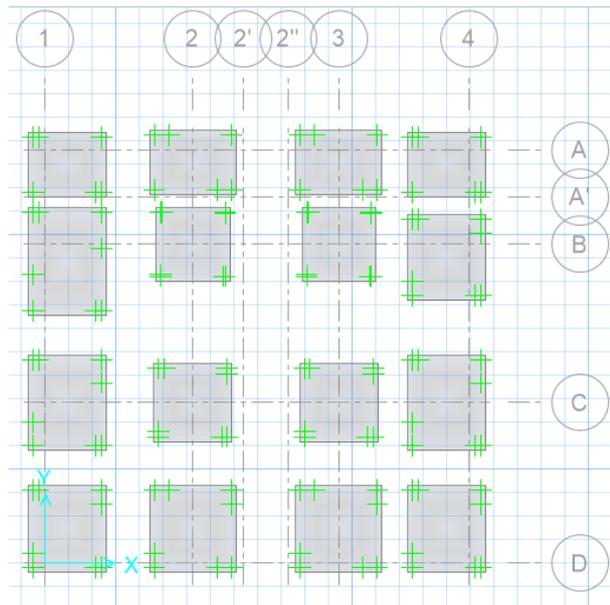


Figura 113. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Carrasco Valarezo Cesibel.

Fuente: (SAFE, 2016)

- **Vivienda Sr. Bonifaz Mario.**

La vivienda del Sr. Bonifaz Mario se ha reforzado utilizando enchapado de mampostería con espesor de 3 cm y malla tipo U-335 según la Figura 105, encamisado con fibra de carbono CFRP y adición de perfiles metálicos bajo vigas de hormigón. Las vigas reforzadas son las que cuentan con mayor luz libre en ambos sentidos. Para el reforzamiento se ha considerado implementar 5 láminas de CFRP (Sika Wrap 600C) en el encamisado de columnas y perfiles IPN 160 y 200. En cuanto a la cimentación se presenta el modelo con la ampliación de las zapatas aisladas a secciones que cumplan con las solicitaciones de la vivienda una vez reforzada.

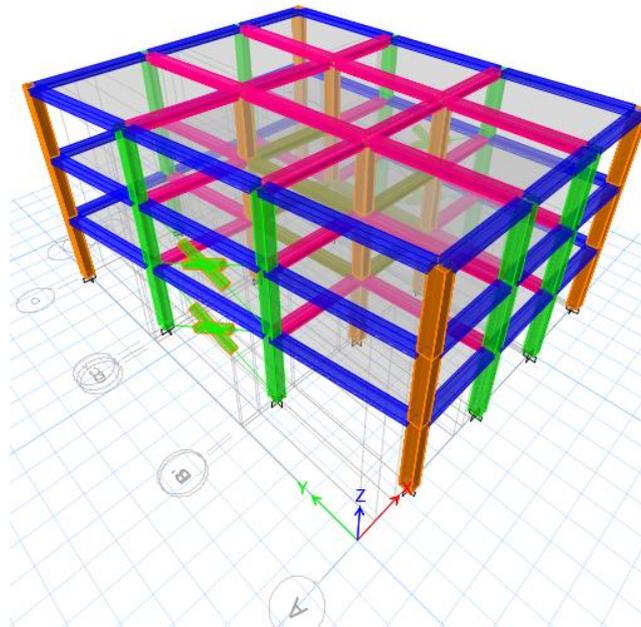


Figura 114. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Bonifaz Mario.

Fuente: (ETABS , 2016)

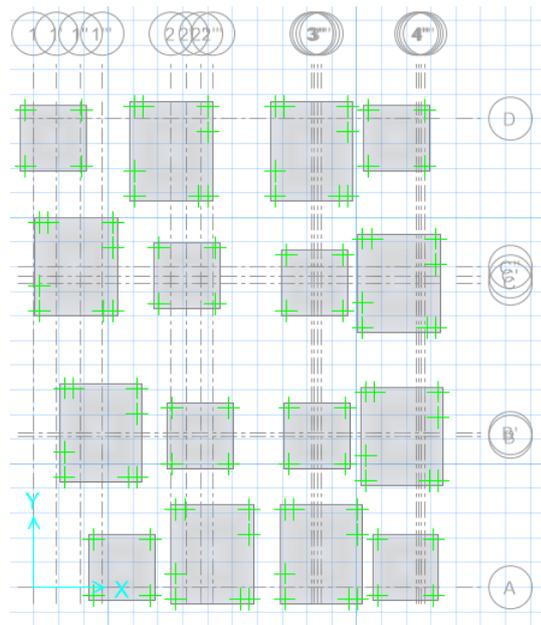


Figura 115. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Bonifaz Mario.

Fuente: (SAFE, 2016)

- **Vivienda Sra. Flores Angélica.**

La vivienda de la Sra. Flores Angélica se ha reforzado utilizando enchapado de mampostería con espesor de 3 cm y malla tipo U-335 según la Figura 105, encamisado mediante recrecido de hormigón y adición de perfiles metálicos bajo vigas de hormigón. Las vigas reforzadas son las que cuentan con mayor luz libre en ambos sentidos. Para el reforzamiento se ha considerado incrementar 10 cm por lado en el encamisado de columnas y perfiles IPN 160. En cuanto a la cimentación se presenta el modelo con la ampliación de las zapatas aisladas a secciones que cumplan con las solicitaciones de la vivienda una vez reforzada.

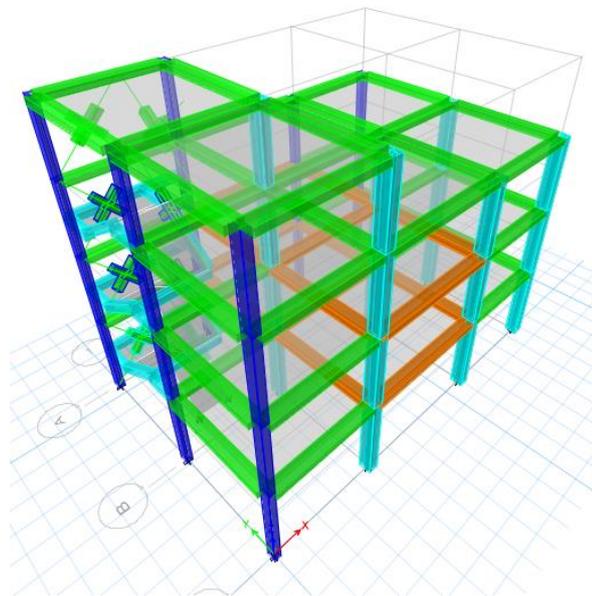


Figura 116. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sra. Flores Angélica.

Fuente: (ETABS , 2016)

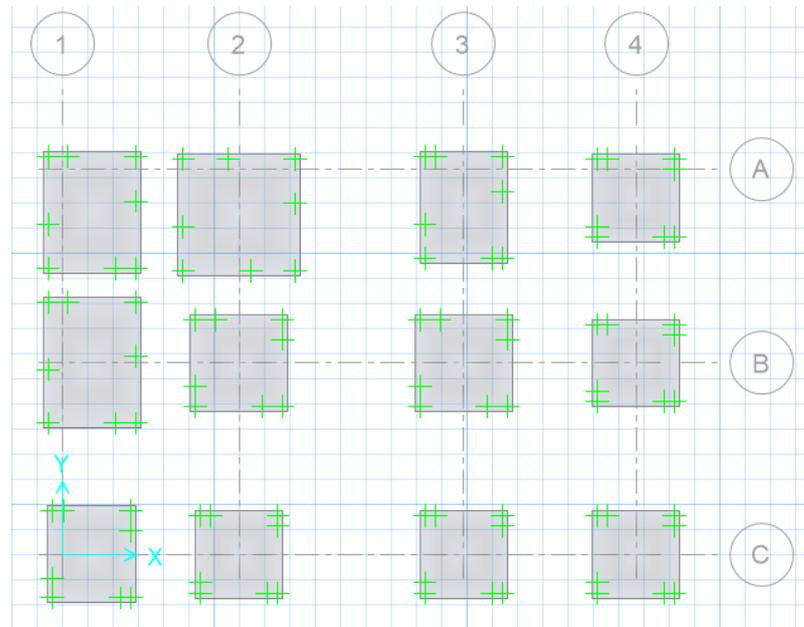


Figura 117. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sra. Flores Angélica.

Fuente: (SAFE, 2016)

- **Vivienda Sr. Yupanqui Enrique.**

La vivienda del Sr. Yupanqui Enrique se ha reforzado utilizando enchapado de mampostería con espesor de 3 cm y malla tipo U-529 según la Figura 105, encamisado mediante recrido de hormigón en columnas donde no existe limitación arquitectónica y encamisado con fibra de carbono CFRP (Sika Wrap 600C) en columnas de lindero, además de adición de perfiles metálicos bajo vigas de hormigón. Las vigas reforzadas son las que cuentan con mayor luz libre en ambos sentidos. Para el reforzamiento se ha considerado incrementar 15 cm por lado en el encamisado de columnas mediante concreto y 5 láminas de CFRP, además de perfiles IPN 160 para las vigas. En cuanto a la cimentación se presenta el modelo con la ampliación de las zapatas aisladas a secciones que cumplan con las solicitaciones de la vivienda una vez reforzada.

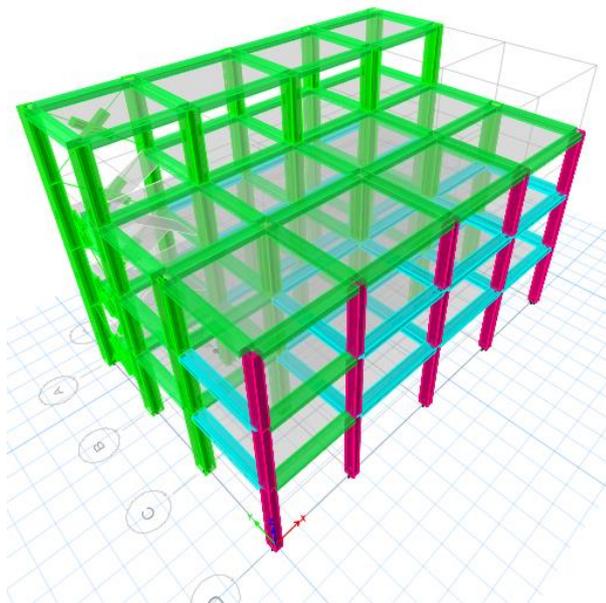


Figura 118. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Yupanqui Enrique.

Fuente: (ETABS , 2016)

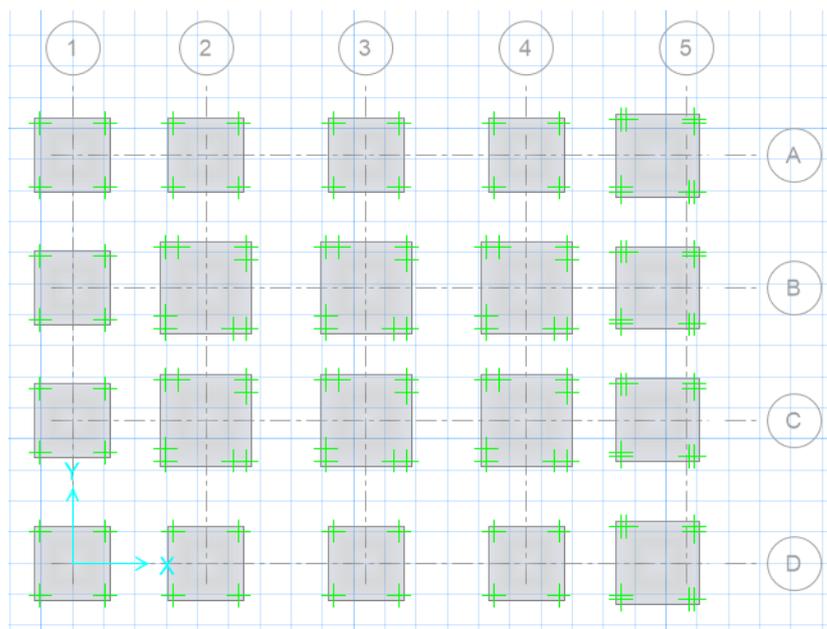


Figura 119. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Yupanqui Enrique.

Fuente: (SAFE, 2016)

- **Vivienda Sr. Chicaiza Luis.**

La vivienda del Sr. Chicaiza Luis se ha reforzado utilizando enchapado de mampostería con espesor de 3 cm y malla tipo U-529 según la Figura 105, encamisado mediante recrecido de hormigón en columnas internas y adición de perfiles metálicos bajo vigas de hormigón. Las vigas reforzadas son las que cuentan con mayor luz libre en ambos sentidos. Para el reforzamiento se ha considerado incrementar 10 cm por lado en el encamisado de columnas y perfiles IPN 180 y 200. En cuanto a la cimentación se presenta el modelo con la ampliación de las zapatas aisladas a secciones que cumplan con las sollicitaciones de la vivienda una vez reforzada.

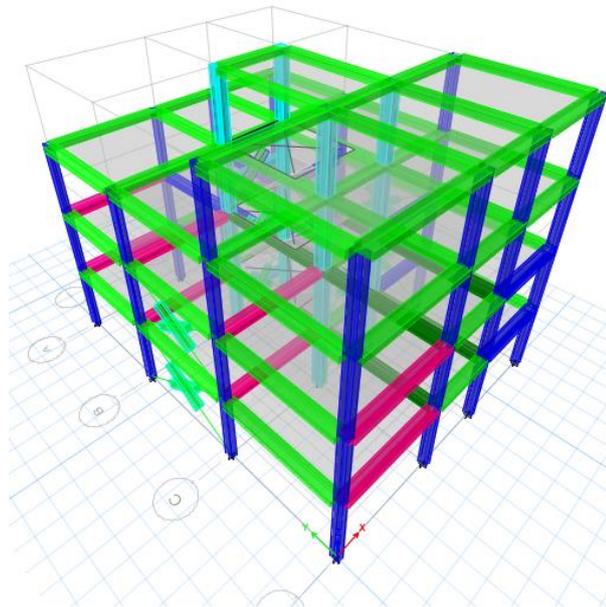


Figura 120. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Chicaiza Luis.

Fuente: (ETABS , 2016)

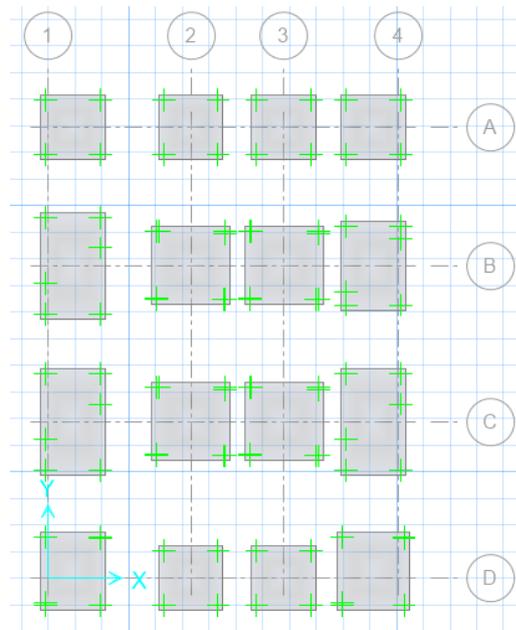


Figura 121. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Chicaiza Luis.

Fuente: (SAFE, 2016)

- **Vivienda Sr. Chango Rafael.**

La vivienda del Sr. Chango Rafael se ha reforzado utilizando enchapado de mampostería con espesor de 3 cm y malla tipo U-335 según la Figura 105, encamisado mediante incorporación de fibras de carbono CFRP (Sika Wrap 600C) sin la utilización de reforzamientos en vigas de hormigón, puesto que sus luces no poseen dimensiones grandes y las vigas existentes son capaces de resistir las solicitaciones después del reforzamiento. Para el mismo se ha considerado incorporar 2 fibras de carbono en el encamisado de columnas. En cuanto a la cimentación se presenta el modelo con la ampliación de las zapatas aisladas a secciones que cumplan con las solicitaciones de la vivienda una vez reforzada.

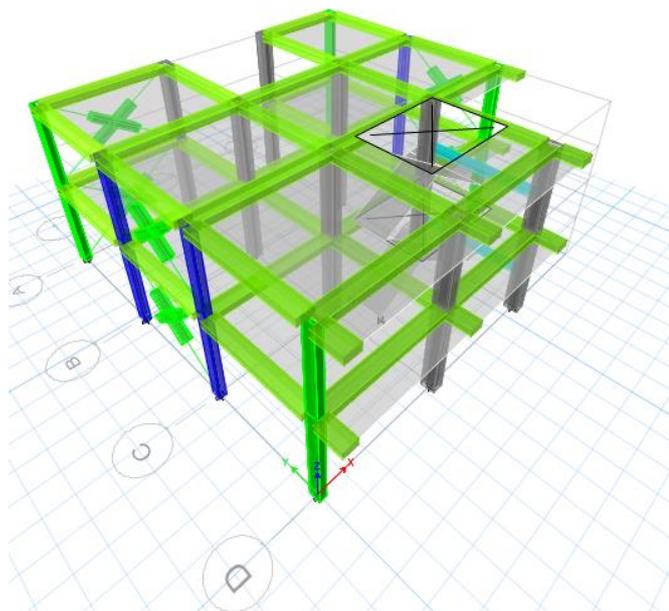


Figura 122. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Chango Rafael.

Fuente: (ETABS , 2016)

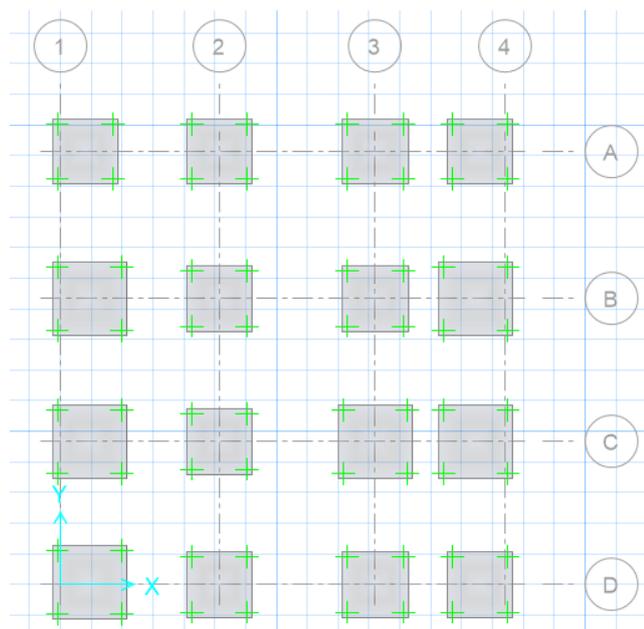


Figura 123. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Chango Rafael.

Fuente: (SAFE, 2016)

- **Vivienda Sra. Palaquibay Luzmila.**

La vivienda de la Sra. Palaquibay Luzmila se ha reforzado utilizando enchapado de mampostería con espesor de 3 cm y malla tipo U-335 según la Figura 105, encamisado con fibra de carbono CFRP y adición de perfiles metálicos bajo vigas de hormigón. Las vigas reforzadas son las que cuentan con mayor luz libre en ambos sentidos. Para el reforzamiento se ha considerado implementar 2 láminas de CFRP (Sika Wrap 600C) en el encamisado de columnas y perfiles IPN 160. En cuanto a la cimentación se presenta el modelo con la ampliación de las zapatas aisladas a secciones que cumplan con las solicitaciones de la vivienda una vez reforzada.

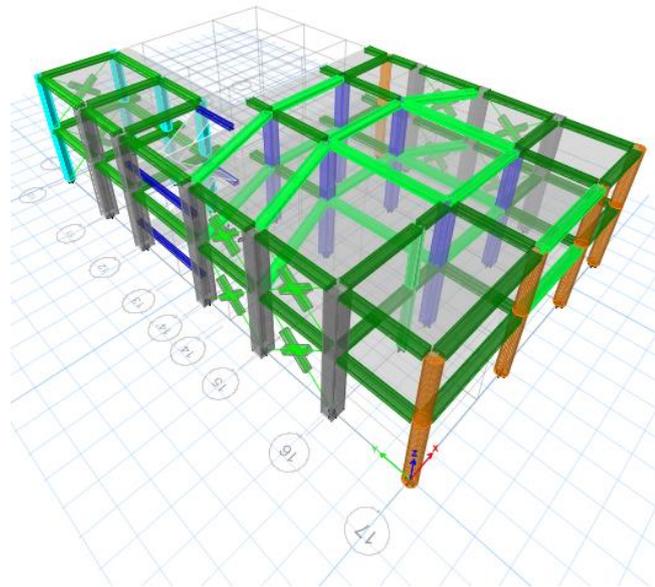


Figura 124. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sra. Palaquibay Luzmila.

Fuente: (ETABS , 2016)

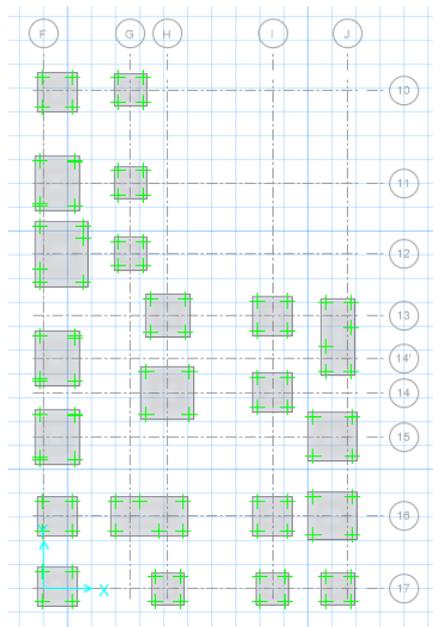


Figura 125. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sra. Palaquibay Luzmila.

Fuente: (SAFE, 2016)

- **Vivienda Sr. Rodríguez José.**

La vivienda del Sr. Rodríguez José se ha reforzado utilizando enchapado de mampostería con espesor de 3 cm y malla tipo U-335 según la Figura 105, encamisado con fibra de carbono CFRP y adición de láminas de fibra de carbono CFRP bajo vigas de hormigón. Las vigas reforzadas son las que cuentan con mayor luz libre en ambos sentidos. Para el reforzamiento se ha considerado implementar 2 láminas de CFRP (Sika Wrap 600C) en el encamisado de columnas y 4 láminas consecutivas (juntas) de Sika Carbodur para el reforzamiento de vigas dando un área de laminado de 240 mm^2 ($200 \times 1.2 \text{ mm}$). En cuanto a la cimentación se presenta el modelo con la ampliación de las zapatas aisladas a secciones que cumplan con las solicitaciones de la vivienda una vez reforzada.

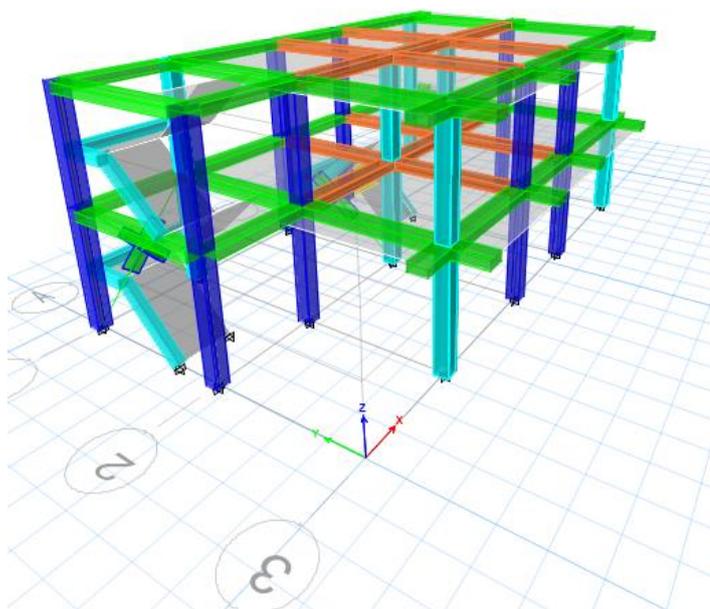


Figura 126. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Rodríguez José.

Fuente: (ETABS , 2016)

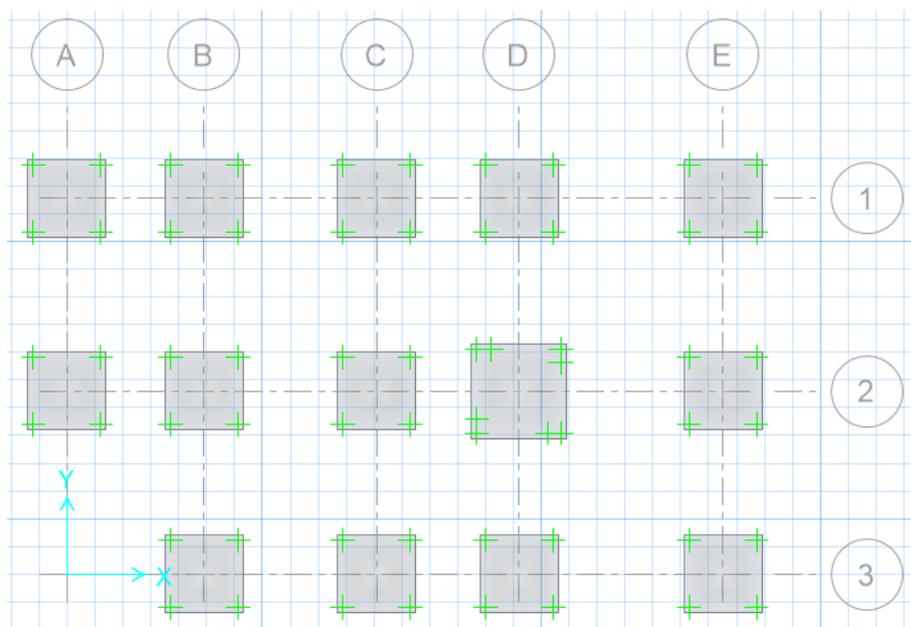


Figura 127. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Rodríguez José.

Fuente: (SAFE, 2016)

- **Vivienda Sr. Mora Galo.**

La vivienda del Sr. Mora Galo se ha reforzado utilizando enchapado de mampostería con espesor de 3 cm y malla tipo U-335 según la Figura 105, encamisado con fibra de carbono CFRP y adición de láminas de fibra de carbono CFRP bajo vigas de hormigón. Las vigas reforzadas son las que cuentan con mayor luz libre en ambos sentidos. Para el reforzamiento se ha considerado implementar 5 láminas de CFRP (Sika Wrap 600C) en el encamisado de columnas y 4 láminas consecutivas (juntas) de Sika Carbodur para el reforzamiento de vigas dando un área de laminado de 240 mm^2 ($200 \times 1.2 \text{ mm}$). En cuanto a la cimentación se presenta el modelo con la ampliación de las zapatas aisladas a secciones que cumplan con las solicitaciones de la vivienda una vez reforzada.

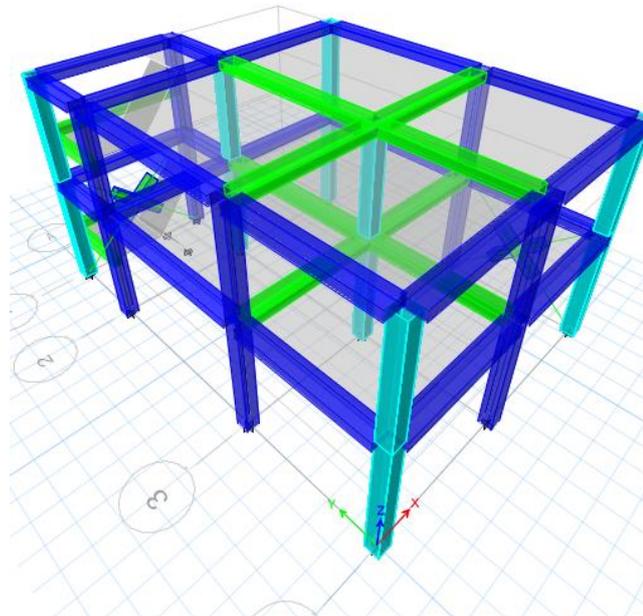


Figura 128. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Mora Galo.

Fuente: (ETABS , 2016)

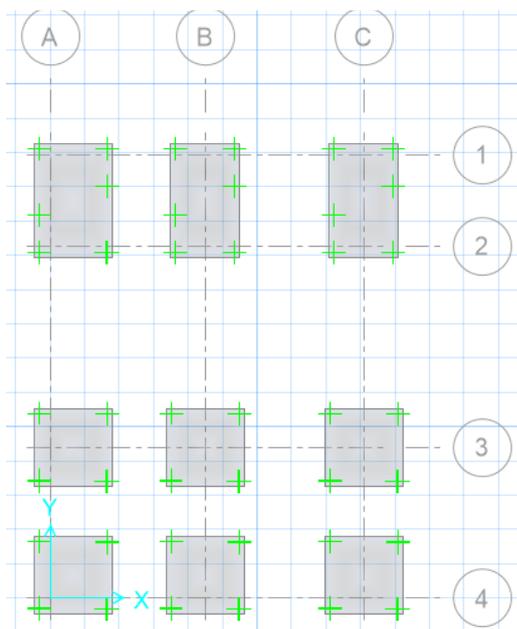


Figura 129. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Mora Galo.

Fuente: (SAFE, 2016)

- **Vivienda Sr. Chávez José.**

La vivienda del Sr. Chávez José se ha reforzado utilizando enchapado de mampostería con espesor de 3 cm y malla tipo U-335 según la Figura 105, encamisado con fibra de carbono CFRP y adición de láminas de fibra de carbono CFRP bajo vigas de hormigón. Las vigas reforzadas son las que cuentan con mayor luz libre en ambos sentidos. Para el reforzamiento se ha considerado implementar 5 láminas de CFRP (Sika Wrap 600C) en el encamisado de columnas y 8 láminas consecutivas (juntas) de Sika Carbodur para el reforzamiento de vigas dando un área de laminado de 480 mm^2 ($400 \times 1.2 \text{ mm}$). En cuanto a la cimentación se presenta el modelo con la ampliación de las zapatas aisladas a secciones que cumplan con las solicitaciones de la vivienda una vez reforzada.

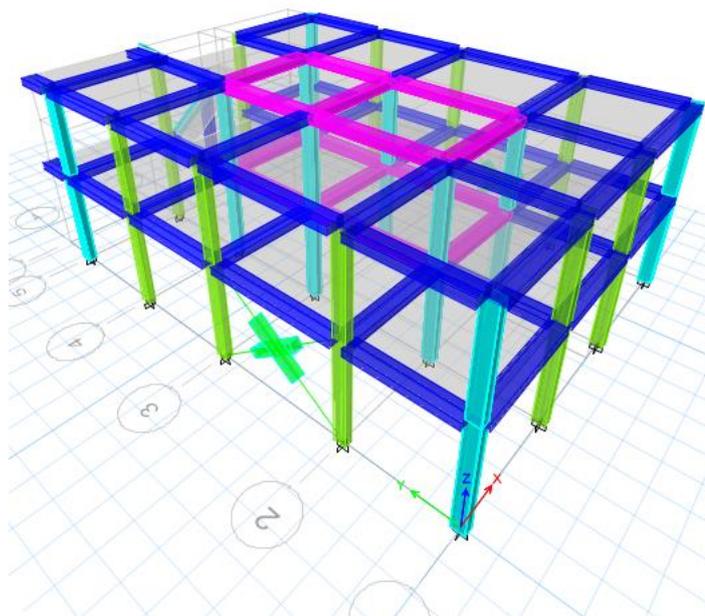


Figura 130. Modelo Matemático de la vivienda reforzada Sr. Chávez José.

Fuente: (ETABS , 2016)

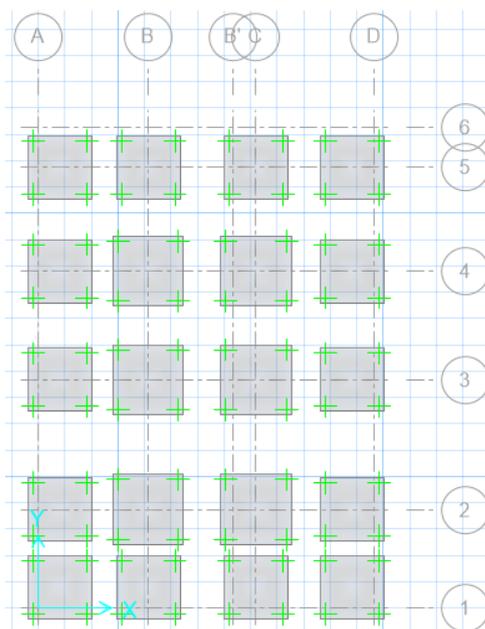


Figura 131. Modelo Matemático de la cimentación reforzada Sr. Chávez José.

Fuente: (SAFE, 2016)

5.3 Análisis de Resultados

Al igual que el Capítulo 3 se mostrarán los resultados del análisis en el rango lineal de las viviendas, es decir, derivas inelásticas de piso conjuntamente con la repartición modal (ver Anexo 6), expuestos en la Tabla 35. Se visualiza además que las derivas de piso en los dos sentidos de cada una de las viviendas en análisis se encuentran bajo el valor máximo del 2% permitido por la NEC – 15, los valores producto de este análisis están comprendidos entre 0,3 y 1,73% así como también la ausencia de torsión en planta en cada una de ellas.

Es necesario notar que en tres de las viviendas de dos pisos (Mora, Rodríguez, Palaquibay) las derivas inelásticas se encontraban menores al 2% en el primer análisis, es por este motivo que los valores después del reforzamiento se encuentran bajos, incluso menores al 1%. A pesar de cumplir con derivas inelásticas en el primer análisis, estas estructuras tenían problemas en el rango no lineal, es por eso que fueron sometidas al análisis con reforzamientos.

Como se mencionó también en el Capítulo 3 el punto principal es mostrar los resultados obtenidos después de realizar los modelos en el rango no lineal (estático y dinámico), sin embargo se cree conveniente mostrar de manera rápida los resultados del análisis en el rango lineal muy comúnmente realizado en nuestro medio.

Tabla 35.

Resultado del análisis lineal de viviendas reforzadas.

Proyecto	Deriva Inelástica X (%)	Deriva Inelástica Y (%)	Torsión en Planta
Carrasco	1,73	0,4	Sin Torsión en planta
Bonifaz	1,02	0,9	Sin Torsión en planta
Chicaiza	1,15	0,8	Sin Torsión en planta
Flores	1,62	1,3	Sin Torsión en planta
Yupanqui	1,01	1,1	Sin Torsión en planta
Chávez	1,51	1	Sin Torsión en planta



Mora	0,81	0,62	Sin Torsión en planta
Rodríguez	0,42	0,7	Sin Torsión en planta
Palaquibay	0,24	0,3	Sin Torsión en planta
Chango	1,1	0,4	Sin Torsión en planta

Fuente: (ETABS , 2016)

5.3.1 Estructuras de tres pisos.

En la Figura 132 se muestra la comparación entre las curvas de capacidad de cada modelo, antes y después del reforzamiento. La curva de color azul muestra el comportamiento de la estructura en el primer análisis sin reforzamientos, mientras que la curva de color naranja muestra el comportamiento de la misma después de ser reforzada. Se pueden visualizar de manera general en todas que ha existido un incremento en su capacidad resistente, es decir, las viviendas después de reforzadas son capaces de resistir mayores solicitaciones de cortante en la base, este comportamiento se ha logrado conjuntamente con menores desplazamientos en 4 de las 5 viviendas, en conclusión estas estructuras se han vuelto menos flexibles.

La vivienda del Sr. Carrasco posee desplazamientos semejantes a los iniciales debido a que por limitaciones arquitectónicas no se ha podido colocar los reforzamientos de manera óptima.

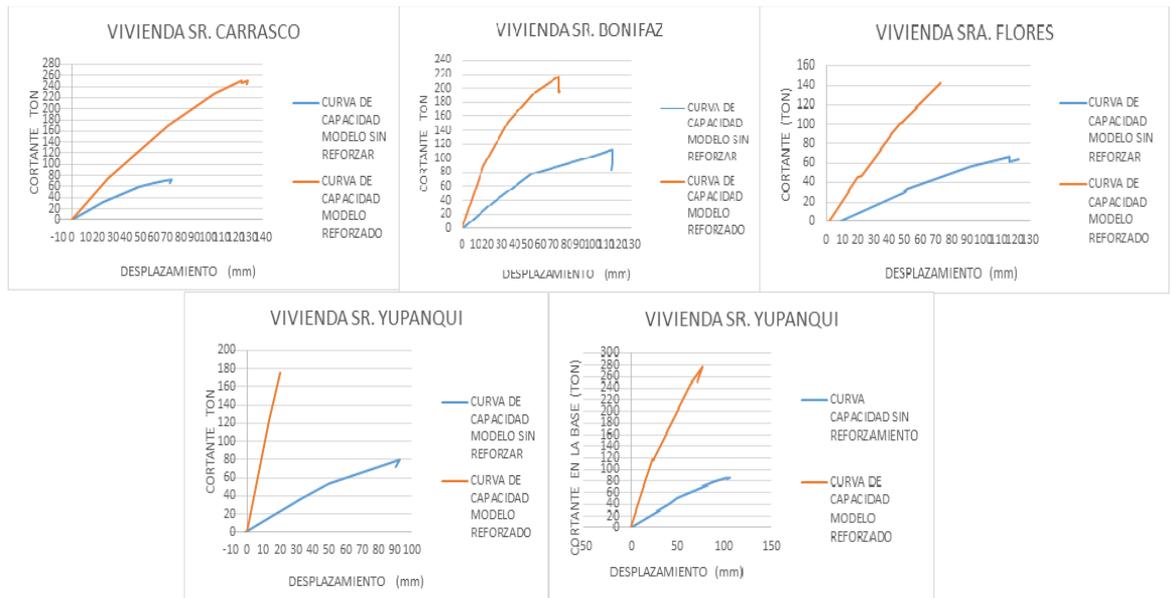


Figura 132. Curvas de Capacidad modelos reforzados. Viviendas 3 pisos.

Fuente: (ETABS , 2016)

Con la ayuda del programa computacional Etabs se ha calculado los parámetros correspondientes al punto de fluencia (Δy , V_y), así como también la ductilidad del sistema. Estos resultados se muestran en la Tabla 36

Tabla 36.

Parámetros calculados del proceso de Bilinearización de viviendas de tres pisos después del reforzamiento.

	R Elástico	V_y (Ton)	V_s (Ton)	V_e (Ton)	D_y (m)	D_s (m)
Carrasco	5	99,66	61,59	307,95	0,034	0,02156
	D_u (m)	$R \Omega$	$R \mu$	R	μ	R R
	0,105	1,61	3,09	5	3,08	1
Bonifaz	R Elástico	V_y (Ton)	V_s (Ton)	V_e (Ton)	D_y (m)	D_s (m)
	5	176,46	90,81	454,05	0,0351	0,018
	D_u (m)	$R \Omega$	$R \mu$	R	μ	R R
	0,075	1,94	2,57	5	2,13	1
Chicaiza	R Elástico	V_y (Ton)	V_s (Ton)	V_e (Ton)	D_y (m)	D_s (m)
	5	109,2	66,44	332,2	0,0198	0,012
	D_u (m)	$R \Omega$	$R \mu$	R	μ	R R
	0,061	1,64	3,04	5	3,08	1



	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
Flores	5	65,23	61,02	305,1	0,0286	0,007
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,07321	1,06	4,67	5	2,55	1
	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
Yupanqui	5	123,48	104,4	522	0,0135	0,0114
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,025	1,18	4,22	5	1,85	1

El valor del cortante de fluencia (V_y), en cada uno de los modelos es ahora mayor al cortante de diseño (V_s), es decir, se ha invertido el comportamiento inicial de estas viviendas mostradas en el Capítulo 3. De esta manera se puede asegurar que las rótulas plásticas en estas viviendas se presentan posterior a resistir las solicitaciones sísmicas mínimas impuestas por la norma vigente. Se visualiza también la disminución del valor de desplazamiento último obtenido mediante el análisis pushover, lo cual determina a su vez la reducción de flexibilidad de las mismas.

Es importante hacer mención a la ductilidad del sistema, y comparar a su vez los resultados obtenidos en los diferentes modelos antes y después del reforzamiento y como parámetro de control se ha tomado lo expresado en (Moehle, 2015) acerca del rango de ductilidad apropiado para estructuras de concreto reforzado. En la Tabla 37 se muestran los resultados de ductilidad de las viviendas de tres pisos antes y después de su reforzamiento.

Tabla 37.

Ductilidad del Sistema Antes y después de reforzamiento. Viviendas de tres pisos.

Vivienda	Valores de Ductilidad (μ)	
	Sin Reforzamiento	Con Reforzamiento
Carrasco	2,32	3,09
Bonifaz	4,8	2,14
Chicaiza	2,6	3,08
Flores	2,48	2,56



Yupanqui 10,85 1,85

(Moehle, 2015) determina un rango de ductilidad apropiada entre 1.7 y 3.2, los valores mostrados en la Tabla 37 indican que todas las viviendas después de ser reforzadas se encuentran dentro de este rango, mientras que dos de las mismas inicialmente no cumplían con este parámetro.

El objetivo principal del análisis estático no lineal en este capítulo es el de controlar que la vivienda sea capaz de resistir fuerzas de diseño antes de que sus elementos estructurales comiencen la fluencia ($V_s < V_y$) y como segundo punto determinar una ductilidad adecuada al sistema. Es necesario recalcar que aunque la ductilidad de tres viviendas en el análisis inicial (sin reforzamiento) se encuentran dentro de los parámetros no se cumplía con la condición inicial ($V_s < V_y$), por este motivo se hace necesario el reforzamiento.

Los valores mostrados en la Tabla 37 indican que las estructuras después del reforzamiento cumplen con los dos parámetros mencionados en párrafos anteriores ($V_s < V_y$, y que $1.7 \leq \mu \leq 3.2$).

Otro punto importante del análisis es la determinación del punto de desempeño de las estructuras, para lo cual los valores obtenidos del análisis se muestran en la Tabla 38 y su explicación después de la misma.

Tabla 38.

Ubicación del punto de desempeño de las viviendas de 3 pisos, antes y después del reforzamiento.

Proyecto	MODELO REFORZADO		MODELO NO REFORZADO	
	Sd (m)	Sa (g)	Sd (m)	Sa (g)
Carrasco	0,075	1,19	0,1523	1,04
Bonifaz	0,0531	1,19	0,149	1,11
Chicaiza	0,031	1,19	0,149	1,12
Flores	0,017	1,19	0,156	0,95
Yupanqui	0,0335	1,19	0,162	0,84

Fuente: (ETABS , 2016)

La Tabla 38 muestra la diferencia en la ubicación del punto de desempeño de las viviendas, antes y después de ser reforzadas. Los cinco modelos antes del reforzamiento tienen aceleraciones espectrales (S_a) inferiores a 1.19, es decir su aceleración recae bajo la meseta de aceleraciones del espectro de aceleraciones elástico especificado por la NEC – 15 con desplazamientos altos para una vivienda de tres pisos de altura.

Las viviendas de tres pisos deberían tener un período pequeño (dentro del rango de T_o y T_c), sin embargo se aprecia que en el primer análisis el período de las estructuras es superior a T_c ($T_c = 0,68$ segundos), mientras que después del reforzamiento se cumple con este parámetro y el período fundamental se encuentra entre T_o y T_c . Esto se detalla en la Figura 133.

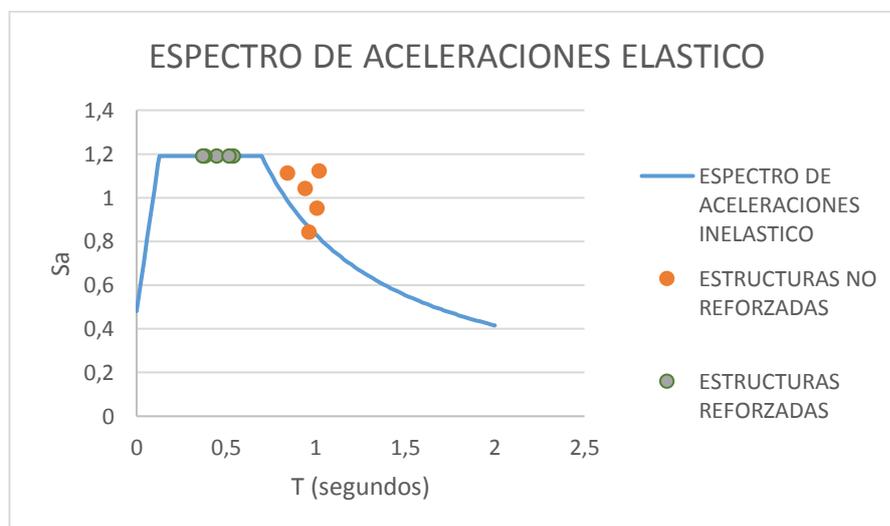


Figura 133. Ubicación de períodos fundamentales de las viviendas de tres pisos antes y después del reforzamiento.

Mediante esta comparación se concluye que las estructuras en su condición inicial (sin reforzamientos) tienen un período fundamental alto con relación a su altura, dicho de otra manera estas estructuras son muy flexibles e incluso sus desplazamientos espectrales (o esperados ante el sismo, S_d) son elevados; condición que cambia después de reforzadas, por lo tanto los reforzamientos cumplen con el objetivo de mejorar el comportamiento estructural de estas edificaciones.

5.3.2 Estructuras de dos pisos.

En la Figura 134 se muestra la comparación entre las curvas de capacidad de cada modelo, antes y después del reforzamiento. La curva de color azul muestra el comportamiento de la estructura en el primer análisis sin reforzamientos, mientras que la curva de color naranja muestra el comportamiento de la misma después de ser reforzada. Se pueden visualizar de manera general en todas que ha existido un incremento en su capacidad resistente, es decir, las viviendas después de reforzadas son capaces de resistir mayores solicitaciones de cortante en la base, este comportamiento se ha logrado conjuntamente con menores desplazamientos, en conclusión estas estructuras se han vuelto menos flexibles.

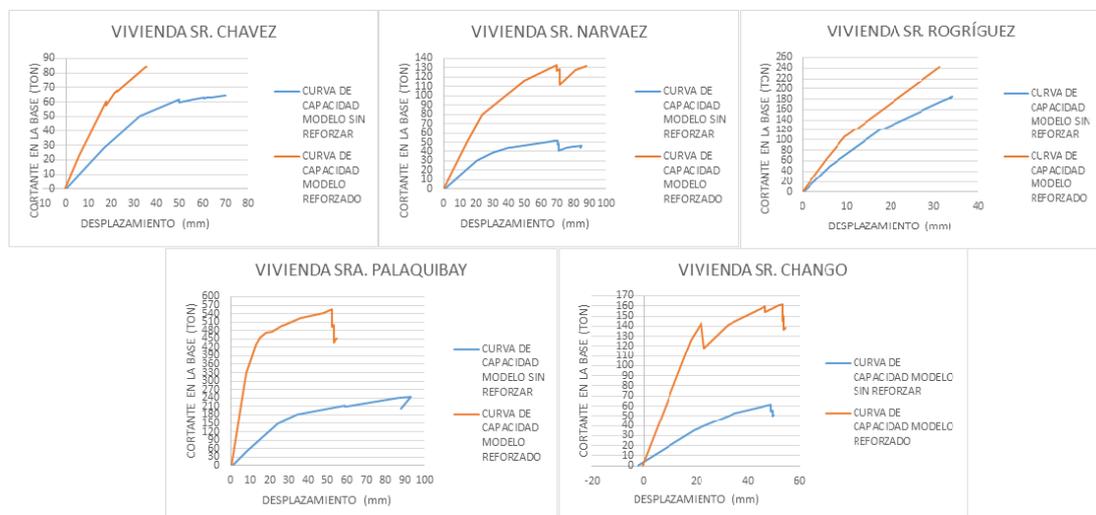


Figura 134. Curvas de Capacidad modelos reforzados. Viviendas 2 pisos.

Fuente: (ETABS , 2016)

Con la ayuda del programa computacional Etabs se ha calculado los parámetros correspondientes al punto de fluencia (Δ_y , V_y), así como también la ductilidad del sistema. Estos resultados se muestran en la Tabla 39.

Tabla 39.

Parámetros calculados del proceso de Bilinealización de viviendas de dos pisos después del reforzamiento.

	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
Chávez	5	57,29	45,12	225,6	0,0159	0,013
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,035	1,27	3,94	5	2,20	1
Mora	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
	5	71,31	23,5	117,5	0,0217	0,0072
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
Rodríguez	0,0692	3,03	1,65	5	3,19	1
	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
	5	89,24	26,35	131,75	0,0095	0,0028
Palaquibay	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,03017	3,39	1,48	5	3,18	1
	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
Chango	5	328,3	95,93	479,65	0,0079	0,0023
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,0522	3,42	1,46	5	6,61	1
Chango	R Elástico	Vy (Ton)	Vs (Ton)	Ve (Ton)	Dy (m)	Ds (m)
	5	145,1	36,73	183,65	0,0207	0,005
	Du (m)	R Ω	R μ	R	μ	R R
	0,0544	3,95	1,27	5	2,63	1

El valor del cortante de fluencia (V_y), en cada uno de los modelos es ahora mayor al cortante de diseño (V_s), es decir, se ha invertido el comportamiento inicial de estas viviendas mostradas en el Capítulo 3. De esta manera se puede asegurar que las rótulas plásticas en estas viviendas se presentan posterior a resistir las solicitaciones sísmicas mínimas impuestas por la norma vigente. Se visualiza también la disminución del valor de desplazamiento último obtenido mediante el análisis pushover, lo cual determina a su vez la reducción de flexibilidad de las mismas.

En la Tabla 40 se muestra lo referente a la ductilidad del sistema, con la consideración que en 4 de estas viviendas se obtuvo ductilidades dentro de los rangos sugeridos. La vivienda de la Sra. Palaquibay debido a limitaciones

arquitectónicas no obtuvo un valor de ductilidad apropiado; planteando la idea de que este tipo de viviendas posee problemas desde su configuración arquitectónica lo cual repercute profundamente en su comportamiento estructural.

Tabla 40.

Ductilidad del Sistema Antes y después de reforzamiento. Viviendas de dos pisos.

Vivienda	Valores de Ductilidad (μ)	
	Sin Reforzamiento	Con Reforzamiento
Chávez	4,13	2,20
Mora	4,15	3,19
Rodríguez	5,58	3,18
Palaquibay	10,33	6,61
Chango	2,62	2,63

La Tabla 40 muestra que 4 de las 5 viviendas cumplen con la ductilidad sugerida después del reforzamiento ($1.7 \leq \mu \leq 3.2$), por lo cual se considera que la combinación de refuerzos de encamisado con fibra de carbono y enchapado funcionan de manera efectiva para esta clase de viviendas. No hay que dejar de lado la posibilidad de realizar un encamisado con hormigón si las condiciones del proyecto lo amerita, decisión que queda a criterio del profesional responsable del reforzamiento.

Otro punto importante del análisis es la determinación del punto de desempeño de las estructuras, para lo cual los valores obtenidos del análisis se muestran en la Tabla 41. Se muestra en la tabla en mención que las aceleraciones espectrales (S_a) tienen el mismo valor esperado (1.19) antes y después del reforzamiento, como consecuencia del reforzamiento se ha reducido el desplazamiento espectral (S_d) en aproximadamente el 40% mejorando de esta manera el comportamiento de las viviendas ante el sismo de esperado según normativa.

Tabla 41.

Ubicación del punto de desempeño de las viviendas de 2 pisos, antes y después del reforzamiento.

Proyecto	MODELO REFORZADO		MODELO NO REFORZADO	
	Sd (m)	Sa (g)	Sd (m)	Sa (g)
Chávez	0,0362	1,19	0,0642	1,19
Mora	0,0186	1,19	0,0414	1,19
Rodríguez	0,0077	1,19	0,0146	1,19
Palaquibay	0,00841	1,19	0,0468	1,19
Chango	0,0184	1,19	0,086	1,19

Para el análisis dinámico no lineal (Time – History) se ha considerado utilizar la misma metodología expuesta en el Capítulo 3, mediante los tres acelerogramas mencionados (MNT, PED, APO1), registros de Manta, Pedernales y Portoviejo que han permitido obtener gráficas de Tiempo vs Desplazamiento de diversos nudos. Estos resultados se utilizaron para calcular la irregularidad torsional como especifica la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su apartado de Peligro Sísmico.

Las Figuras 135 y 136 muestran los resultados de los cálculos efectuados para cada modelo en los dos sentidos de análisis, para evaluar la irregularidad torsional. Estos resultados se pueden contrastar con lo especificado en la Tabla 35 en donde a través del análisis lineal elástico se determinó la torsión en planta por medio de los modos de vibración.

ANÁLISIS EN SENTIDO X												
PROYECTO	ACELEROGRAMA TH ESTACION AMNT (MANTA)				ACELEROGRAMA TH ESTACION APED (PEDERNALES)				ACELEROGRAMA TH ESTACION APO1 (PORTOVIEJO)			
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$
CARRASCO	3,92E-05	3,92E-05	3,92E-05	Sin Torsión	3,92E-05	3,92E-05	3,92E-05	Sin Torsión	3,92E-05	3,92E-05	3,92E-05	Sin Torsión
BONIFAZ	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	Sin Torsión	2,78E-04	3,17E-04	3,17E-04	Sin Torsión	1,98E-04	1,98E-04	1,98E-04	Sin Torsión
CHICAIZA	5,91E-04	6,69E-04	6,69E-04	Sin Torsión	6,69E-04	6,69E-04	6,69E-04	Sin Torsión	4,33E-04	4,33E-04	4,33E-04	Sin Torsión
FLORES	1,38E-03	1,42E-03	1,42E-03	Sin Torsión	1,55E-03	1,55E-03	1,55E-03	Sin Torsión	1,59E-03	1,59E-03	1,59E-03	Sin Torsión
YUPANQUI	4,12E-04	4,94E-04	4,94E-04	Sin Torsión	3,70E-04	4,53E-04	4,53E-04	Sin Torsión	2,88E-04	3,29E-04	3,29E-04	Sin Torsión
CHÁVEZ	1,12E-03	7,60E-04	1,12E-03	Sin Torsión	1,16E-03	8,40E-04	1,16E-03	Sin Torsión	4,80E-04	4,40E-04	4,80E-04	Sin Torsión
MORA	1,18E-04	7,87E-05	1,18E-04	Sin Torsión	7,87E-05	7,87E-05	7,87E-05	Sin Torsión	3,94E-04	3,94E-04	3,94E-04	Sin Torsión
PALAUQUIBAY	1,04E-04	1,04E-04	1,04E-04	Sin Torsión	1,18E-04	1,04E-04	1,18E-04	Sin Torsión	4,51E-05	4,86E-05	4,86E-05	Sin Torsión
RODRIGUEZ	3,02E-04	2,26E-04	3,02E-04	Sin Torsión	4,13E-04	3,37E-04	4,13E-04	Sin Torsión	1,98E-04	1,39E-04	1,98E-04	Sin Torsión
CHANGO	4,80E-04	4,68E-04	4,80E-04	Sin Torsión	5,16E-04	5,24E-04	5,24E-04	Sin Torsión	2,38E-04	2,50E-04	2,50E-04	Sin Torsión

Figura 135. Resultados del cálculo de Irregularidad Torsional en sentido X. Viviendas Reforzadas

Fuente: (ETABS , 2016)

ANÁLISIS EN SENTIDO Y												
PROYECTO	ACELEROGRAMA TH ESTACION AMNT (MANTA)				ACELEROGRAMA TH ESTACION APED (PEDERNALES)				ACELEROGRAMA TH ESTACION APO1 (PORTOVIEJO)			
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta \max$	$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$
CARRASCO	7,84E-05	7,84E-05	7,84E-05	Sin Torsión	7,84E-05	7,84E-05	7,84E-05	Sin Torsión	3,92E-05	3,92E-05	3,92E-05	Sin Torsión
BONIFAZ	1,19E-04	1,19E-04	1,19E-04	Sin Torsión	7,94E-05	7,94E-05	7,94E-05	Sin Torsión	3,97E-05	3,97E-05	3,97E-05	Sin Torsión
CHICAIZA	6,69E-04	7,09E-04	7,09E-04	Sin Torsión	5,91E-04	5,91E-04	5,91E-04	Sin Torsión	3,54E-04	3,15E-04	3,54E-04	Sin Torsión
FLORES	2,59E-04	3,02E-04	3,02E-04	Sin Torsión	3,45E-04	3,58E-04	3,58E-04	Sin Torsión	1,51E-04	1,47E-04	1,51E-04	Sin Torsión
YUPANQUI	3,29E-04	3,29E-04	3,29E-04	Sin Torsión	2,88E-04	3,29E-04	3,29E-04	Sin Torsión	1,65E-04	2,06E-04	2,06E-04	Sin Torsión
CHÁVEZ	1,28E-03	9,60E-04	1,28E-03	Sin Torsión	1,08E-03	1,44E-03	1,44E-03	Sin Torsión	5,20E-04	5,20E-04	5,20E-04	Sin Torsión
MORA	5,91E-04	4,72E-04	5,91E-04	Sin Torsión	6,10E-04	5,31E-04	6,10E-04	Sin Torsión	1,85E-04	1,81E-04	1,85E-04	Sin Torsión
PALAUQUIBAY	1,39E-04	1,39E-04	1,39E-04	Sin Torsión	1,49E-04	1,49E-04	1,49E-04	Sin Torsión	5,90E-05	5,90E-05	5,90E-05	Sin Torsión
RODRIGUEZ	7,50E-04	5,91E-04	7,50E-04	Sin Torsión	7,70E-04	6,11E-04	7,70E-04	Sin Torsión	3,77E-04	2,58E-04	3,77E-04	Sin Torsión
CHANGO	3,41E-04	3,45E-04	3,45E-04	Sin Torsión	3,93E-04	3,69E-04	3,93E-04	Sin Torsión	1,59E-04	1,59E-04	1,59E-04	Sin Torsión

Figura 136. Resultados del cálculo de Irregularidad Torsional en sentido Y. Viviendas Reforzadas

Fuente: (ETABS , 2016)

Se observa que en las 10 viviendas coinciden los resultados de los dos análisis, traduciéndose en el 100% de similitud entre los mismos. De esta manera se evalúan los desplazamientos reales de la estructura a través de tres acelerogramas registrados, lo cual constituye un análisis mucho más detallado debido a que se toma en consideración las propiedades mecánicas de los materiales y su comportamiento.

A manera de resumen, en todas las viviendas de dos pisos de altura fueron reforzadas utilizando principalmente fibras de carbono para el encamisado de columnas conjuntamente con mampostería enchapada. Esto se ha realizado con el objetivo de comparar de cierta manera la efectividad de estos reforzamientos en las estructuras.

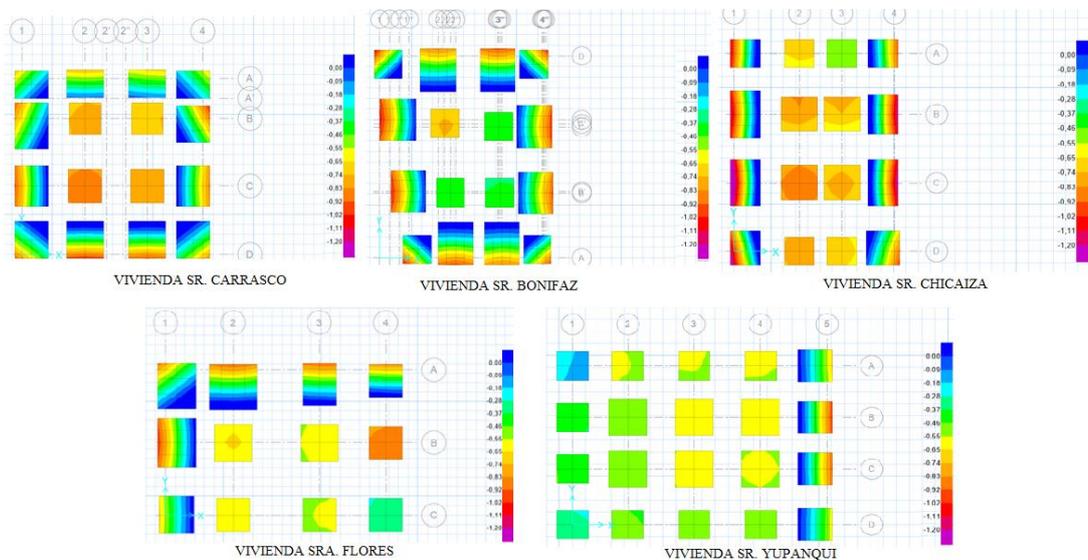
En relación al encamisado de columnas, de manera a priori, se visualiza que las viviendas de tres pisos requieren mayormente un encamisado mediante recrido de hormigón y las de dos pisos funcionan con un encamisado mediante fibras de carbono. Como se mencionó en el Capítulo 4 el reforzamiento con fibras de carbono es recomendable hasta un cierto límite, motivo por el cual se ha implementado mayormente en las viviendas de dos pisos. Estas suposiciones están sujetas a varios factores que dependen desde la configuración arquitectónica del proyecto, hasta la sección y armado de sus elementos estructurales.

Los reforzamientos planteados para las viviendas han determinado un mejor comportamiento estructural haciendo que las mismas cumplan con premisas estipuladas en la normativa. Se da a su vez como válido lo expuesto en este trabajo investigativo, empezando por el formato de evaluación rápida, la sugerencia de reforzamientos, el análisis de viviendas sin reforzamiento, el diseño de reforzamientos, y por supuesto los resultados obtenidos del análisis después del reforzamiento planteado; basado todo en resultados y tablas expuestas a lo largo de los capítulos desarrollados.

- **Refuerzo en Cimentación**

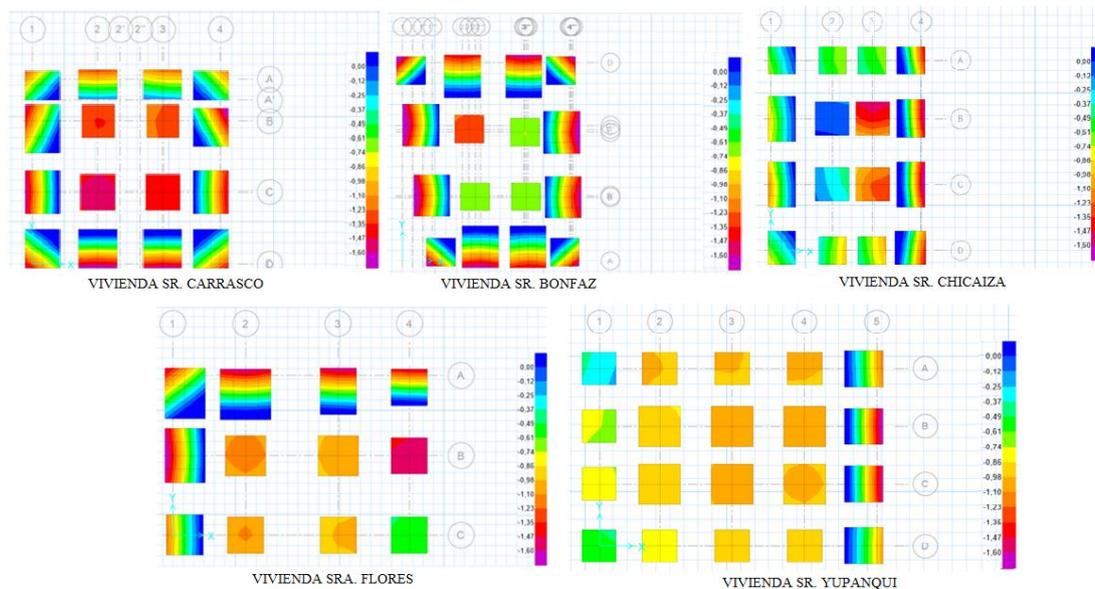
Para los análisis de la cimentación se ha considerado la ampliación de zapatas según limitaciones arquitectónicas, teniendo en muchos casos que combinar dos zapatas en una sola. Para el diseño de las mismas se ha considerado la utilización del programa SAFE 2016 así como se realizó en el Capítulo 3.

Los resultados se visualizan: en las Figuras 137 y 139 para las viviendas de tres y dos pisos analizadas bajo la combinación de carga 1.2 D + 1.6 L, y en las Figuras 138 y 140 bajo la combinación 1.2 D + 1.6 L + Sismo.



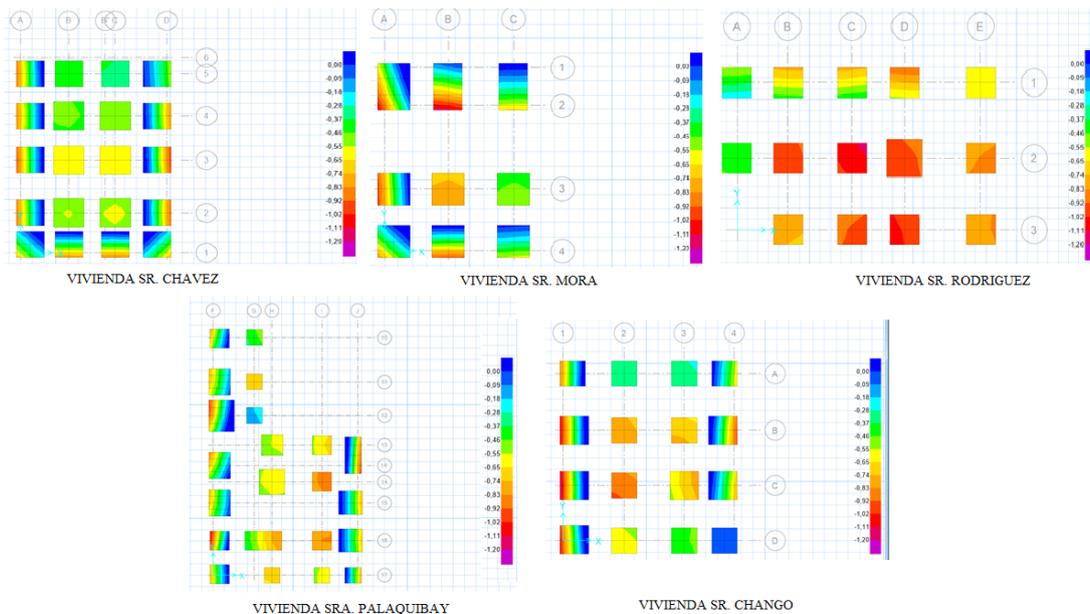
**Figura 137. Esfuerzos en Cimentación, después de su refuerzo.
Combinación 1.2 D + 1.6 L. Viviendas 3 pisos.**

Fuente: (SAFE, 2016)



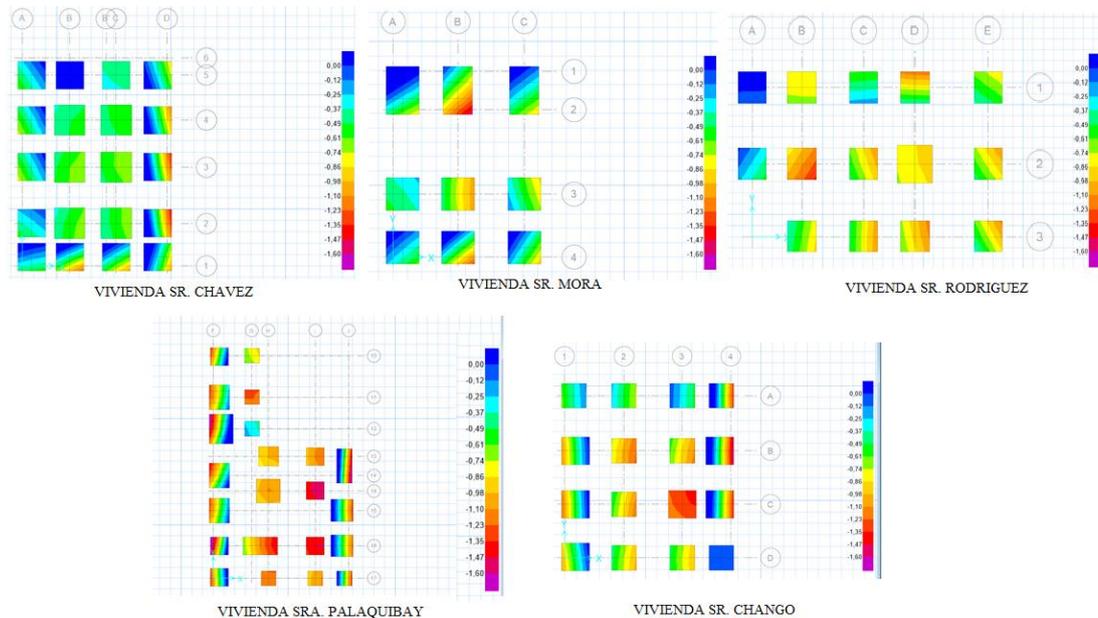
**Figura 138. Esfuerzos en Cimentación, después de su refuerzo.
Combinación 1.2 D + 1.6 L + Sismo. Viviendas 3 pisos.**

Fuente: (SAFE, 2016)



**Figura 139. Esfuerzos en Cimentación, después de su refuerzo.
Combinación 1.2 D + 1.6 L. Viviendas 2 pisos.**

Fuente: (SAFE, 2016)



**Figura 140. Esfuerzos en Cimentación, después de su refuerzo.
Combinación 1.2 D + 1.6 L + Sismo. Viviendas 2 pisos.**

Fuente: (SAFE, 2016)

Se puede observar que el incremento de la sección en la cimentación permite soportar de manera adecuada las solicitaciones a las mismas, determinando el buen funcionamiento del mismo por medio de las gráficas obtenidas del programa computacional mencionado.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El Ecuador es un país con peligro sísmico alto haciendo del riesgo una condición latente en el diario vivir de la población.
- En Quito, que siendo una de las grandes ciudades del país, sus viviendas presentan muchos problemas de vulnerabilidad debido a dos factores importantes: la informalidad en las construcciones y el asentamiento de viviendas en zonas poco seguras o de riesgo no mitigable.
- Los estudios de microzonificación sísmica y otros semejantes, cuyo objetivo es brindar una idea de la susceptibilidad de la ciudad, son muy valiosos y muestran indicios de promover una cultura investigativa sobre la realidad de la urbe.
- Es indispensable conocer los diferentes estudios sobre la vulnerabilidad de viviendas realizadas en países vecinos y de la región en general, con el objetivo de adoptar, mejorar e implantar dichas metodologías a nuestra realidad.
- Los 5 estudios de microzonificación sísmica realizados en la ciudad brindan una idea clara sobre la clasificación y condición de nuestros suelos, parámetros que deberían ser considerados como mandatorios para el diseño de cimentaciones y asentamiento de grupos humanos en ciertos sectores.
- La evaluación por parte del South America Risk Assessment (SARA) depende directamente de la información censal levantada en cada región de estudio, es por eso que los resultados obtenidos del mismo están sujetos a una actualización para adaptarlos al contexto presente.
- Los resultados de SARA en Quito deberán ser replicados en otras ciudades y provincias del país, cuando los mismos sean publicados en su página oficial, con el objetivo de realizar un mapeo general a nivel

país y estimar principalmente la vulnerabilidad y pérdidas económicas a causa de un evento telúrico.

- Según el promedio de pérdidas anuales (AAL) del estudio SARA, Ecuador y Chile son los países de la región más afectados ante eventos sísmicos debido a su alto valor de aceleraciones pico del suelo (PGA); 0.4 g en Quito, 0.5 g en Guayaquil y 0.3 g en Santiago respectivamente.
- La evaluación holística propuesta por SARA y basada en la metodología de GEM permite evaluar de manera integral el riesgo tomando como parámetros de evaluación temas referentes a exposición física, estimación de pérdidas, vulnerabilidad social y resiliencia, etc. Esta evaluación se considera dentro del análisis de este trabajo investigativo por ser compleja y amplia.
- Según los valores expuestos por la metodología SARA en Ecuador, las estructuras aporricadas son aproximadamente el 7% de la muestra total de las viviendas estudiadas. Este porcentaje indica un amplio número de estructuras en potencial riesgo ante eventos telúricos, el mismo que ha impulsado la necesidad del desarrollo del presente trabajo investigativo.
- Las ciudades estudiadas como escenarios del proyecto SARA tienen realidades socio económicas diferentes, lo que permitirá fortalecer el análisis, ampliarlo, adaptarlo y difundirlo en el país, al contar con más herramientas e información.
- Según valores promedio de habitantes por vivienda (3.8 personas) otorgado por el estudio SARA, se estima que ante la informalidad del 60% de las construcciones de la ciudad, las personas afectadas por los eventos sísmicos serían de alrededor de 1'140.000, lo que representa el 38% de la población de la capital.
- El sistema de fallas de Quito (QFS) no es la única amenaza potencial ante un evento telúrico en la ciudad, determinándose que el sismo de mayor magnitud en la urbe sería ocasionado por el sistema de fallas de Guayllabamba (GFS).

- Magnitudes de sismos cercanas a 7 grados pueden suceder en la ciudad, razón por la cual se vuelve necesario contar con planes de evacuación, emergencia, y más que nada prevención, los mismos que permitan disminuir al mínimo las causalidades humanas.
- Problemas como torsión en planta, desplazamientos excesivos, derivas de piso fuera de normativa e irregularidades en planta y elevación fueron encontrados en las viviendas estudiadas, creando así un comportamiento ineficiente ante eventos sísmicos.
- Formatos de evaluación de vulnerabilidad como el ATC-20, y el CENAPRED de México permitieron realizar el Formato para Evaluación Rápida Estructural de Viviendas Informales, el mismo que considera necesario puntuar las características estructurales de las viviendas en análisis.
- Para evaluar el comportamiento de este tipo de estructuras es indispensable realizar un análisis en el rango no lineal estático y dinámico, de esta manera podremos conocer deficiencias estructurales importantes como flexibilidad, alta o baja ductilidad, torsión accidental y resistencia ante solicitaciones sísmicas mínimas.
- Las viviendas analizadas sin reforzamiento presentan problemas como derivas de piso mayores al 2%, torsión en planta, fluencia de sus elementos antes de resistir cargas de diseño y problemas de flexibilidad; haciendo de esta manera necesario un reforzamiento.
- Los cuadros de participación modal producto del análisis en el rango lineal y los que muestran la torsión accidental producto del análisis en el rango no lineal, poseen el 70 % de concordancia. Es decir 7 de las 10 viviendas presentan torsión en planta en los dos análisis. Estos resultados se obtienen del Capítulo 3, en donde las viviendas no se encuentran reforzadas.
- La mayoría de las zapatas existentes son insuficientes para soportar las solicitaciones previstas por la superestructura, necesitando del reforzamiento mediante el incremento de su sección.

- Es necesario realizar un análisis de las limitaciones arquitectónicas presentes en cada proyecto, ya que las mismas influyen en la disposición de los reforzamientos estructurales.
- El cálculo del reforzamiento mediante encamisado con hormigón debe ser realizado a través de diagramas de interacción biaxial, considerando los efectos de flexo compresión.
- El confinamiento de la nueva sección debe ser solventado mediante un espaciamiento corto y continuo a lo largo de toda su longitud, o un mayor espaciamiento considerando la posibilidad de incluir binchas intermedias por medio de la perforación del núcleo central.
- El cálculo del reforzamiento en columnas mediante fibras de carbono se realizó en dos etapas, la primera que constituye el dimensionamiento de la fibra a través del procedimiento mencionado en el ACI 440 y el análisis de resistencia de la sección como tal por medio de la opción section designer de Etabs.
- Las fibras de carbono se utilizaron en el reforzamiento de vigas para solventar problemas de flexión de las mismas debido a que el reforzamiento para solventar deficiencia de acero negativo constituye un estudio más profundo, debido a que se debería diseñar no solo el refuerzo de la viga, sino también el de la unión viga – columna.
- Los perfiles metálicos utilizados en los reforzamientos son de fácil comercialización en nuestro medio y a su vez de dimensiones estándar, lo que hace sencilla su aplicabilidad.
- El enchapado de mampostería necesita de una calibración en su modelo para utilizarlo en el rango no lineal, debido a que el modelo inicial presenta una alta rigidez con pocos desplazamientos y alta carga axial.
- Los diferentes modelos de la vivienda de la Sra. Flores permitieron concluir dos aspectos importantes del análisis: el primero la necesidad de lo mencionado en el punto anterior, es decir, la calibración del modelo de mampostería, y el segundo la necesidad de la combinación

de los reforzamientos de encamisado de columnas y enchapado de mampostería, validando así la hipótesis planteada en las sugerencias de reforzamiento tomando como base la puntuación del Formato para Evaluación Rápida Estructural de Viviendas Informales.

- Las viviendas después de ser reforzadas presentan parámetros adecuados de comportamiento sismo resistente, dando la idea de la efectividad de los reforzamientos planteados.

6.2 Recomendaciones

- Tomar como base el estudio expuesto por SARA, para evaluar la vulnerabilidad de sectores específicos de la ciudad, barrios o manzanas; lo cual serviría como planes pilotos y mayor experiencia de profesionales involucrados en el tema.
- Realizar estudios que permitan mejorar el Formato para Evaluación Rápida Estructural de Viviendas Informales, enfocándose a la evaluación holística mencionada por SARA.
- Utilizar materiales comercializados en nuestro medio para el diseño de los reforzamientos.
- Emplear las propiedades de materiales propias del país para realizar el dimensionamiento de las láminas de carbono, puesto que los valores en países vecinos difieren a los especificados en Sika Ecuador.
- Obtener mayor información acerca de modelos de mampostería, con el objetivo de realizar los diferentes análisis o modelos matemáticos en base a comportamientos basados en experimentación, puliendo así cada vez los resultados.
- Reforzar la estructura de tal manera que se consiga un parámetro de ductilidad adecuado ($1.7 \leq \mu \leq 3.2$) sugerido por la bibliografía citada en el texto.
- El presente trabajo permite conocer por medio de la guía de reforzamiento los procesos constructivos de reforzamientos, sin embargo sólo el cálculo de un profesional podrá determinar la cantidad, dimensionamiento y ubicación de los mismos.
- La guía de reforzamiento expuesta en el siguiente capítulo trata de ser una ayuda para el personal a cargo de realizar los reforzamientos, bajo ningún concepto la guía pretende sustituir el conocimiento, experiencia y cálculo de profesionales de la rama. En resumen un reforzamiento debe ser realizado bajo el cálculo confiable de un profesional y no en base a la experiencia del personal de construcción.

CAPÍTULO 7

GUÍA DE REFUERZO PARA ESTRUCTURAS APORTICADAS

7.1 Introducción

Ecuador es un país amenazado por eventos sísmicos debido a varias fuentes como procesos de subducción, actividad volcánica, movimiento de fallas activas, entre otras. De acuerdo a los registros de eventos sísmicos en el país, la zona costanera ha sido la más afectada por terremotos, entre los más severos se mencionan al movimiento telúrico ocurrido en Esmeraldas en 1906 con una magnitud de 8.8; Bahía de Caráquez en 1998 con magnitud 7.2 y el más reciente en Pedernales 16 de abril del 2016 con magnitud 7.8.

En la región de la sierra también se mencionan a sismos como el de Ambato en 1949 con magnitud 6.8; Quito a presenciado movimientos telúricos moderados con magnitudes que van desde 2.5 a 5 entre los años 2014 a 2017.

Por otro lado en nuestro país, específicamente en la ciudad de Quito prevalecen las construcciones informales, concentrándose este tipo de estructuras en las zonas periféricas de la urbe, debido a flujos migratorios en la década de los 80's y 90's provenientes de la parte sur y norte de la provincia, que consideraron a la capital como un territorio potencialmente económico.

A esto se suma los asentamientos en sitios vulnerables como: laderas pronunciadas, rellenos realizados de manera no técnica y quebradas; la falta de conocimiento y aplicabilidad de las normativas de construcción, la ausencia de intervención profesional y mano de obra calificada para la construcción. Factores que intensifican la vulnerabilidad sísmica e idealizan que Quito no estaría preparada para resistir un sismo provocado por su sistema de fallas activas (QFS), las mismas que han sido sujeto de investigaciones.

La rehabilitación de estructuras en las condiciones ya mencionadas cumpliría el objetivo de salvaguardar la integridad física de quien las habita, así como también de mejorar su comportamiento sísmico resistente.

El propósito de la guía es detallar el proceso constructivo de ciertos reforzamientos, basado en un análisis rápido de vulnerabilidad propuesto en el formato detallado a continuación. Los reforzamientos de las estructuras informales constituirían uno de los puntos principales que tendría la ordenanza en curso para obtener el reconocimiento legal por parte cabildo.

7.2 Necesidad del Reforzamiento de viviendas informales.

Ante la problemática citada en la introducción de esta guía es indispensable reforzar las viviendas con estas características de vulnerabilidad, puesto que un sismo de magnitudes considerables pondría en un riesgo potencial a cerca del 40% de la población total de la ciudad. Viviendas ampliadas en elevación sin ningún estudio estructural previo incrementan el peligro a sufrir consecuencias lamentables.

La nueva ordenanza en proceso determina una evaluación estructural antes del reconocimiento; reforzamientos y reubicación son las dos posibles alternativas de estas viviendas. Es aquí donde se ve la importancia de tener información del comportamiento y más que nada una metodología que permita tener una idea clara de los reforzamientos, su proceso constructivo y su diseño.

7.3 Formato para evaluación rápida estructural de viviendas informales.

El Formato para la evaluación rápida de viviendas informales propuesto en las hojas siguientes, es el primer paso para dar una solución estructural a estas viviendas, puesto que este formato evaluará la vulnerabilidad existente en la vivienda a través de puntuaciones a diversos problemas o fallos estructurales. Este formato consta de tres partes importantes que se detallan a continuación.

- Parte 1: Parámetros Generales:

En la primera parte se considera especificar parámetros generales de la vivienda como: números de contacto, ubicación, nombre del proyecto, nombre de propietario, topografía del entorno, dimensiones de la vivienda y área de terreno, información sobre posibles rehabilitaciones previas, etc.

- Parte 2: Sistema Estructural y Vulnerabilidad:

La segunda parte es la medular del formato propuesto, ya que al ser evaluado mediante puntuación determina la vulnerabilidad de la vivienda y de acuerdo a su puntaje se ingresa en la Tabla 14, especificada en este trabajo, para conseguir una combinación de reforzamiento que permita mejorar el comportamiento estructural de la misma.

Se evalúan 6 parámetros: sección de columnas, tipo de vigas, espesor de losa, irregularidad en planta, irregularidad en elevación, daños visibles a diferentes niveles. La puntuación va desde 1 a 5 puntos, siendo 5 la puntuación que delimita una alta vulnerabilidad y 1 baja vulnerabilidad. No existe una puntuación de cero puesto que estas viviendas presentan muchas deficiencias y un valor de cero significaría que su comportamiento es seguro.

- Parte 3: Estimación de costos de reposición:

Esta tercera parte se enfoca en analizar la estimación de pérdidas, parámetro definido en los análisis de vulnerabilidad del proyecto SARA, estudiado en este trabajo, para aquello se muestran los valores de la ordenanza 232 del D.M.Q, la misma que especifica valores promedio por m² según los acabados que la vivienda posea. Esta metodología se desarrolló de manera sencilla tomando los datos de área por planta de las viviendas estudiadas.

NOTA: Las imágenes presentadas a continuación son referenciales, y pueden variar según realidades específicas de cada proyecto y materiales.

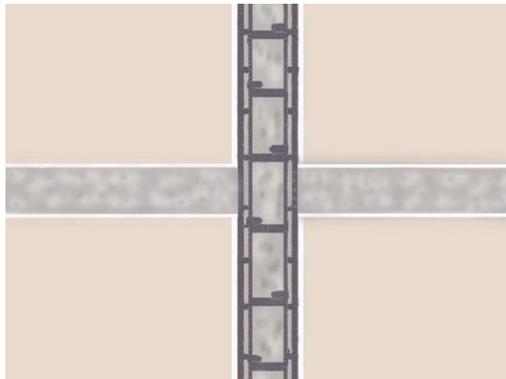
FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES										
Nombre del Evaluador			Ing / Arq.		Estudiante		Otro			
PARAMETROS GENERALES										
Nombre del Proyecto										
Dirección										
Ciudad			Sector			Referencia				
Propietario				Teléfono			C.I			
Número de Habitantes			Número Familias			Telf. Contacto				
Fecha			Vivienda en Arriendo			SI		NO		
Niveles en Altura			Subsuelos			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						
SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)										
	1		2		3		4		5	
1. Secciones en columnas existentes (cm2)	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	Peraltables				Banda					
3. Peralte de losas de entrepiso	25 cm		20cm		15 cm		Otro valor inferior			
4. Irregularidades en Planta	Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: 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, Caso2: 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		Lujo (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										

Reforzamiento de columnas mediante encamisado con hormigón

1. Remoción del recubrimiento actual, hasta que sea visible el refuerzo de acero existente



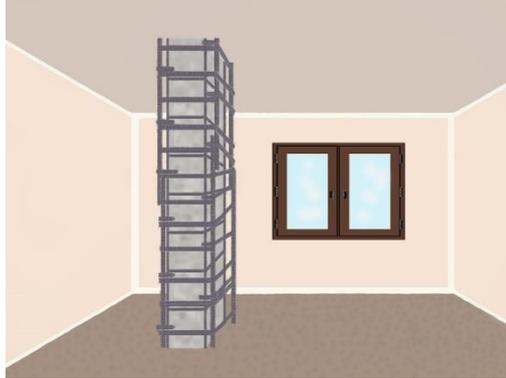
2. Realizar perforaciones en losa para el paso de varillas de refuerzo



3. Inclusión de varillas longitudinales de acuerdo a planos específicos.



4. Colocar estribo de refuerzo



5. Relleno de los orificios realizados en el entrepiso con epóxico estructural

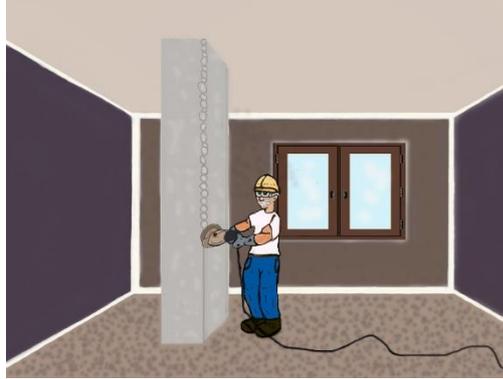


6. Encofrar las columnas y fundir la nueva sección



Reforzamiento de columnas mediante fibras de carbono (CFRP)

1. Redondear las esquinas de la sección existe



2. Mezclar los componentes del epóxico estructural



3. Resanar posibles fallas en la sección existente usando el epóxico estructural.



4. Mezclar el componente A y B de un mortero de reparación.



5. Incorporar el componente tercer componente del mortero de reparación.



6. Realizar la mezcla hasta obtener una composición homogénea. Tiempo estimado de 3 minutos.



7. Colocar una capa del mortero de reparación sobre la superficie de la sección existente, dentro del tiempo de vida útil de la mezcla (aprox. 60 min)



8. Medir el grosor de la columna adicionando aproximadamente 15 cm para el traslape de la fibra



9. Colocar el tejido SIKAWRAP 600 sobre una superficie plana que permita su fácil manipulación.



10. Cortar el número de piezas necesarias según la altura de la columna a reforzar



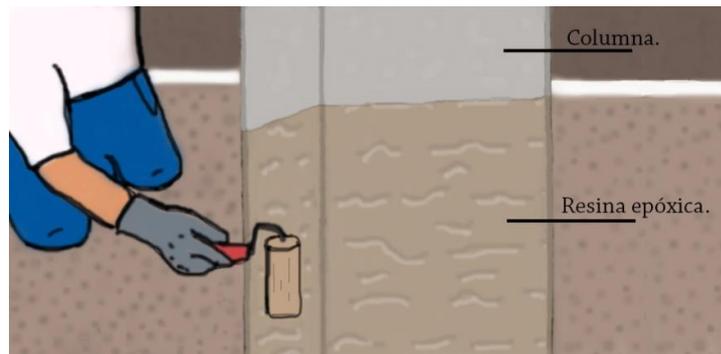
11. Mezclar los componentes de la resina epóxica adhesiva, esta servirá para la adherencia del tejido CFRP.



12. Batir los componentes hasta alcanzar una mezcla homogénea. Tiempo de 3 minutos como mínimo.



13. Aplicar con rodillo una capa de resina epóxica adhesiva sobre la superficie del elemento a reforzar. Para permitir la adherencia del tejido CFRP.



14. Colocar el tejido CFRP, ayudándose de un rodillo para la adherencia y un tubo para desenrollar de a poco el tejido previamente cortado.



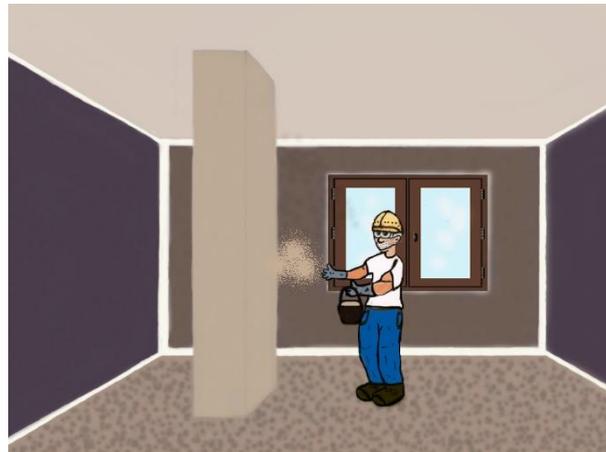
15. Pasar el rodillo para fijar el tejido de CFRP a la resina epóxica adhesiva. Esto se realiza para asegurar la correcta aplicación del refuerzo.



16. Colocar una nueva capa de resina epóxica adhesiva sobre la fibra del tejido CFRP. Con el fin de no dejarla totalmente expuesta a la intemperie.

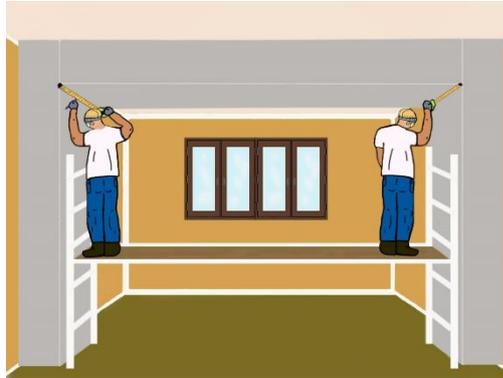


17. Espolvorear sobre columna productos cementicios para dar un acabado estético mejorado.



Refuerzo de vigas con perfiles metálicos

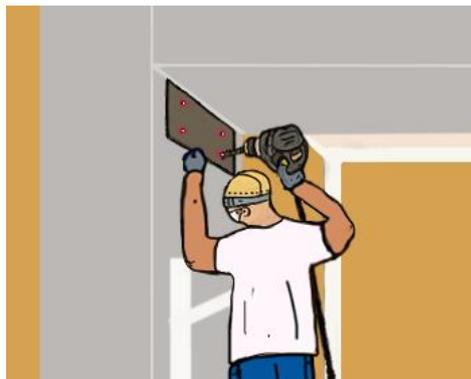
1. Cotejar medidas de lo expuesto en planos con las dimensiones reales en sitio



2. Se señala con pintura u otro material semejante, sobre las columnas, los orificios que previamente deben constar en la placa de anclaje



3. Con la ayuda de un taladro eléctrico realizar los orificios previamente marcados



4. Limpiar la zona del orificio



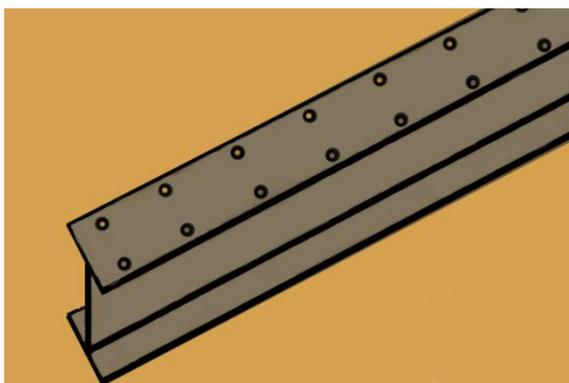
5. Rellenar los orificios con epóxico



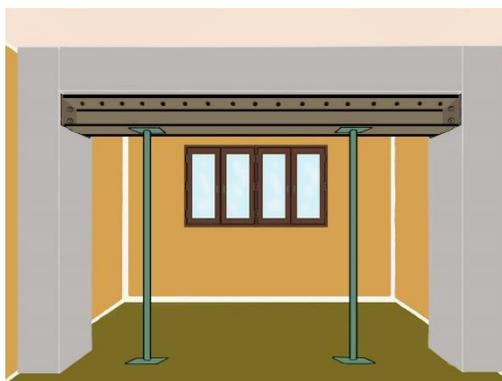
6. Empernar la placa de acuerdo a las especificaciones de los planos



7. El perfil metálico a ser colocado deberá tener orificios previamente realizados en el patín superior para su posterior anclaje. El espaciamiento deberá ser proporcionado por el profesional a cargo del proyecto



8. Realizar el procedimiento expuesto con anterioridad para la ubicación de orificios, esta vez en la viga de concreto. Para la correcta señalización de los orificios se deberá apuntar la viga.



9. Ya señalado la ubicación donde se colocará los pernos, se retira el perfil metálico y con la ayuda de un taladro eléctrico se procede a realizar los orificios, seguido del relleno de epóxico



10. Nuevamente se apuntala al perfil metálico y finalmente se emperna. Una vez apernado el perfil metálico debajo de la viga de concreto y centrada en sus extremos a las placas metálicas se suelda el perfil a la placa



Refuerzo de vigas con fibra de carbono (CFRP)

Nota: Como paso previo a reforzar la viga mediante el sistema de fibras de carbono la superficie debe estar sana, limpia, seca, libre de partes sueltas, contaminación de grasa, aceite, polvo, residuos de curadores, lechadas cementosas u otras materias extrañas.

1. Se comienza con la preparación del adhesivo de pegado estructural, mezclando completamente el componente B sobre el componente A



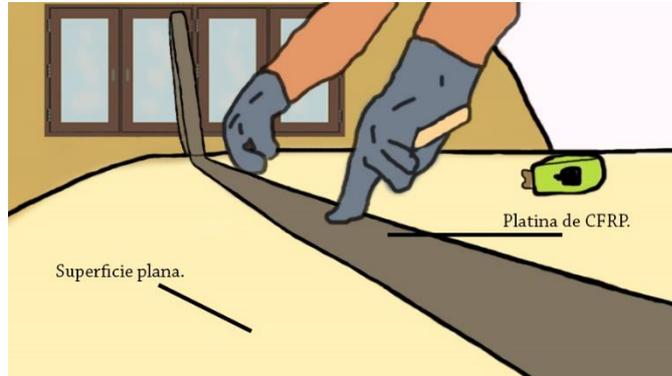
2. Se revuelve mínimo 3 minutos con taladro de bajas revoluciones (max. 500 rpm) para evitar al máximo la inclusión del aire, hasta obtener una mezcla homogénea.



3. Se hace uso del adhesivo de pegado estructural, para asegurar una buena pega con la superficie del concreto. Una vez correctamente mezclado este adhesivo, aplicar cuidadosamente sobre la superficie a ser reforzada, dicho adhesivo con una espátula un espesor de aproximadamente 1 mm



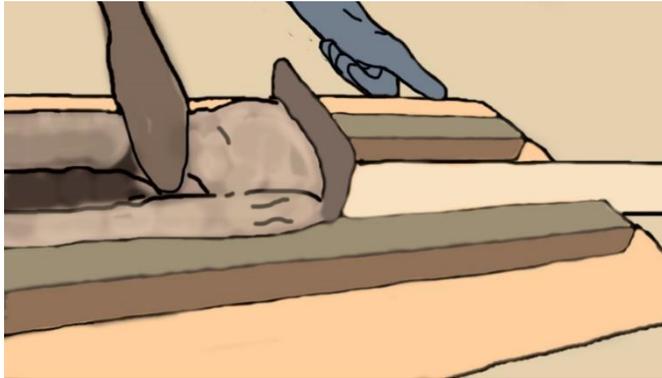
4. Colocar la platina de CFRP sobre una mesa de trabajo



5. Limpiar la fibra muy bien mediante un limpiador suave el cual no altere las propiedades físicas de la misma.



6. Con ayuda de una espátula con labrado aplicar el adhesivo de pegado estructural sobre la Platina de CFRP en un espesor de 1 a 2 mm.



7. Dentro del tiempo útil del adhesivo, el cual depende condiciones ambientales, (70 min. a 23°C), colocar la Platina de CFRP sobre la superficie de concreto recubierta con dicho adhesivo de pagado.



8. Con la ayuda de un rodillo, se presiona la platina sobre la masa del epóxico hasta que el adhesivo sea forzado a salir a ambos lados de la platina. Posteriormente se remueve el excedente de adhesivo epóxico

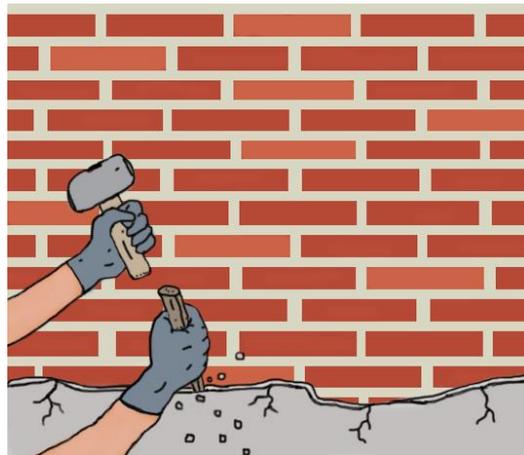


9. Finalmente, la superficie de la platina se puede recubrir con el revestimiento de protección para fines de acabado.

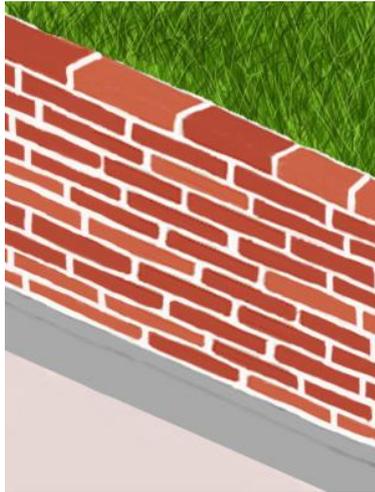


Refuerzo mediante enchapado de mampostería

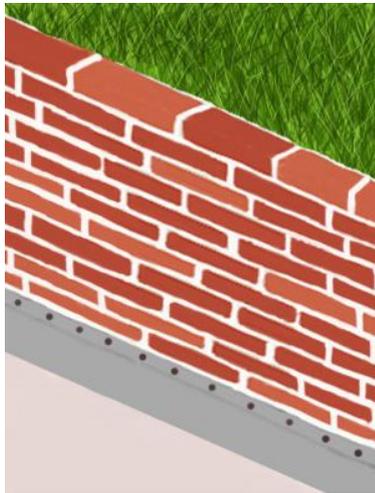
1. Se comienza removiendo el material de recubrimiento de la mampostería



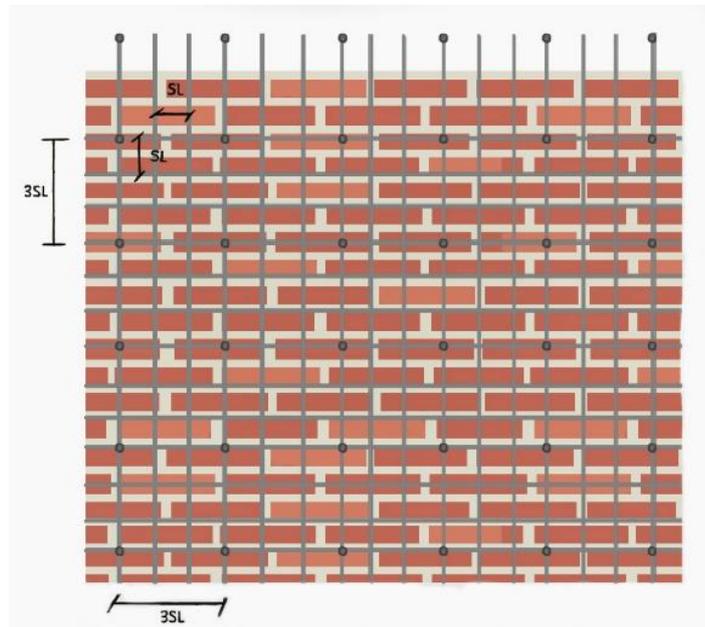
2. Se excava al pie de la mampostería hasta dejar descubierta la cadena de amarre



3. Con la ayuda de un taladro realizar perforaciones en la cadena de amarre (la misma que servirá como cemento del enchapado) para el correcto anclaje de la malla



4. Para anclar la malla electrosoldada a la mampostería se realizan perforaciones que atraviesen ambos lados de la misma con un espaciamiento mínimo de 3 SL con un taladro eléctrico. Se considera a la distancia "SL", como la determinada por el espaciamiento de cada varilla de la malla, tanto en sentido longitudinal como transversal.



5. Se coloca la malla electrosoldada la misma que debe ser centrada y embebida en los orificios previamente realizados en la cadena de amarre. Es importante tener en cuenta que se debe reservar el espacio de al menos 1 cm entre la mampostería y la malla electrosoldada con la finalidad de que el refuerzo de acero este embebido en la concreto

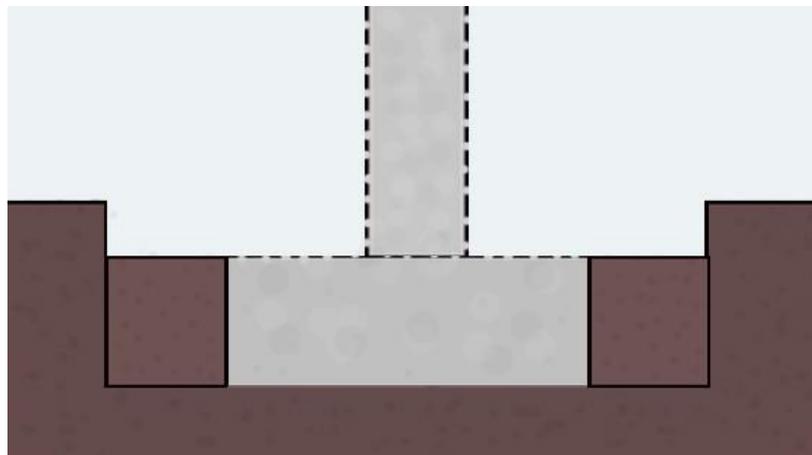


6. Ya colocada la malla se procede al recubrimiento con concreto lanzado, el espesor que tendrá estará dado de acuerdo a las especificaciones en planos. Se recomienda empezar este procedimiento desde la base de la mampostería continuando hasta la parte más alta. El hormigón no deberá tener una consistencia muy fluida, puesto que el mismo tenderá a desmoronarse.

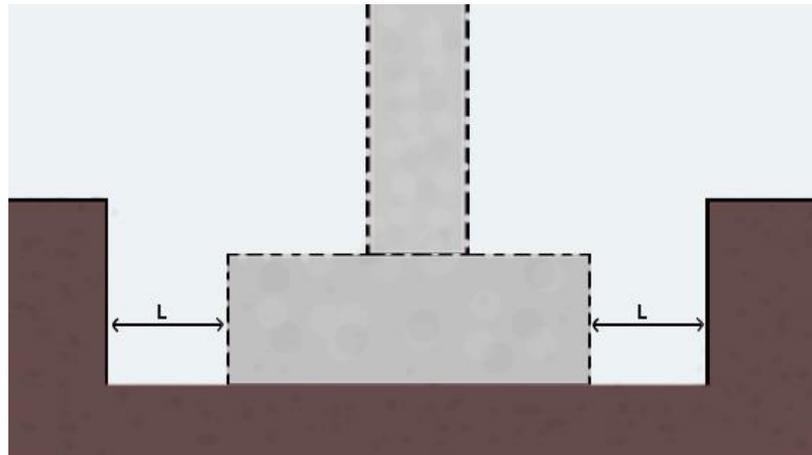


Refuerzo de cimentación mediante incremento de sección

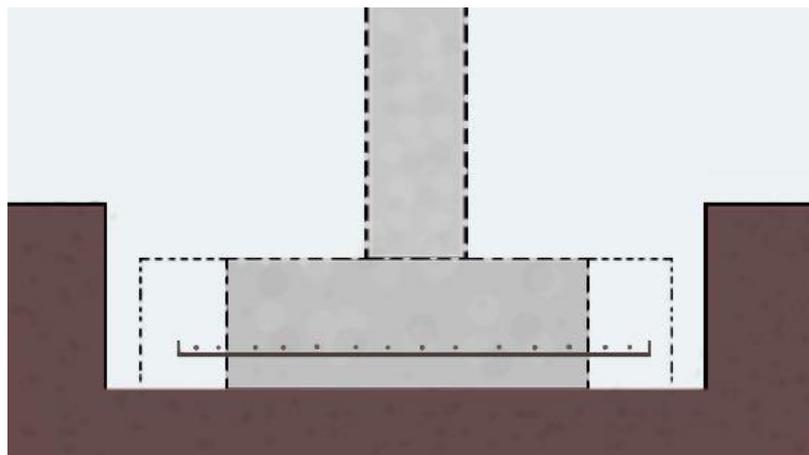
1. Excavar hasta el nivel de cimentación existente



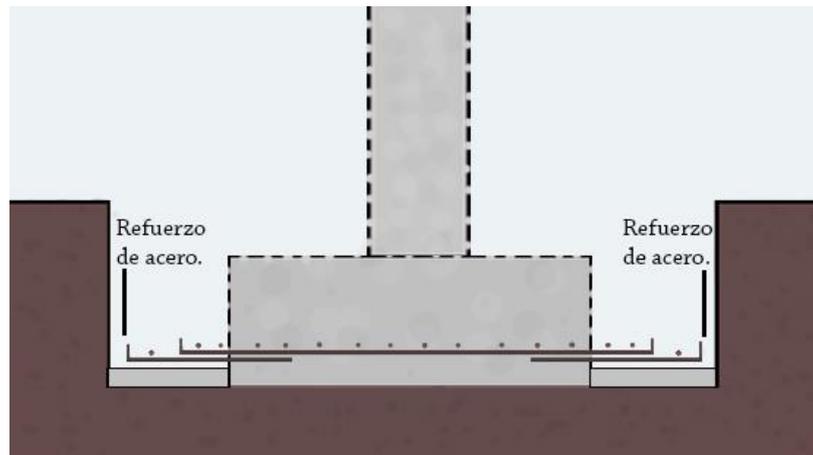
2. Retirar la cantidad necesaria de suelo que se encuentra alrededor de la zapata (distancia L), con el propósito de dejar el espacio suficiente para la correcta maniobra de adición de acero por parte de la mano de obra. Se recomienda que la distancia L sea por lo menos 50 cm.



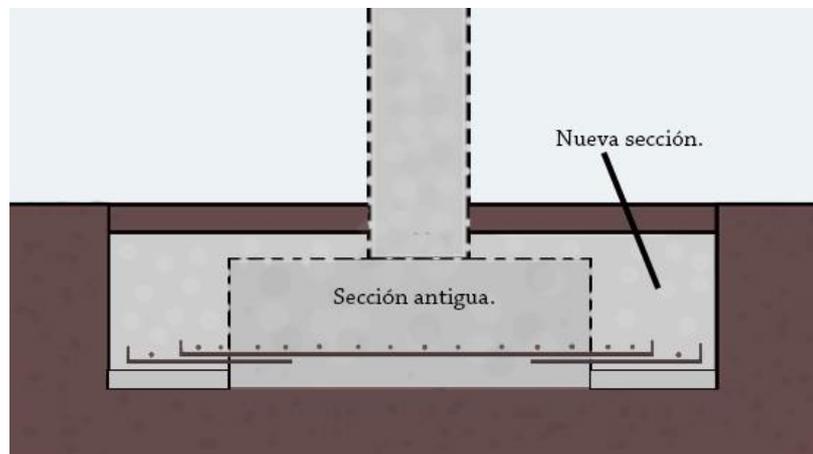
3. Remover el hormigón alrededor de toda la zapata, hasta que sea visible la armadura existente, se recomienda dejar expuesto el acero de refuerzo la mínima distancia de 20 cm con la finalidad de permitir traslapar el acero adicional y soldar ambas varillas, es importante mencionar que la adherencia entre el nuevo hormigón y el existente, se logra mediante la cuidadosa limpieza de la superficie de contacto después de picar el hormigón existente



4. Posteriormente se debe realizar un replantillo de hormigón pobre en la zona donde se adicionará la varilla, a continuación se coloca el acero adicional traslapando y soldando ambos elementos.



5. Para finalizar se funde la zapata con las nuevas dimensiones tanto en longitud como en altura y sobre ella se rellena de suelo hasta el nivel $+0.00$ m



CAPÍTULO 8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R. (2012). *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB*. Quito: Centro de Investigaciones Científicas Escuela Politécnica del Ejército.
- Aguiar, R. (2013). Riesgo Sísmico de Quito. En R. Aguiar, *Microzonificación Sísmica de Quito* (pág. 18). Quito: Centro de Investigaciones Científicas, ESPE.
- Alvarado, A. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *ResearchGate*, 15.
- American Concrete Institute. (2008). *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. Farmington Hills.
- American Concrete Institute. (29 de Agosto de 2014). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318SUS-14) y Comentario (ACI 318SUSR-14) . Estados Unidos.
- Borja, L., & Torres, M. (Octubre de 2016). Diseño del Reforzamiento Estructural de un Edificio de Departamentos de 4 Plantas Ubicado en el Sector de Quitumbe, Ciudad de Quito, Provincia de Pichincha. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Celi, C., Pantoja, J., Ayala, C., & Sosa, D. (2016). Capacity Curves of Structural Typologies of Quito - Ecuador, Project GEM - SARA. *ResearchGate*, 3.
- EPN . (Septiembre de 2014). Informativo Politécnico N° 102. Quito, Pichincha, Ecuador.
- EPN. (2016). *Informe Sísmico Especial N. 18 - 2016* . Quito.

- EPN. (2016). *Informe Sísmico Especial N° 17 - 2016* . Quito.
- ETABS . (Abril de 2016). Integrated Building Design Software.
- Félix, N., & Flores, F. (2006). Análisis y estudio de la Mampostería armada de ladrillo estructural. Sangolquí, Pichincha, Ecuador .
- Global Earthquake Model . (23 de Enero de 2017). *GEM*. Obtenido de <https://www.globalquakemodel.org/what/physical-integrated-risk/>
- Global Earthquake Model . (18 de Enero de 2017). *Global Earthquake Model, Europe*. Obtenido de <https://www.globalquakemodel.org/what/regions/europe/>
- Global Earthquake Model . (18 de Enero de 2017). *Global Earthquake Model, Risk Assessment*. Obtenido de <https://www.globalquakemodel.org/gem/mission/risk-assessment/>
- Global Earthquake Model. (23 de Enero de 2017). *About GEM*. Obtenido de <https://www.globalquakemodel.org/gem/>
- Global Earthquake Model. (18 de Enero de 2017). *Global Earthquake Model, regions, Central Asia*. Obtenido de <https://www.globalquakemodel.org/what/regions/central-asia/>
- Global Earthquake Model. (23 de Enero de 2017). *Middle East*. Obtenido de <https://www.globalquakemodel.org/what/regions/middle-east/>
- Global Earthquake Model. (23 de Enero de 2017). *OpenQuake*. Obtenido de www.globalquakemodel.org/openquake/about
- Global Earthquake Model. (23 de Enero de 2017). *Public* . Obtenido de www.globalquakemodel.org/gem/organisation/partners
- Ideal Alambrec. (2015). Catálogo de Productos - reforzamiento de hormigón. Quito.

- Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos INEC. (Febrero de 2013). Manual del Encuestador.
- INTI CIRSOC. (20 de Mayo de 2017). *Instituto Nacional de Tecnología Industrial*. Obtenido de <https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/Capitulo10.pdf>
- Jácome, E. (8 de Enero de 2017). Cabildo busca regular viviendas informales. *EL COMERCIO*, pág. 7.
- Jarrín, A., & Romo, C. (2015). COMPARACIÓN DE LOS CAPÍTULOS PARA DISEÑO SISMO RESISTENTE DEL ASCE 7-10 CON LA NEC-11, POR MEDIO DE SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO DE UN MERCADO EN LA PARROQUIA DE GUAYLLABAMBA. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Lema, J., & Juan, V. (28 de Agosto de 2009). *issuu*. Obtenido de https://issuu.com/kcarmach/docs/memoria_construccion_compuesta
- Medina, C., Medina, S., & Barroso, M. (s.f.). Influencia de los Conectores de Cortante en la Unión Viga de Hormigón y Losa Compuesta. Ambato, Tungurahua, Ecuador.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, M. (Septiembre de 2016). Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Moehle, J. (2015). *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*. New York: McGrawHill.
- Moreno Cárdenas, R. A. (Julio de 2011). Agregado Alternativo para Fabricación de Bloques y Adoquines en Base a Polítilen Tereftalato. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Moreno, R., & Jesús, B. (Diciembre de 2010). Curvas de fragilidad para evaluar el daño sísmico en edificios de concreto armado con losas

reticulares. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*. Obtenido de Curvas de fragilidad para evaluar el daño sísmico en edificios de concreto armado con losas reticulares: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652010000400007

Moreta Viscarra, J. V. (2015). Evaluación Estructural Mediante el FEMA 154 del NEC y Propuesta de Reforzamiento del Centro Educativo Juan Pablo I del D.M.Q. Quito, Pichincha, Ecuador .

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2015). *Atlas de Amenazas Naturales y Exposición de Infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito* . Quito: Advantlogic Ecuador S.A.

Navarro, S. (Diciembre de 2012). Comparación Técnica - Económica de Elementos Compuestos vs. Elementos de Acero y Elementos de Hormigón Armado. Quito, Pichincha, Ecuador.

Niño, M. (Abril de 2008). Desarrollo y Aplicación de Espectros de Peligro Uniforme en la Evaluación y Diseño Sísmico de Estructuras Basados en el Desempeño . México .

Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico. (2015). Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.

Nuñez, C. (2012). Requisitos Mínimos de Cálculo Para Diseño Sismo-Resistente de Viviendas de Concreto Reforzado en Losas con Vigas Banda. Riobamba, Chimborazo, Ecuador.

Páez Vargas, C. A. (2014). Determinación de la Carga Permanente Debida al Peso de Mampostería de Bloque en Edificaciones de Vivienda. Quito , Pichincha, Ecuador .

SAFE. (Abril de 2016). Slab Analysis by the Finite Element Method.

SIKA. (2010). Técnicas de refuerzo y reparación con materiales compuestos SIKA.

SIKA ECUADOR. (2014). Hoja Técnica Sika Carbodur S52.

SIKA ECUADOR. (2014). Hoja Técnica SikaWrap 600C.

South America Risk Assessment. (24 de Enero de 2017). Obtenido de SARA OpenQuake:

https://sara.openquake.org/development_of_indicators_of_social_vulnerability

South America Risk Assessment. (24 de Enero de 2017). *SARA OpenQuake*. Obtenido de <https://sara.openquake.org/risk:exposure>

South America Risk Assessment. (24 de Enero de 2017). *SARA OpenQuake*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=9xByMBYDRmY>

South America Risk Assessment. (24 de Enero de 2017). *SARA OpenQuake*. Obtenido de <https://sara.openquake.org/risk:exposure>

South America Risk Assessment. (29 de Enero de 2017). *SARA, OpenQuake*. Obtenido de https://sara.openquake.org/risk:detailed_exposure:risk_colombia

Taranath, B. (2017). *Tall Building Design Steel, Concrete and Composite System*. New York: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group.

Viera, P., & Caiza, P. (Julio de 2016). Diseño de mampostería de relleno en base a la experiencia del sismo de 16 de abril de 2016. Quito, Pichincha, Ecuador.

Wikipedia.org. (13 de Marzo de 2017). *Es.wikipedia.org*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Estratificaci%C3%B3n_socioecon%C3%B3mica_en_Colombia

Wikipedia.org. (24 de Enero de 2017). *Es.wikipedia.org*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Am%C3%A9rica_del_Sur

Yépez, H. (2014). Quito, su falla geológica y sus simos históricos. *Informativo Politécnico*, 24-25.

CAPÍTULO 9

ANEXOS

9.1 ANEXO 1

Tipologías de vivienda en términos de clasificación socio-económica.
Colombia

Percentage of buildings of each typology for Medellín												
Socioeconomic strata	Building typology	Number of storeys										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
1	CR/LFINF			10	15	15	15	50	60	60	60	
	CR/LWAL							35	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF		10	10	20	20	20	15				
	MR											
	MUR	95	90	80	65	65	65					
	UNK	5										
2	CR/LFINF			10	15	15	15	50	60	60	60	
	CR/LWAL							35	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF	7	10	10	20	20	20	15				
	MR											
	MUR	85	90	80	65	65	65					
	ER+ETR	2										
W	3											
UNK	3											
3	CR/LFINF			30	30	40	50	55	60	60	60	
	CR/LWAL						20	35	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF	10	15	10	20	20	20					
	MR			10	10	10	10	10				
	MUR	85	85	50	40	30						
	ER+ETR	5										
4	CR/LFINF			30	50	50	50	50	50	50	50	
	CR/LWAL						20	40	50	50	50	100
	CR/LDUAL											
	MCF	10	10	10	20	20	20					
	MR	10	10	10	15	30	10	10				
	MUR	75	80	50	15							
	ER+ETR	5										
5	CR/LFINF	10	20	40	55	65	65	70	70	70	70	
	CR/LWAL					10	15	30	30	30	30	
	CR/LDUAL											100
	MCF	20	15	15	15	10						
	MR	15	15	15	15	15	20					
	MUR	55	50	30	15							
6	CR/LFINF	20	40	50	65	65	70	70	70	70	70	
	CR/LWAL				20	20	20	30	30	30	30	
	CR/LDUAL											100
	MCF	40	20	15								
	MR	20	20	20	15	15	10					
	MUR	20	20	15								

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Percentage of buildings of each typology for Itagüí, Bello and Copacabana

Socioeconomic strata	Building typology	Number of stories										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
1	CR/LFINF					15	15	50	60	60	60	
	CR/LWAL							30	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF		5	10	15	20	20	15				
	MR											
	MUR	95	95	90	85	65	65					
	UNK	5										
2	CR/LFINF					15	15	50	60	60	60	
	CR/LWAL							35	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF	5	7	10	15	20	20	15				
	MR			5	5							
	MUR	90	90	85	80	65	65					
	ER+ETR	3	3									
	W											
UNK	2											
3	CR/LFINF			5	10	40	50	55	60	60	60	
	CR/LWAL						20	35	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF	8	10	15	15	20	20					
	MR			5	5	10	10	10				
	MUR	85	85	75	70	30						
	ER+ETR	7	5									
4	CR/LFINF			5	50	50	50	50	50	50	50	
	CR/LWAL						20	40	50	50	50	100
	CR/LDUAL											
	MCF	20	25	25	25	20	20					
	MR	5	5	10	15	30	10	10				
	MUR	70	70	60	10							
	ER+ETR	5										
5	CR/LFINF		10	40	60	65	65	70	70	70	70	
	CR/LWAL					10	15	30	30	30	30	
	CR/LDUAL											100
	MCF	45	45	35	20	10						
	MR	10	10	10	15	15	20					
	MUR	45	35	15	5							
6	CR/LFINF		10	40	60	65	70	70	70	70	70	
	CR/LWAL					20	20	30	30	30	30	
	CR/LDUAL											100
	MCF	50	50	35	25							
	MR	20	20	15	15	15	10					
	MUR	30	20	10								

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

Percentage of buildings of each typology for La Estrella, Girardota, Caldas and Barbosa

Socioeconomic strata	Building typology	Number of stories										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
1	CR/LFINF			10	15	15	15	50	60	60	60	
	CR/LWAL							35	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF		5	10	20	20	20	15				
	MUR	25	70	80	65	65	65					
	ER+ETR	70	25									
	UNK	5										
2	CR/LFINF			10	15	15	15	50	60	60	60	
	CR/LWAL							35	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF	4	5	10	20	20	20	15				
	MUR	20	85	80	65	65	65					
	ER+ETR	68	10									
	UNK	8										
3	CR/LFINF			30	30	40	50	55	60	60	60	
	CR/LWAL						20	35	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF	5	15	10	20	20	20					
	MR			10	10	10	10	10				
	MUR	40	80	50	40	30						
	ER+ETR	50	5									
UNK	5											
4	CR/LFINF			30	50	50	50	50	50	50	50	
	CR/LWAL						20	40	50	50	50	100
	CR/LDUAL											
	MCF	5	25	10	20	20	20					
	MR		5	10	15	30	10	10				
	MUR	40	65	50	15							
	ER+ETR	55	5									
5	CR/LFINF		10	40	55	65	65	70	70	70	70	
	CR/LWAL					10	15	30	30	30	30	
	CR/LDUAL											100
	MCF	10	45	15	15	10						
	MR		10	15	15	15	20					
	MUR	35	35	30	15							
	ER+ETR	55										
6	CR/LFINF		10	50	65	65	70	70	70	70	70	
	CR/LWAL				20	20	20	30	30	30	30	
	CR/LDUAL											100
	MCF	10	50	15								
	MR	10	20	20	15	15	10					
	MUR	30	20	15								
	ER+ETR	50										

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

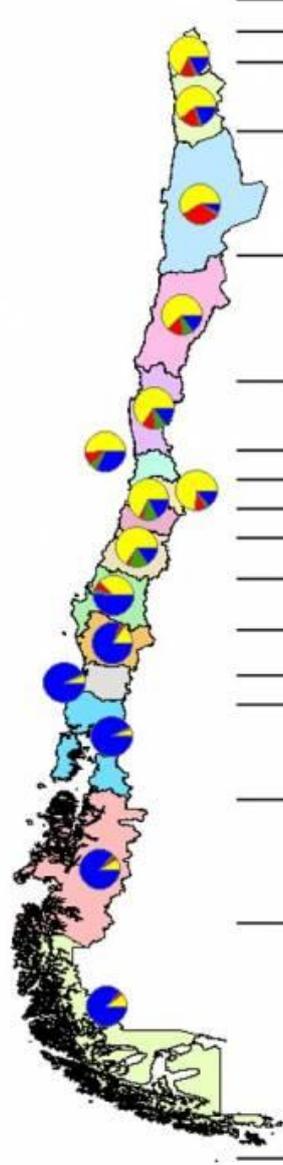
Percentage of buildings of each typology for Envigado and Sabaneta

Socioeconomic strata	Building typology	Number of stories										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
1	CR/LFINF					15	15	50	60	60	60	
	CR/LWAL							35	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF		5	10	15	20	20	15				
	MUR	95	95	90	85	65	65					
	UNK	5										
2	CR/LFINF					15	15	50	60	60	60	
	CR/LWAL							35	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF	5	10	10	15	20	20	15				
	MR			5	5							
	MUR	75	85	85	80	65	65					
ER+ETR	20	5										
3	CR/LFINF			5	10	40	50	55	60	60	60	
	CR/LWAL						20	35	40	40	40	100
	CR/LDUAL											
	MCF	10	15	15	15	20	20					
	MR			5	5	10	10	10				
	MUR	75	80	75	70	30						
ER+ETR	15	5										
4	CR/LFINF			5	40	50	50	50	50	50	50	
	CR/LWAL						20	40	50	50	50	100
	CR/LDUAL											
	MCF	25	25	25	25	20	20					
	MR		5	10	15	30	10	10				
	MUR	65	70	60	20							
ER+ETR	10											
5	CR/LFINF		10	40	50	65	65	70	70	70	70	
	CR/LWAL					10	15	30	30	30	30	
	CR/LDUAL											100
	MCF	45	45	35	20	10						
	MR	10	10	10	15	15	20					
	MUR	45	35	15	15							
6	CR/LFINF		10	40	55	65	70	70	70	70	70	
	CR/LWAL					20	20	30	30	30	30	
	CR/LDUAL											100
	MCF	50	50	35	30							
	MR	20	20	15	15	15	10					
	MUR	30	20	10								

Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

9.2 ANEXO 2

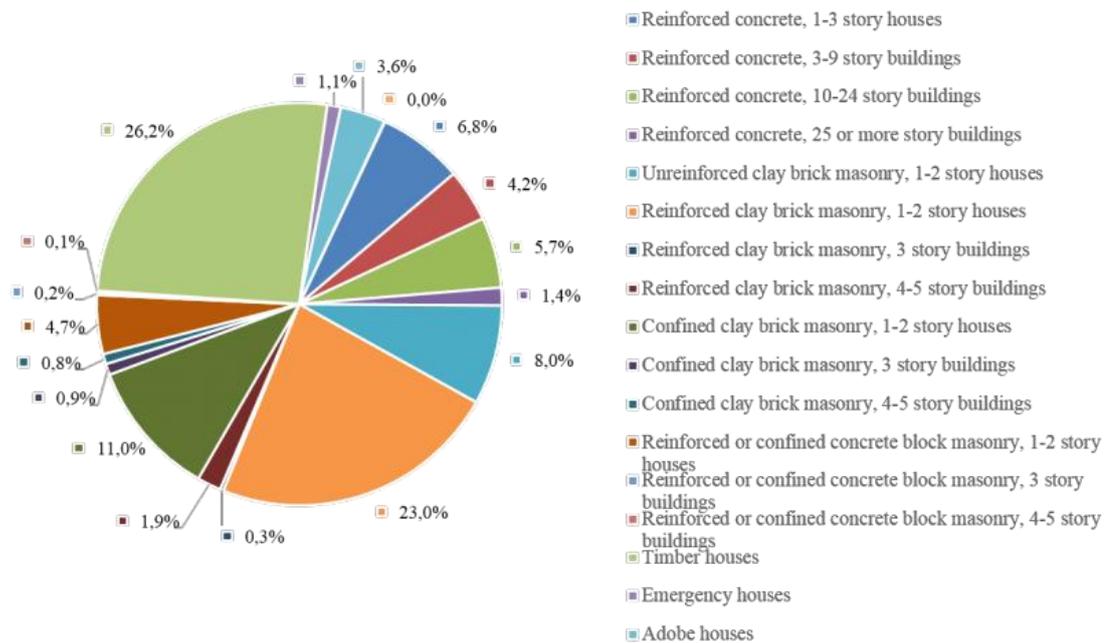
Número de estructuras, habitantes, área construida, costo de reemplazo según SARA en Chile.



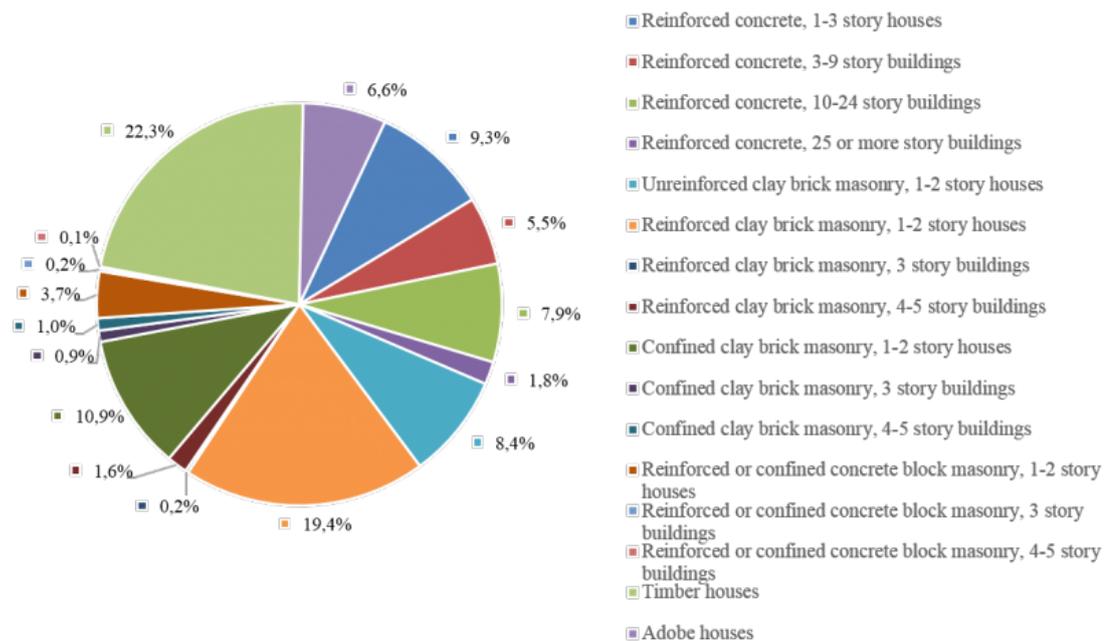
The map shows the geographical distribution of structures across Chile's regions. Each region is represented by a pie chart indicating the proportion of different construction types: RC (Reinforced Concrete), Masonry, Timber, Adobe, and Informal. The colors in the pie charts correspond to the legend in the table below.

Region	Total number of structures					Total
	RC	Masonry	Timber	Adobe	Informal	
XV	6,215	32,150	8,523	764	247	47,898
I	8,416	30,903	10,288	670	301	50,578
II	41,424	75,145	8,976	3,726	186	129,457
III	9,306	46,400	11,065	6,872	88	73,731
IV	21,912	131,438	30,504	18,055	81	201,990
V	43,212	211,289	135,041	26,278	251	416,071
XIII	132,066	1,046,643	203,809	37,722	390	1,420,630
VI	7,739	178,939	45,788	31,440	110	264,015
VII	10,600	226,796	55,392	50,972	107	343,868
VIII	46,486	228,894	315,409	16,751	224	607,765
IX	9,716	44,048	231,843	1,163	94	286,864
XIV	2,222	6,389	97,681	33	41	106,366
X	4,774	13,165	219,298	249	119	237,605
XI	834	2,547	25,558	430	19	29,388
XII	1,568	4,158	37,853	4	6	43,589
Total	346,489	2,278,904	1,437,028	195,129	2,264	4,259,814

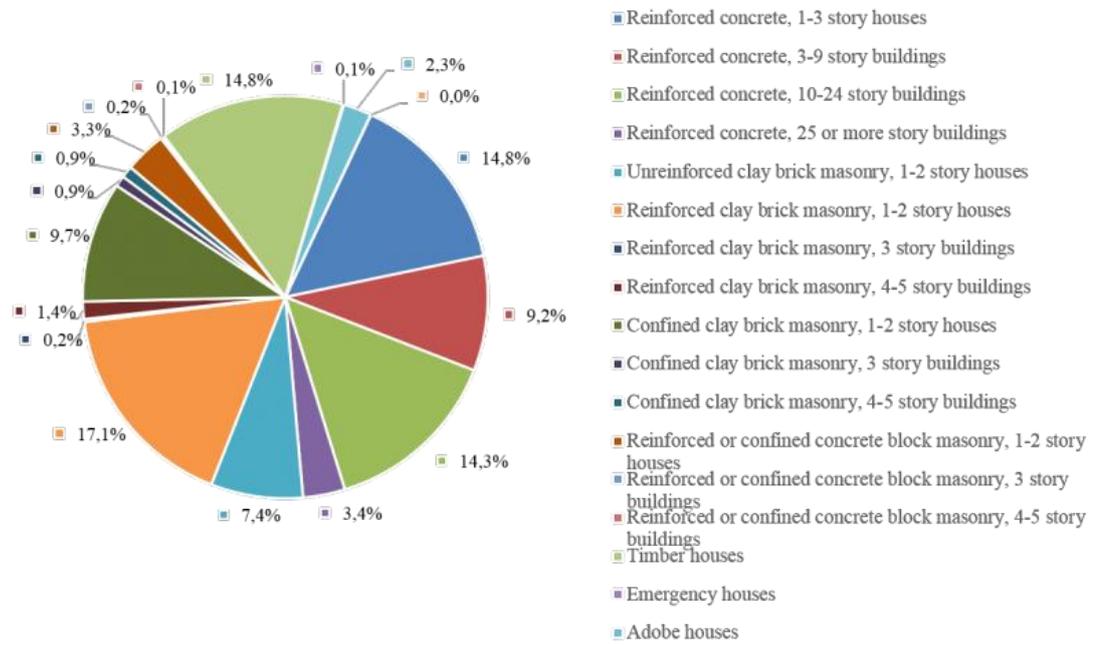
Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)



Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)



Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)



Fuente: (South America Risk Assessment, 2017)

9.3 ANEXO 3

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			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						
SISTEMA L16:W38ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)										
	1		2		3		4		5	
1. Secciones en columnas existentes (cm2)	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	Peralgadas				Banda					
3. Peralte de losas de entrepiso	25 cm		20cm		15 cm		Otro valor inferior			
4. Irregularidades en Planta	Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: 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, Caso2: 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		Lujo (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										

9.4 ANEXO 4

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES												
Nombre del Evaluador		Jorge Silva		Ing / Arq.		Estudiante		X		Otro		
PARAMETROS GENERALES												
Nombre del Proyecto		Vivienda Sr. Carrasco Valarezo										
Dirección		Calle J. Calderón y Calle René Fabián Hidalgo										
Ciudad		Quito		Sector		Guamaní		Referencia		Colegio Rep. Mejía		
Propietario		Sr. Carrasco Cesibel		Teléfono		-----		C.I.		201115888		
Número de Habitantes		16		Número Familias		4		Telf. Contacto		996537172		
Fecha		20/02/2017		Vivienda en Arriendo		SI		X		NO		
Niveles en Altura		4		Subsuelos		NO		Area Terreno (m2)		195,52		
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]	10,00		Topografía	Planicie		X		Ladera			
	Fondo (Y) [m]	19,95			Topografía Irregular (pendiente)							
Año Construcción		2013		Rehabilitación		Año		Notas				
Año Reconocimiento Informal por el Municipio		2014		SI								
Altura Típica de Entrepiso [m]		2,35		NO		X						
SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)												
	1		2		3		4		5			
1. Secciones en columnas existentes (cm2)	Todas ≥ 900		Al menos 70% $600 \leq X < 900$		X Al menos 70% $400 \leq X < 600$		Al menos 70% $200 \leq X < 400$		≤ 200			
2. Vigas existentes	Peraltables				Banda		X					
3. Peralte de losas de entrepiso	25 cm		20cm		X 15 cm		Otro valor inferior					
4. Irregularidades en Planta	Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: Retrocesos excesivos en esquinas, Caso 3: Discontinuidades en el sistema de piso, Caso 4: Ejes estructurales no paralelos											
Caso 1	Sin Irregularidad		X 1 irregularidad		2 irregularidades		3 o más irregularidades		Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15			
Caso 2	Sin Irregularidad		1 irregularidad		X 2 irregularidades		más de 2 irregularidades		Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15			
Caso 3	Sin Irregularidad		1 irregularidad		X 2 irregularidades		más de 2 irregularidades		Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15			
Caso 4	Sin Irregularidad		1 irregularidad		X 2 irregularidades		más de 2 irregularidades		Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15			
5. Irregularidades en Elevación	Caso 1: Piso Flexible, Caso2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica											
Caso 1	Sin Irregularidad		1 irregularidad		X 2 irregularidades		más de 2 irregularidades		Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15			
Caso 2	Sin Irregularidad		1 irregularidad		X 2 irregularidades		más de 2 irregularidades		Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15			
Caso 3	Sin Irregularidad		1 irregularidad		X 2 irregularidades		más de 2 irregularidades		Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15			
6. Daños existentes por eventos sísmicos previos	Daño Leve: nivel mampostería, Moderado: nivel vigas, Severo: nivel Columnas											
	Sin daño visible		X Daño leve		Daño Moderado		Daño Severo					
ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN												
Área de Construcción (m2)		370,76		Área promedio por planta (m2)		92,7						
Acabados (precio por m2)	Se considera el precio por m2 de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232		Lujo (410 USD/m2)		Primera (365 USD/m2)		Normal (230 USD/m2)		X Económico (150 USD/m2)			
Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)						85.274,80		USD				
NOTAS, ACLARACIONES y CROQUIS												
En su último piso de vivienda cuenta con un mini departamento, lo cual se considera como un piso de elevación adicional a los tres propuestos inicialmente												

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES											
Nombre del Evaluador		Jorge Silva		Ing / Arq.		Estudiante		X	Otro		
PARAMETROS GENERALES											
Nombre del Proyecto					Vivienda Sr. Bonifaz						
Dirección					Calle Vilcabamba						
Ciudad		Quito		Sector		La Argelia		Referencia		Av. Simón Bolívar	
Propietario			Sr. Bonifaz Mario		Teléfono		3082787		C.I. 1707334957		
Número de Habitantes		8		Número Familias		2		Telf. Contacto		-----	
Fecha		20/02/2017		Vivienda en Arriendo		SI		X	NO		
Niveles en Altura		3		Subsuelos		NO		Area Terreno (m2)		200,28	
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]		10,00		Topografía	Planicie			Ladera		
	Fondo (Y) [m]		20,02			Topografía Irregular (pendiente)					X
Año Construcción				2015		Rehabilitación		Año		Notas	
Año Reconocimiento Informal por el Municipio				2016		SI					
Altura Típica de Entrepiso [m]				2,32		NO		X			
SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)											
		1		2		3		4		5	
1. Secciones en columnas existentes (cm2)		Todas ≥ 900		X	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		Peraltables				Banda		X			
3. Peralte de losas de entrepiso		25 cm			20cm		X	15 cm		Otro valor inferior	
4. Irregularidades en Planta		Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: Retrocesos excesivos en esquinas, Caso 3: Discontinuidades en el sistema de piso, Caso 4: Ejes estructurales no paralelos									
Caso 1											
Caso 2											
Caso 3											
Caso 4		X								Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15	
5. Irregularidades en Elevación		Caso 1: Piso Flexible, Caso2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica									
Caso 1											
Caso 2											
Caso 3											
6. Daños existentes por eventos sísmicos previos		Daño Leve: nivel mampostería, Moderado: nivel vigas, Severo: nivel Columnas									
		Sin daño visible		X	Daño leve		Daño Moderado		Daño Severo		
ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN											
Área de Construcción (m2)			436,5		Área promedio por planta (m2)			145,5			
Acabados (precio por m2)		Se considera el precio por m2 de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232			Lujo (410 USD/m2)		Primera (365 USD/m2)		Normal (230 USD/m2)		Económico (150 USD/m2)
											X
Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)						65.475,00		USD			
NOTAS, ACLARACIONES y CROQUIS											

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES											
Nombre del Evaluador		Jorge Silva		Ing / Arq.		Estudiante		X		Otro	
PARAMETROS GENERALES											
Nombre del Proyecto		Vivienda Sra. Flores Angélica									
Dirección		Calle Muisne									
Ciudad		Quito		Sector		Forestal		Referencia		Av. Simón Bolívar	
Propietario		Sra. Flores Angélica		Teléfono		-----		C.I.		1738465321	
Número de Habitantes		8		Número Familias		2		Telf. Contacto		-----	
Fecha		20/02/2017		Vivienda en Arriendo		SI		NO		X	
Niveles en Altura		3		Subsuelos		NO		Area Terreno (m2)		227,96	
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]		13,90		Topografía	Planicie		Ladera		Relleno	
	Fondo (Y) [m]		16,40			Topografía Irregular (pendiente)					
Año Construcción		2013		Rehabilitación		Año		Notas			
Año Reconocimiento Informal por el Municipio		2015		SI							
Altura Típica de Entrepiso [m]		2,32		NO		X					
SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)											
		1		2		3		4		5	
1. Secciones en columnas existentes (cm2)		Todas ≥ 900		Al menos 70% $600 \leq X < 900$		X Al menos 70% $400 \leq X < 600$		Al menos 70% $200 \leq X < 400$		≤ 200	
2. Vigas existentes		Peraltas		Banda		X					
3. Peralte de losas de entrepiso		25 cm		20cm		X 15 cm		Otro valor inferior			
4. Irregularidades en Planta		Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: 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		X		1		X 2		3 o más			
Caso 3				Irregularidad		irregularidades		irregularidades			
Caso 4											
5. Irregularidades en Elevación		Caso 1: Piso Flexible, Caso2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica									
Caso 1										Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15	
Caso 2		X		1		X 2		más de 2			
Caso 3		Irregularidad		irregularidad		irregularidades		irregularidades			
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			
ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN											
Área de Construcción (m2)		331,00		Área promedio por planta (m2)		110,33					
Acabados (precio por m2)		Se considera el precio por m2 de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232		Lujo (410 USD/m2)		Primera (365 USD/m2)		Normal (230 USD/m2)		X Económico (150 USD/m2)	
Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)						76.130,00		USD			
NOTAS, ACLARACIONES y CROQUIS											

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES										
Nombre del Evaluador		Jorge Silva		Ing / Arq.		Estudiante		X	Otro	
PARAMETROS GENERALES										
Nombre del Proyecto		Vivienda del Sr. Chicaiza José								
Dirección		Calle Transversal 4								
Ciudad		Quito		Sector		Guamaní		Referencia		Hospital Luz Elena A.
Propietario		Sr. Chicaiza José		Teléfono		----		C.I		502625635
Número de Habitantes		16		Número Familias		4		Telf. Contacto		995678384
Fecha		20/02/2017		Vivienda en Arriendo		SI		NO		X
Niveles en Altura		4		Subsuelos		NO		Area Terreno (m2)		270
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]		10,00		Topografía	Planicie		X	Ladera	
	Fondo (Y) [m]		27,00			Topografía Irregular (pendiente)				
Año Construcción		2013		Rehabilitación		Año		Notas		
Año Reconocimiento Informal por el Municipio		2015		SI						
Altura Típica de Entrepiso [m]		2,34		NO		X				
SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)										
	1		2		3		4		5	
1. Secciones en columnas existentes (cm2)	Todas ≥ 900		Al menos 70% $600 \leq X < 900$		X	Al menos 70% $400 \leq X < 600$		Al menos 70% $200 \leq X < 400$		≤ 200
2. Vigas existentes	Peralgadas				Banda		X			
3. Peralte de losas de entrepiso	25 cm		20cm		X	15 cm		Otro valor inferior		
4. Irregularidades en Planta	Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: Retrocesos excesivos en esquinas, Caso 3: Discontinuidades en el sistema de piso, Caso 4: Ejes estructurales no paralelos									
Caso 1										
Caso 2	Sin Irregularidad	X	1 irregularidad		2 irregularidades		3 o más irregularidades	Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15		
Caso 3										
Caso 4										
5. Irregularidades en Elevación	Caso 1: Piso Flexible, Caso2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica									
Caso 1	Sin Irregularidad		1 irregularidad	X	2 irregularidades		más de 2 irregularidades	Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15		
Caso 2										
Caso 3	X									
6. Daños existentes por eventos sísmicos previos	Daño Leve: nivel mampostería, Moderado: nivel vigas, Severo: nivel Columnas									
	Sin daño visible		X		Daño leve		Daño Moderado		Daño Severo	
ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN										
Área de Construcción (m2)		514,07		Área promedio por planta (m2)		128,68				
Acabados (precio por m2)	Se considera el precio por m2 de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232		Lujo (410 USD/m2)		Primera (365 USD/m2)		Normal (230 USD/m2)		X	Económico (150 USD/m2)
Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)						118.236,10		USD		
NOTAS, ACLARACIONES y CROQUIS										
En su último piso de vivienda cuenta con un mini departamento, lo cual se considera como un piso de elevación adicional a los tres propuestos inicialmente										

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES											
Nombre del Evaluador		Jorge Silva		Ing / Arq.		Estudiante		X		Otro	
PARAMETROS GENERALES											
Nombre del Proyecto		Vivienda Sr. Yupanqui Enrique									
Dirección		Calle Misael Acosta y Calle B									
Ciudad		Quito		Sector		Guamaní		Referencia		-----	
Propietario		Sr. Yupanqui Enrique		Teléfono		-----		C.I		1709682502	
Número de Habitantes		16		Número Familias		4		Telf. Contacto		-----	
Fecha		20/02/2017		Vivienda en Arriendo		SI		X		NO	
Niveles en Altura		4		Subsuelos		NO		Area Terreno (m2)		844,58	
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]		15,80		Topografía	Planicie		Ladera		Relleno	
	Fondo (Y) [m]		11,80			Topografía Irregular (pendiente)					
Año Construcción		2013-2014		Rehabilitación		Año		Notas			
Año Reconocimiento Informal por el Municipio		2015		SI							
Altura Típica de Entrepiso [m]		2,32		NO		X					
SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)											
		1		2		3		4		5	
1. Secciones en columnas existentes (cm2)		Todas ≥ 900		Al menos 70% $600 \leq X < 900$		X Al menos 70% $400 \leq X < 600$		Al menos 70% $200 \leq X < 400$		≤ 200	
2. Vigas existentes		Peraltables		Banda		X					
3. Peralte de losas de entrepiso		25 cm		20cm		X 15 cm		Otro valor inferior			
4. Irregularidades en Planta		Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: 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		X		1		X 2		3 o más		irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15	
Caso 3		Irregularidad		irregularidad		irregularidades		irregularidades			
Caso 4											
5. Irregularidades en Elevación		Caso 1: Piso Flexible, Caso2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica									
Caso 1				1		X 2		más de 2		Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15	
Caso 2		Irregularidad		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		X Daño leve		Daño Moderado		Daño Severo			
ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN											
Área de Construcción (m2)		559,32		Área promedio por planta (m2)		186,44					
Acabados (precio por m2)		Se considera el precio por m2 de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232		Lujo (410 USD/m2)		Primera (365 USD/m2)		Normal (230 USD/m2)		Económico (150 USD/m2)	
		X									
Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)		83.898,00		USD							
NOTAS, ACLARACIONES y CROQUIS											
En su último piso de vivienda cuenta con un mini departamento, lo cual se considera como un piso de elevación adicional a los tres propuestos inicialmente											

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES										
Nombre del Evaluador		Jorge Silva		Ing / Arq.		Estudiante		X		Otro
PARAMETROS GENERALES										
Nombre del Proyecto		Vivienda Sr. Chango Tonato Rafael								
Dirección		Calle E (S41D)								
Ciudad		Quito		Sector		Ciudad Futura		Referencia		Av. Simón Bolívar
Propietario		Sr. Chango Rafael		Teléfono		984705627		C.I.		501016752
Número de Habitantes		5		Número Familias		1		Telf. Contacto		-----
Fecha		20/02/2017		Vivienda en Arriendo		SI		NO		x
Niveles en Altura		2		Subsuelos		NO		Area Terreno (m2)		253,00
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]		11,00		Topografía	Planicie		Ladera		X
	Fondo (Y) [m]		12,80			Topografía Irregular (pendiente)				
Año Construcción		2012		Rehabilitación		Año		Notas		
Año Reconocimiento Informal por el Municipio		2015		SI						
Altura Típica de Entrepiso [m]		2,32		NO		X				
SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)										
	1		2		3		4		5	
1. Secciones en columnas existentes (cm2)	Todas ≥ 900		Al menos 70% $600 \leq X < 900$		X	Al menos 70% $400 \leq X < 600$		Al menos 70% $200 \leq X < 400$		≤ 200
2. Vigas existentes	Peralgadas				Banda		X			
3. Peralte de losas de entrepiso	25 cm		20cm		X	15 cm		Otro valor inferior		
4. Irregularidades en Planta	Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: 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	X		1		X	2		3 o más		irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15
Caso 3	Irregularidad		irregularidad		irregularidades		irregularidades			
Caso 4										
5. Irregularidades en Elevación	Caso 1: Piso Flexible, Caso2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica									
Caso 1	Sin Irregularidad		X	1		2		más de 2		Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15
Caso 2	Irregularidad		irregularidad		irregularidades		irregularidades			
Caso 3										
6. Daños existentes por eventos sísmicos previos	Daño Leve: nivel mampostería, Moderado: nivel vigas, Severo: nivel Columnas									
	Sin daño visible		X	Daño leve		Daño Moderado		Daño Severo		
ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN										
Área de Construcción (m2)		195,05		Área promedio por planta (m2)		97,53				
Acabados (precio por m2)	Se considera el precio por m2 de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232		Lujo (410 USD/m2)		Primera (365 USD/m2)		Normal (230 USD/m2)		Económico (150 USD/m2)	
									X	
Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)						29257, 50		USD		
NOTAS, ACLARACIONES y CROQUIS										

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES																	
Nombre del Evaluador			Jorge Silva			Ing / Arq.		Estudiante		X	Otro						
PARAMETROS GENERALES																	
Nombre del Proyecto						Vivienda Sr. Rodríguez José											
Dirección						Calle S/N y Matilde Álvarez											
Ciudad			Quito			Sector		Turubamba		Referencia		Pana. Sur					
Propietario				Sr. Rodríguez José				Teléfono		3674345		C.I		1700971607			
Número de Habitantes			7			Número Familias			1			Telf. Contacto			-----		
Fecha			20/02/2017			Vivienda en Arriendo			SI			NO			x		
Niveles en Altura			2			Subsuelos			NO			Area Terreno (m2)			942,28		
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]		12,05		Topografía	Planicie		X		Ladera		Relleno					
	Fondo (Y) [m]		7,08			Topografía Irregular (pendiente)											
Año Construcción				2013				Rehabilitación		Año		Notas					
Año Reconocimiento Informal por el Municipio				2015				SI									
Altura Típica de Entrepiso [m]				2,32				NO		X							
SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)																	
		1		2		3		4		5							
1. Secciones en columnas existentes (cm2)		Todas ≥ 900		X		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		Peraltables				Banda		X									
3. Peralte de losas de entrepiso		25 cm		20cm		X		15 cm		Otro valor inferior							
4. Irregularidades en Planta		Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: 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		X		1		X		2		3 o más		irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15					
Caso 3		Irregularidad		irregularidad				irregularidades		irregularidades							
Caso 4																	
5. Irregularidades en Elevación		Caso 1: Piso Flexible, Caso2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica															
Caso 1		Sin Irregularidad		X		1		2		más de 2		Casos de irregularidades basados en los tipificados por la NEC - 15					
Caso 2		Irregularidad		irregularidad				irregularidades		irregularidades							
Caso 3																	
6. Daños existentes por eventos sísmicos previos		Daño Leve: nivel mampostería, Moderado: nivel vigas, Severo: nivel Columnas															
		Sin daño visible		X		Daño leve		Daño Moderado		Daño Severo							
ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN																	
Área de Construcción (m2)				166,65				Área promedio por planta (m2)				83,33					
Acabados (precio por m2)		Se considera el precio por m2 de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232				Lujo (410 USD/m2)		Primera (365 USD/m2)		Normal (230 USD/m2)		X		Económico (150 USD/m2)			
Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)						38.329,50						USD					
NOTAS, ACLARACIONES y CROQUIS																	

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES													
Nombre del Evaluador			Jorge Silva			Ing / Arq.		Estudiante		X	Otro		
PARAMETROS GENERALES													
Nombre del Proyecto						Vivienda Sra. Palaquibay Luzmila							
Dirección						Av. Amaru Ñan y Oto Ñan							
Ciudad			Quito			Sector		Quitumbe		Referencia		C.C. QUICENTRO SUR	
Propietario				Sra. Palaquibay Luzmila				Teléfono		3456212		C.I	1705009213
Número de Habitantes			5			Número Familias		1		Telf. Contacto		-----	
Fecha			20/02/2017			Vivienda en Arriendo		SI		NO	x		
Niveles en Altura			2			Subsuelos		NO		Area Terreno (m2)		668,50	
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]		14,26		Topografía		Planicie		X	Ladera		Relleno	
	Fondo (Y) [m]		23,25				Topografía Irregular (pendiente)						
Año Construcción				2013-2014				Rehabilitación		Año		Notas	
Año Reconocimiento Informal por el Municipio				2015				SI					
Altura Típica de Entrepiso [m]				2,68				NO		X			
SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)													
		1		2		3		4		5			
1. Secciones en columnas existentes (cm2)		Todas ≥ 900	X	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		Peraltables				Banda		X					
3. Peralte de losas de entrepiso		25 cm	20cm	X	15 cm		Otro valor inferior						
4. Irregularidades en Planta		Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: Retrocesos excesivos en esquinas, Caso 3: Discontinuidades en el sistema de piso, Caso 4: Ejes estructurales no paralelos											
Caso 1		Sin Irregularidad	X	1 irregularidad	X	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, Caso2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica											
Caso 1		Sin Irregularidad	X	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	X	Daño leve		Daño Moderado		Daño Severo					
ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN													
Área de Construcción (m2)				505,19				Área promedio por planta (m2)				252,60	
Acabados (precio por m2)		Se considera el precio por m2 de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232		Lujo (410 USD/m2)		Primera (365 USD/m2)		Normal (230 USD/m2)		X	Económico (150 USD/m2)		
				Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)				116.193,70				USD	
NOTAS, ACLARACIONES y CROQUIS													

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES											
Nombre del Evaluador		Jorge Silva		Ing / Arq.		Estudiante		X		Otro	
PARAMETROS GENERALES											
Nombre del Proyecto				Vivienda Sr. Chávez Serafín							
Dirección				Calle Leonidas Dubles y Río Bimble							
Ciudad		Quito		Sector		Caupicho		Referencia		Av. Maldonado	
Propietario				Sr. Chávez Serafín		Teléfono		-----		C.I. 1709232605	
Número de Habitantes		5		Número Familias		1		Telf. Contacto		-----	
Fecha		20/02/2017		Vivienda en Arriendo		SI				NO x	
Niveles en Altura		2		Subsuelos		NO		Area Terreno (m2)		175,03	
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]		9,68		Topografía	Planicie		X		Ladera	
	Fondo (Y) [m]		12,85			Topografía Irregular (pendiente)					
Año Construcción				2013-2014		Rehabilitación		Año		Notas	
Año Reconocimiento Informal por el Municipio				2014		SI					
Altura Típica de Entrepiso [m]				2,4		NO		X			
SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)											
		1		2		3		4		5	
1. Secciones en columnas existentes (cm2)		Todas ≥ 900		Al menos 70% $600 \leq X < 900$ X		Al menos 70% $400 \leq X < 600$		Al menos 70% $200 \leq X < 400$		≤ 200	
2. Vigas existentes		Peralgadas				Banda X					
3. Peralte de losas de entrepiso		25 cm		20cm X		15 cm		Otro valor inferior			
4. Irregularidades en Planta		Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: 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 X		1 irregularidad		2 irregularidades		3 o más irregularidades			
Caso 3											
Caso 4											
5. Irregularidades en Elevación		Caso 1: Piso Flexible, Caso2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica									
Caso 1		Sin Irregularidad X		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 X		Daño leve		Daño Moderado		Daño Severo			
ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN											
Área de Construcción (m2)				265,13		Área promedio por planta (m2)				132,57	
Acabados (precio por m2)		Se considera el precio por m2 de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232		Lujo (410 USD/m2)		Primera (365 USD/m2)		Normal (230 USD/m2)		Económico (150 USD/m2) X	
Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)						39.769,50			USD		
NOTAS, ACLARACIONES y CROQUIS											

FORMATO PARA EVALUACION RAPIDA ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS INFORMALES											
Nombre del Evaluador		Jorge Silva		Ing / Arq.		Estudiante		X	Otro		
PARAMETROS GENERALES											
Nombre del Proyecto				Vivienda Sr. Mora Galo							
Dirección				Calle B (E3C) y Calle 3 (S57G)							
Ciudad		Quito		Sector		Venecia I		Referencia		Av. Maldonado	
Propietario				Sr. Mora Galo		Teléfono		2598586		C.I. 1702529718	
Número de Habitantes		6		Número Familias		1		Telf. Contacto		-----	
Fecha		20/02/2017		Vivienda en Arriendo		SI		NO		X	
Niveles en Altura		2		Subsuelos		NO		Area Terreno (m2)		200,00	
Dimensiones de la estructura	Frente (X) [m]		7,12		Topografía	Planicie		Ladera		Relleno	
	Fondo (Y) [m]		10,00			Topografía Irregular (pendiente)				X	
Año Construcción				2013		Rehabilitación		Año		Notas	
Año Reconocimiento Informal por el Municipio				2014		SI					
Altura Típica de Entrepiso [m]				2,34		NO		X			
SISTEMA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD (Ponderado)											
		1		2		3		4		5	
1. Secciones en columnas existentes (cm2)		Todas ≥ 900		X		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		Peralgadas				Banda		X			
3. Peralte de losas de entepiso		25 cm		20cm		X		15 cm		Otro valor inferior	
4. Irregularidades en Planta		Caso 1: Irregularidad Torsional, Caso2: Retrocesos excesivos en esquinas, Caso 3: Discontinuidades en el sistema de piso, Caso 4: Ejes estructurales no paralelos									
Caso 1											
Caso 2		X									
Caso 3											
Caso 4											
5. Irregularidades en Elevación		Caso 1: Piso Flexible, Caso2: Distribución de masa, Caso 3: Irregularidad Geométrica									
Caso 1											
Caso 2		X									
Caso 3											
6. Daños existentes por eventos sísmicos previos		Daño Leve: nivel mampostería, Moderado: nivel vigas, Severo: nivel Columnas									
		Sin daño visible		X		Daño leve		Daño Moderado		Daño Severo	
ESTIMACION DE COSTOS DE REPOSICIÓN											
Área de Construcción (m2)				137,57		Área promedio por planta (m2)				68,79	
Acabados (precio por m2)		Se considera el precio por m2 de acuerdo con la clase de acabados, manifestado en la ordenanza 232		Lujo (410 USD/m2)		Primera (365 USD/m2)		Normal (230 USD/m2)		Económico (150 USD/m2)	X
Costo de Reposición Total (calculada por el evaluador)						20.635,50		USD			
NOTAS, ACLARACIONES y CROQUIS											

9.5 ANEXO 5

Tablas de participación modal de Viviendas Sin Reforzamiento

VIVIENDA SR. CARRASCO														
Cas0	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,942	0,4219	3,45E-05	0	0,4219	3,45E-05	0	1,35E-06	0,0361	0,4662	1,35E-06	0,0361	0,4662
Modal	2	0,68	0,4191	0,0899	0	0,841	0,09	0	0,0201	0,092	0,3682	0,0201	0,128	0,8344
Modal	3	0,663	0,0472	0,7368	0	0,8882	0,8267	0	0,1801	0,0128	0,0443	0,2002	0,1409	0,8786
Modal	4	0,302	0,052	0,0001	0	0,9402	0,8269	0	0,0004	0,4589	0,0341	0,2006	0,5998	0,9127
Modal	5	0,248	0,0245	0,0001	0	0,9647	0,827	0	0,0028	0,2486	0,0565	0,2034	0,8484	0,9692
Modal	6	0,218	6,02E-06	0,1073	0	0,9647	0,9343	0	0,5978	0,0001	0,0003	0,8012	0,8485	0,9696
Modal	7	0,188	0,0197	0,0003	0	0,9844	0,9346	0	0,0011	0,0786	0,001	0,8023	0,927	0,9705
Modal	8	0,152	0,0044	0,0003	0	0,9887	0,9349	0	0,001	0,0242	0,0222	0,8033	0,9512	0,9927
Modal	9	0,141	0,0068	0,0001	0	0,9955	0,9349	0	0,0001	0,0297	0,0006	0,8034	0,9809	0,9933
Modal	10	0,131	0,0001	0,0394	0	0,9957	0,9743	0	0,1059	0,0007	0,0004	0,9093	0,9816	0,9938
Modal	11	0,107	0,0023	1,50E-05	0	0,998	0,9743	0	0,0001	0,01	0,0047	0,9094	0,9916	0,9985
Modal	12	0,084	2,02E-05	0,0225	0	0,998	0,9968	0	0,0792	0,0001	0,0002	0,9886	0,9917	0,9987

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. BONIFAZ														
Cas0	Mod0	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,844	0,1511	0,6371	0	0,1511	0,6371	0	0,1989	0,043	0,0149	0,1989	0,043	0,0149
Modal	2	0,796	0,6256	0,1628	0	0,7766	0,7999	0	0,0492	0,1695	0,0314	0,248	0,2125	0,0462
Modal	3	0,684	0,0464	0,0008	0	0,823	0,8008	0	0,0003	0,0114	0,7764	0,2483	0,2239	0,8227
Modal	4	0,201	0,1342	0,0073	0	0,9572	0,8081	0	0,0247	0,6075	0,0066	0,273	0,8314	0,8293
Modal	5	0,19	0,0065	0,1554	0	0,9637	0,9634	0	0,5947	0,0328	0,0005	0,8677	0,8642	0,8298
Modal	6	0,174	0,0047	0,0017	0	0,9684	0,9652	0	0,0066	0,0238	0,1383	0,8743	0,8879	0,968
Modal	7	0,087	0,031	0,0001	0	0,9994	0,9652	0	0,0002	0,1097	0,0007	0,8745	0,9977	0,9688
Modal	8	0,078	0,0002	0,03	0	0,9995	0,9952	0	0,1082	0,0006	0,0041	0,9827	0,9983	0,9729
Modal	9	0,076	0,0004	0,0047	0	0,9999	0,9999	0	0,017	0,0014	0,0271	0,9997	0,9997	0,9999

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. CHICAIZA														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	1,018	0,1365	0,0062	0	0,1365	0,0062	0	0,0012	0,0682	0,7129	0,0012	0,0682	0,7129
Modal	2	0,756	0,0912	0,7473	0	0,2277	0,7535	0	0,1559	0,0202	0,003	0,1571	0,0884	0,7159
Modal	3	0,745	0,5993	0,088	0	0,827	0,8415	0	0,0219	0,1115	0,142	0,1791	0,1999	0,8579
Modal	4	0,325	0,0232	0,0007	0	0,8502	0,8422	0	0,0053	0,1359	0,0768	0,1843	0,3358	0,9347
Modal	5	0,267	0,047	0,0297	0	0,8972	0,872	0	0,184	0,2535	0,0134	0,3683	0,5893	0,9481
Modal	6	0,261	0,0214	0,0663	0	0,9186	0,9383	0	0,4093	0,1434	0,0019	0,7776	0,7327	0,95
Modal	7	0,201	0,0022	0,0007	0	0,9209	0,9389	0	0,0021	0,0159	0,0328	0,7797	0,7486	0,9828
Modal	8	0,184	0,0471	0,0002	0	0,968	0,9392	0	0,001	0,1454	0,0001	0,7807	0,894	0,983

Modal	9	0,161	0,0003	0,0417	0	0,9683	0,9809	0	0,1507	0,0011	0,0006	0,9314	0,8951	0,9835
Modal	10	0,138	0,0005	0,0001	0	0,9688	0,981	0	0,0005	0,0036	0,013	0,9319	0,8986	0,9966
Modal	11	0,117	0,0272	0,0002	0	0,996	0,9812	0	0,0003	0,0876	0,0028	0,9322	0,9862	0,9994
Modal	12	0,105	0,0001	0,0167	0	0,9961	0,9979	0	0,0581	0,0003	0,0002	0,9903	0,9865	0,9995

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SRA. FLORES														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	1,007	0,157	0,285	0	0,157	0,285	0	0,03	0,0313	0,422	0,03	0,0313	0,422
Modal	2	0,814	0,6511	0,0952	0	0,8081	0,3802	0	0,0186	0,1775	0,0603	0,0487	0,2088	0,4823
Modal	3	0,585	0,0046	0,4717	0	0,8127	0,8519	0	0,1281	0,0027	0,381	0,1768	0,2115	0,8633
Modal	4	0,297	0,0396	0,0257	0	0,8523	0,8776	0	0,1374	0,2242	0,0418	0,3142	0,4357	0,9051
Modal	5	0,255	0,0697	0,0117	0	0,922	0,8894	0	0,068	0,3549	0,027	0,3821	0,7906	0,9321
Modal	6	0,217	0,0001	0,0676	0	0,9221	0,957	0	0,4531	0,0001	0,0204	0,8353	0,7906	0,9526
Modal	7	0,195	0,0007	0,0002	0	0,9229	0,9571	0	0,0081	0,0003	0,0137	0,8434	0,7909	0,9663
Modal	8	0,177	0,0383	0,0004	0	0,9611	0,9575	0	0,0009	0,0897	0,0026	0,8443	0,8806	0,9688
Modal	9	0,143	0,0057	2,50E-06	0	0,9668	0,9575	0	3,89E-06	0,0197	0,0155	0,8443	0,9003	0,9844
Modal	10	0,135	0,0003	0,0295	0	0,9671	0,987	0	0,1064	0,0022	0,0035	0,9507	0,9026	0,9879
Modal	11	0,115	0,0285	0,0026	0	0,9956	0,9896	0	0,0055	0,084	0,0084	0,9562	0,9866	0,9964
Modal	12	0,099	0,0001	0,0088	0	0,9957	0,9984	0	0,0355	0,0001	0,0026	0,9917	0,9867	0,9989

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. YUPANQUI														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,962	0,8414	0,0067	0	0,8414	0,0067	0	0,0012	0,1687	0,0196	0,0012	0,1687	0,0196
Modal	2	0,826	0,0276	0,3807	0	0,8689	0,3875	0	0,0823	6,17E-06	0,4487	0,0835	0,1687	0,4683
Modal	3	0,69	0,0019	0,4461	0	0,8709	0,8336	0	0,1219	0,003	0,3628	0,2054	0,1717	0,8311
Modal	4	0,285	0,0962	0,0001	0	0,9671	0,8337	0	0,003	0,7179	0,0053	0,2085	0,8896	0,8364
Modal	5	0,247	0,0025	0,0246	0	0,9696	0,8583	0	0,1709	0,0171	0,0758	0,3794	0,9067	0,9121
Modal	6	0,22	1,59E-05	0,0894	0	0,9696	0,9477	0	0,4555	0,0002	0,0271	0,8349	0,9069	0,9392
Modal	7	0,167	0,0161	0,0002	0	0,9857	0,9479	0	0,0007	0,0376	0,0045	0,8356	0,9445	0,9437
Modal	8	0,143	0,0042	0,0007	0	0,9899	0,9486	0	0,0018	0,0082	0,0304	0,8374	0,9527	0,974
Modal	9	0,13	0,0006	0,0329	0	0,9904	0,9815	0	0,0962	0,0014	0,0046	0,9336	0,9541	0,9786
Modal	10	0,115	0,0082	0,0002	0	0,9986	0,9817	0	0,0005	0,0375	0,0026	0,9341	0,9916	0,9812
Modal	11	0,091	0,0001	0,0008	0	0,9987	0,9825	0	0,004	0,0006	0,0126	0,938	0,9922	0,9937
Modal	12	0,084	1,55E-05	0,0145	0	0,9987	0,9969	0	0,051	0,0001	0,0033	0,989	0,9923	0,997

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. CHAVEZ														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,585	0,6178	0,0009	0	0,6178	0,0009	0	1,49E-05	0,0899	0,3069	1,49E-05	0,0899	0,3069
Modal	2	0,456	0,0368	0,7951	0	0,6546	0,796	0	0,1584	0,0072	0,0544	0,1584	0,0971	0,3613
Modal	3	0,268	0,2539	0,0876	0	0,9085	0,8836	0	0,018	0,0494	0,5383	0,1764	0,1465	0,8995
Modal	4	0,168	0,0607	0,0004	0	0,9692	0,884	0	0,0004	0,6326	0,0198	0,1769	0,7792	0,9194
Modal	5	0,125	0,004	0,096	0	0,9732	0,98	0	0,7155	0,0219	0,0103	0,8924	0,8011	0,9297
Modal	6	0,095	0,0263	0,0197	0	0,9996	0,9997	0	0,1051	0,1917	0,0696	0,9975	0,9928	0,9993
Modal	7	0,038	1,21E-05	0	0	0,9996	0,9997	0	0	0,0001	2,78E-05	0,9975	0,9928	0,9993
Modal	8	0,029	4,97E-05	0,0002	0	0,9996	1	0	0,0018	0,001	0,0001	0,9993	0,9939	0,9994
Modal	9	0,024	0,0002	3,36E-06	0	0,9998	1	0	0,0004	0,0055	0,0004	0,9997	0,9994	0,9998
Modal	10	0,015	0,0001	1,29E-05	0	1	1	0	8,03E-06	0,0001	0,0002	0,9997	0,9995	1
Modal	11	0,009	1,30E-06	9,38E-07	0	1	1	0	2,68E-05	0,0002	2,31E-06	0,9997	0,9997	1
Modal	12	0,001	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,9997	0,9997	1

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. MORA														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,455	0,4305	0,0814	0	0,4305	0,0814	0	0,0224	0,1156	0,38	0,0224	0,1156	0,38
Modal	2	0,327	0,2594	0,5847	0	0,6899	0,6662	0	0,1571	0,0525	0,0347	0,1795	0,1681	0,4147
Modal	3	0,27	0,1984	0,2015	0	0,8883	0,8677	0	0,0509	0,0375	0,4685	0,2304	0,2056	0,8832
Modal	4	0,117	0,0539	0,0111	0	0,9422	0,8788	0	0,0686	0,3541	0,0488	0,299	0,5597	0,9321
Modal	5	0,096	0,0302	0,0816	0	0,9724	0,9604	0	0,5087	0,2185	0,0025	0,8078	0,7782	0,9346
Modal	6	0,086	0,0224	0,0321	0	0,9948	0,9925	0	0,1547	0,1889	0,0575	0,9625	0,9671	0,9921
Modal	7	0,019	0,0026	2,73E-05	0	0,9974	0,9925	0	3,11E-05	0,0164	0,0021	0,9625	0,9835	0,9942
Modal	8	0,018	0,0004	0,0019	0	0,9978	0,9944	0	0,0083	0,003	0,0022	0,9708	0,9866	0,9964
Modal	9	0,014	0,0019	1,73E-05	0	0,9998	0,9944	0	0,0006	0,012	0,0015	0,9714	0,9986	0,9979
Modal	10	0,014	0,0001	0,0027	0	0,9999	0,9971	0	0,0139	0,0005	0,0019	0,9853	0,9991	0,9998
Modal	11	0,012	0	0,0005	0	0,9999	0,9976	0	0,0028	4,45E-06	2,90E-06	0,9881	0,9991	0,9998
Modal	12	0,011	2,70E-06	0,0004	0	0,9999	0,9981	0	0,0022	0,0001	0,0001	0,9903	0,9992	0,9999

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. RODRIGUEZ														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,335	0,094	0,3753	0	0,094	0,3753	0	0,1375	0,0274	0,385	0,1375	0,0274	0,385
Modal	2	0,227	0,4673	0,3028	0	0,5613	0,6781	0	0,0994	0,1741	0,0616	0,2368	0,2015	0,4466
Modal	3	0,187	0,2236	0,1546	0	0,7848	0,8327	0	0,0398	0,1324	0,4083	0,2766	0,3339	0,8549
Modal	4	0,107	0,0169	0,09	0	0,8017	0,9227	0	0,3025	0,0967	0,0466	0,5792	0,4306	0,9016
Modal	5	0,081	0,1045	0,048	0	0,9062	0,9707	0	0,2584	0,3464	0,0008	0,8376	0,777	0,9024
Modal	6	0,069	0,0718	0,0167	0	0,978	0,9874	0	0,1021	0,1507	0,0785	0,9397	0,9277	0,9809
Modal	7	0,021	0,0003	0,0029	0	0,9783	0,9903	0	0,0141	0,0019	0,0036	0,9538	0,9295	0,9845
Modal	8	0,018	0,0025	0,0007	0	0,9808	0,991	0	0,002	0,0048	0,0014	0,9557	0,9344	0,9859
Modal	9	0,017	0,0008	0,0061	0	0,9816	0,997	0	0,03	0,0014	0,0005	0,9858	0,9358	0,9865
Modal	10	0,015	0,002	0,0025	0	0,9836	0,9996	0	0,0118	0,0034	0,0102	0,9975	0,9392	0,9967
Modal	11	0,011	0,0002	1,53E-05	0	0,9838	0,9996	0	0,0003	0,0006	0,0001	0,9979	0,9397	0,9968
Modal	12	0,011	0,0158	7,24E-06	0	0,9996	0,9996	0	0,0001	0,0588	0,0023	0,9979	0,9985	0,9991

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SRA. PALAQUIBAY														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,457	0,111	0,7211	0	0,111	0,7211	0	0,2683	0,0434	0,0049	0,2683	0,0434	0,0049
Modal	2	0,443	0,6559	0,1176	0	0,7669	0,8387	0	0,0439	0,2562	0,058	0,3122	0,2996	0,0629
Modal	3	0,425	0,0622	0,0004	0	0,8291	0,8392	0	0,0001	0,0253	0,7782	0,3124	0,325	0,841
Modal	4	0,092	2,95E-05	0,1504	0	0,8291	0,9896	0	0,6407	0,0001	0,0057	0,953	0,3251	0,8467
Modal	5	0,088	0,0061	0,0061	0	0,8353	0,9957	0	0,0239	0,024	0,1452	0,9769	0,3491	0,9919
Modal	6	0,082	0,1609	0,0004	0	0,9961	0,9961	0	0,0018	0,6313	0,0052	0,9787	0,9803	0,997
Modal	7	0,031	0,0017	4,62E-05	0	0,9978	0,9961	0	0,0003	0,0089	0,0008	0,9789	0,9892	0,9978
Modal	8	0,024	0,0014	2,59E-05	0	0,9992	0,9962	0	0,0002	0,006	0,0006	0,9792	0,9951	0,9984
Modal	9	0,016	0,0001	0,0015	0	0,9993	0,9976	0	0,0073	0,0004	0,0003	0,9865	0,9955	0,9987
Modal	10	0,012	4,04E-05	0,0017	0	0,9993	0,9993	0	0,009	0,0002	0,0004	0,9955	0,9957	0,9991
Modal	11	0,01	0,0001	0,0002	0	0,9994	0,9995	0	0,0011	0,0004	0,0003	0,9966	0,9961	0,9994
Modal	12	0,008	2,05E-05	0,0003	0	0,9994	0,9998	0	0,0018	0,0001	0,0003	0,9983	0,9962	0,9997

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. CHANGO														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,556	0,6349	0,0274	0	0,6349	0,0274	0	0,0055	0,0933	0,2512	0,0055	0,0933	0,2512
Modal	2	0,518	0,2816	0,0489	0	0,9165	0,0763	0	0,0083	0,0373	0,5785	0,0138	0,1306	0,8297
Modal	3	0,451	0,0005	0,8047	0	0,9169	0,881	0	0,161	5,81E-06	0,0715	0,1748	0,1306	0,9012
Modal	4	0,179	0,0732	0,0003	0	0,9901	0,8812	0	0,0001	0,8192	0,0001	0,1749	0,9497	0,9012
Modal	5	0,152	0,0001	0,0076	0	0,9902	0,8888	0	0,0728	0,0007	0,0851	0,2476	0,9504	0,9864
Modal	6	0,131	1,11E-05	0,1044	0	0,9903	0,9933	0	0,7176	0,0006	0,0103	0,9653	0,951	0,9966
Modal	7	0,031	0,0042	0,0003	0	0,9944	0,9936	0	0,0009	0,0327	0,0014	0,9661	0,9836	0,9981
Modal	8	0,028	0,0049	0	0	0,9993	0,9936	0	0	0,0111	0,001	0,9661	0,9948	0,9991
Modal	9	0,024	0,0002	0,0013	0	0,9995	0,9949	0	0,0063	0,0026	0,0001	0,9724	0,9973	0,9992
Modal	10	0,019	0,0001	0,0035	0	0,9996	0,9984	0	0,0189	0,0004	0,0006	0,9913	0,9977	0,9998
Modal	11	0,017	3,59E-05	0,0006	0	0,9996	0,999	0	0,0031	0,0001	8,30E-07	0,9944	0,9978	0,9998
Modal	12	0,014	1,63E-05	3,43E-05	0	0,9996	0,999	0	0,0002	0,0005	4,69E-05	0,9946	0,9983	0,9998

Fuente: Etabs 2016

9.6 ANEXO 6

Tablas de participación modal de Viviendas después del Reforzamiento. En las tablas a continuación se resaltan valores que indican una buena repartición de masa, rotación en el tercer modo de vibración y sumatorias de masa y rotación mínimo del 90%.

VIVIENDA SR. CARRASCO														
Caso	Modo	Periodo	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,541	0,8889	2,20E-05	0	0,8889	2,20E-05	0	1,76E-06	0,1427	0,0106	1,76E-06	0,1427	0,0106
Modal	2	0,261	0,0001	0,8641	0	0,889	0,8641	0	0,1703	0,0001	2,27E-06	0,1703	0,1429	0,0106
Modal	3	0,188	0,0775	0,0002	0	0,9664	0,8643	0	0	0,7348	0,3492	0,1703	0,8777	0,3598
Modal	4	0,121	0,0239	0	0	0,9903	0,8643	0	0,0002	0,0813	0,1538	0,1705	0,959	0,5136
Modal	5	0,09	0,0002	0,104	0	0,9905	0,9684	0	0,7222	0,0007	0,001	0,8926	0,9597	0,5146
Modal	6	0,085	0,0077	0,0022	0	0,9982	0,9706	0	0,0144	0,0323	0,03	0,907	0,992	0,5447
Modal	7	0,056	0	0,0167	0	0,9982	0,9872	0	0,0286	0	2,54E-05	0,9357	0,992	0,5447
Modal	8	0,045	0	0,0102	0	0,9982	0,9974	0	0,0549	1,50E-06	0,0002	0,9906	0,992	0,5449
Modal	9	0,016	0,0005	3,27E-05	0	0,9987	0,9975	0	0,0001	0,0023	0,0143	0,9907	0,9943	0,5593
Modal	10	0,013	0,0006	3,79E-06	0	0,9993	0,9975	0	2,56E-05	0,0026	0,0144	0,9907	0,9969	0,5737
Modal	11	0,011	0,0001	0,0003	0	0,9995	0,9978	0	0,0009	0,0007	0,0081	0,9916	0,9976	0,5818

Modal	12	0,01	0,0002	0,0007	0	0,9997	0,9985	0	0,0031	0,0011	0,1398	0,9946	0,9987	0,7216
Modal	13	0,009	0,0001	0,0013	0	0,9998	0,9998	0	0,0044	0,0007	0,1646	0,999	0,9993	0,8863
Modal	14	0,009	0,0001	0,0001	0	1	0,9999	0	0,0006	0,0005	0,023	0,9996	0,9998	0,9093
Modal	15	0,008	5,11E-07	1,61E-05	0	1	0,9999	0	2,56E-05	1,01E-05	0,0008	0,9997	0,9998	0,9102
Modal	16	0,008	1,71E-06	9,04E-06	0	1	0,9999	0	4,62E-05	3,97E-06	0,0009	0,9997	0,9998	0,911
Modal	17	0,007	2,97E-06	2,22E-05	0	1	1	0	0,0001	0	0,0489	0,9998	0,9998	0,9599
Modal	18	0,001	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,9998	0,9998	0,9599
Modal	19	0,001	0	0	0	1	1	0	0	0	0,0222	0,9998	0,9998	0,9821
Modal	20	0,001	0	0	0	1	1	0	0	0	2,49E-05	0,9998	0,9998	0,9821
Modal	21	0,001	0	0	0	1	1	0	0	0	3,73E-06	0,9998	0,9998	0,9821

Fuente: Etabs 2016

BONIFAZ														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,449	0,8568	0,0083	0	0,8568	0,0083	0	0,0023	0,1749	0,0003	0,0023	0,1749	0,0003
Modal	2	0,358	0,009	0,809	0	0,8658	0,8173	0	0,2268	0,0015	0,0001	0,2291	0,1764	0,0003
Modal	3	0,189	0,0024	0,0005	0	0,8681	0,8178	0	0,0006	0,0076	0,9839	0,2296	0,184	0,9842
Modal	4	0,151	0,1063	0,0032	0	0,9744	0,821	0	0,0115	0,6873	0,014	0,2411	0,8713	0,9982
Modal	5	0,137	0,0023	0,1518	0	0,9768	0,9729	0	0,593	0,0142	0,0005	0,8342	0,8855	0,9987
Modal	6	0,073	0,0231	0,0001	0	0,9999	0,973	0	0,0004	0,1138	0,0002	0,8346	0,9993	0,9989

Modal	7	0,061	0,0001	0,027	0	0,9999	0,9999	0	0,165	0,0004	2,49E-05	0,9997	0,9997	0,9989
Modal	8	0,001	0	0	0	0,9999	0,9999	0	0	0	0	0,9997	0,9997	0,9989
Modal	9	0,001	0	0	0	0,9999	0,9999	0	0	0	0	0,9997	0,9997	0,9989

Fuente: Etabs 2016

CHICAIZA														
Caso	Modo	Período segundos	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	2	0,349	0,0013	0,785	0	0,7824	0,7874	0	0,2364	0,0011	0,0008	0,2367	0,2324	0,0633
Modal	3	0,223	0,082	0,0008	0	0,8645	0,7881	0	0,0001	0,0968	0,8433	0,2367	0,3292	0,9065
Modal	4	0,172	0,0013	0,1472	0	0,8658	0,9353	0	0,4045	0,0095	0,0005	0,6412	0,3387	0,907
Modal	5	0,162	0,0603	0,0037	0	0,9261	0,9391	0	0,0092	0,2814	0,0503	0,6504	0,6201	0,9573
Modal	6	0,115	0,0513	0,0003	0	0,9774	0,9394	0	0,0029	0,2623	1,37E-05	0,6533	0,8823	0,9573
Modal	7	0,106	0,0006	0,0408	0	0,9779	0,9802	0	0,2124	0,0023	0,0008	0,8657	0,8846	0,9581
Modal	8	0,077	0,0198	0,0001	0	0,9977	0,9803	0	0,0006	0,1048	0,0012	0,8663	0,9894	0,9593
Modal	9	0,069	0,0002	0,0182	0	0,998	0,9985	0	0,1254	0,0011	5,55E-06	0,9917	0,9905	0,9593
Modal	10	0,012	3,01E-06	0	0	0,998	0,9985	0	1,87E-06	3,04E-06	0,0084	0,9917	0,9905	0,9677
Modal	11	0,011	0,0016	1,29E-05	0	0,9996	0,9985	0	0,0001	0,008	0,0049	0,9918	0,9985	0,9726
Modal	12	0,011	3,24E-05	2,08E-06	0	0,9996	0,9985	0	0	0,0003	0,0029	0,9918	0,9988	0,9755

Modal	13	0,011	0,0001	4,59E-05	0	0,9997	0,9986	0	0,0003	0,0004	0,0158	0,9921	0,9992	0,9913
Modal	14	0,009	3,17E-05	0,0007	0	0,9997	0,9992	0	0,0033	0,0001	0,0002	0,9954	0,9992	0,9915
Modal	15	0,008	0,0001	0,0007	0	0,9998	0,9999	0	0,0041	0,0001	0,0007	0,9994	0,9994	0,9922
Modal	16	0,007	0,0002	0,0001	0	1	1	0	0,0003	0,0005	0,0019	0,9998	0,9998	0,9941
Modal	17	0,007	6,48E-06	5,37E-06	0	1	1	0	3,00E-05	2,85E-05	0,0018	0,9998	0,9999	0,9959
Modal	18	0,007	3,68E-06	1,94E-05	0	1	1	0	0,0001	1,41E-05	0,0025	0,9999	0,9999	0,9984
Modal	19	0,001	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,9999	0,9999	0,9984
Modal	20	0,001	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,9999	0,9999	0,9984
Modal	21	0,001	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,9999	0,9999	0,9984

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SRA. FLORES														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,516	0,8457	0	0	0,8457	0	0	0,0001	0,1876	0,0001	0,0001	0,1876	0,0001
Modal	2	0,487	0,0001	0,8367	0	0,8457	0,8367	0	0,1992	4,16E-05	0,0113	0,1993	0,1877	0,0114
Modal	3	0,173	0,0409	0,0682	0	0,8867	0,9049	0	0,3641	0,2662	0,1077	0,5635	0,4539	0,1191
Modal	4	0,161	0,0719	0,0469	0	0,9586	0,9518	0	0,2314	0,4094	0,0729	0,7948	0,8633	0,192
Modal	5	0,107	0,0171	0,0074	0	0,9757	0,9591	0	0,0378	0,0504	0,0341	0,8326	0,9136	0,2262
Modal	6	0,1	0,0052	0,0213	0	0,9809	0,9804	0	0,0906	0,0153	0,0942	0,9232	0,929	0,3204
Modal	7	0,079	0,0159	0,0001	0	0,9968	0,9806	0	0,0011	0,0599	0,0005	0,9243	0,9889	0,3209

Modal	8	0,07	0,0005	0,0175	0	0,9972	0,9981	0	0,0676	0,0013	0,0203	0,9919	0,9902	0,3412
Modal	9	0,031	0,0002	0,0001	0	0,9975	0,9981	0	0,0005	0,0001	0,007	0,9923	0,9903	0,3481
Modal	10	0,028	0,0001	2,23E-06	0	0,9976	0,9982	0	0,0002	0,0002	0,0731	0,9925	0,9905	0,4213
Modal	11	0,027	0,0001	0,0003	0	0,9977	0,9985	0	0,0006	0,0002	0,022	0,9931	0,9908	0,4432
Modal	12	0,026	0,0002	3,77E-06	0	0,9978	0,9985	0	0,0004	0,0019	0,2493	0,9935	0,9926	0,6925
Modal	13	0,024	0,0006	0,0002	0	0,9985	0,9987	0	0,001	0,0026	0,0242	0,9945	0,9952	0,7167
Modal	14	0,023	0,0002	0,0001	0	0,9986	0,9988	0	0,0003	0,0004	0,0063	0,9948	0,9956	0,723
Modal	15	0,02	0,0007	0,0002	0	0,9993	0,999	0	0,0007	0,0017	0,0039	0,9955	0,9973	0,727
Modal	16	0,019	0,0003	0,0001	0	0,9996	0,9991	0	0,0005	0,0015	0,0204	0,996	0,9987	0,7474
Modal	17	0,016	0,0002	2,54E-05	0	0,9998	0,9991	0	0,0001	0,0005	0,0147	0,9961	0,9992	0,7621
Modal	18	0,015	0	0,0004	0	0,9998	0,9996	0	0,0017	2,66E-05	0,0759	0,9979	0,9992	0,838
Modal	19	0,015	1,77E-05	3,45E-05	0	0,9998	0,9996	0	0,0001	0,0001	0,0164	0,998	0,9993	0,8544
Modal	20	0,013	5,15E-06	0	0	0,9998	0,9996	0	4,13E-05	1,19E-05	0,0058	0,998	0,9993	0,8602
Modal	21	0,013	0,0001	0,0002	0	0,9999	0,9998	0	0,0004	0,0003	0,0398	0,9984	0,9996	0,9

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. YUPANQUI														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												

Modal	1	0,371	0,8932	0,0004	0	0,8932	0,0004	0	4,21E-05	0,1634	0,0017	4,21E-05	0,1634	0,0017
Modal	2	0,306	0,0004	0,8649	0	0,8936	0,8653	0	0,1978	3,50E-05	0,0004	0,1978	0,1635	0,0021
Modal	3	0,124	0,0815	0,0001	0	0,975	0,8653	0	0,0007	0,7466	0,1035	0,1985	0,9101	0,1057
Modal	4	0,102	4,26E-05	0,1018	0	0,9751	0,9672	0	0,701	0,0007	0,0002	0,8995	0,9108	0,1058
Modal	5	0,072	0,0143	2,02E-05	0	0,9894	0,9672	0	1,45E-05	0,0223	0,1439	0,8995	0,9331	0,2498
Modal	6	0,061	3,22E-06	0,0185	0	0,9894	0,9857	0	0,0321	0	0,0014	0,9316	0,9331	0,2511
Modal	7	0,054	0,0091	3,86E-05	0	0,9984	0,9857	0	0,0001	0,0568	0,0362	0,9317	0,99	0,2873
Modal	8	0,044	1,48E-06	0,0122	0	0,9984	0,9979	0	0,0576	1,03E-05	0,0013	0,9893	0,99	0,2887
Modal	9	0,031	0,0001	0,0001	0	0,9985	0,998	0	0,0002	0,0011	0,1236	0,9895	0,9911	0,4123
Modal	10	0,023	0,0001	0,0001	0	0,9986	0,9981	0	0,0001	0,001	0,0094	0,9896	0,9921	0,4217
Modal	11	0,019	0,0001	1,93E-05	0	0,9987	0,9982	0	3,47E-06	0,0007	0,0183	0,9896	0,9928	0,44
Modal	12	0,017	7,13E-06	0,0005	0	0,9987	0,9987	0	0,0037	0,0001	0,07	0,9932	0,9928	0,51
Modal	13	0,016	0	2,13E-05	0	0,9987	0,9987	0	0,0001	2,18E-06	0,2664	0,9933	0,9928	0,7765
Modal	14	0,015	0	0	0	0,9987	0,9987	0	1,03E-05	0	0,1278	0,9933	0,9928	0,9042
Modal	15	0,012	9,30E-07	0	0	0,9987	0,9987	0	5,74E-06	3,97E-06	0,0002	0,9933	0,9928	0,9044
Modal	16	0,012	1,13E-06	0	0	0,9987	0,9987	0	1,55E-06	2,73E-06	0,0004	0,9933	0,9928	0,9049

Modal	17	0,009	2,26E-06	0,0007	0	0,9987	0,9994	0	0,0037	9,74E-06	0,0256	0,997	0,9928	0,9305
Modal	18	0,009	2,14E-05	4,34E-05	0	0,9988	0,9994	0	0,0004	0,0001	0,0084	0,9974	0,993	0,9388
Modal	19	0,008	0,0002	0,0004	0	0,9989	0,9999	0	0,0019	0,0011	0,002	0,9994	0,994	0,9409
Modal	20	0,008	0,0007	5,83E-06	0	0,9996	0,9999	0	0,0001	0,0038	0,0363	0,9994	0,9978	0,9771
Modal	21	0,007	0,0003	3,03E-05	0	0,9999	0,9999	0	4,57E-05	0,0016	0,0006	0,9995	0,9994	0,9778

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. CHAVEZ														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,433	0,5581	0,3153	0	0,5581	0,3153	0	0,0635	0,1094	0,0155	0,0635	0,1094	0,0155
Modal	2	0,36	0,266	0,5495	0	0,8241	0,8648	0	0,118	0,0746	0,0546	0,1815	0,184	0,0701
Modal	3	0,213	0,0915	0,0162	0	0,9156	0,881	0	0,0004	0,0196	0,854	0,1819	0,2036	0,9241
Modal	4	0,129	0,07	0,021	0	0,9856	0,902	0	0,1497	0,6524	0,0486	0,3316	0,856	0,9727
Modal	5	0,108	0,0139	0,0977	0	0,9995	0,9997	0	0,6659	0,1368	0,021	0,9974	0,9927	0,9937
Modal	6	0,038	1,39E-05	0	0	0,9996	0,9997	0	0	0,0001	0,0004	0,9974	0,9928	0,9941
Modal	7	0,029	0,0001	0,0002	0	0,9996	0,9999	0	0,0019	0,0011	0,0005	0,9993	0,9939	0,9945
Modal	8	0,024	0,0002	3,66E-06	0	0,9998	1	0	0,0004	0,0055	0,0001	0,9997	0,9994	0,9947
Modal	9	0,015	0,0001	1,34E-05	0	1	1	0	9,09E-06	0,0001	0,0051	0,9997	0,9995	0,9997
Modal	10	0,009	1,30E-06	9,47E-07	0	1	1	0	2,68E-05	0,0002	0,0001	0,9997	0,9997	0,9998
Modal	11	0,000462	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,9997	0,9997	0,9998
Modal	12	0,000456	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,9997	0,9997	0,9998

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. MORA														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,279	0,7268	0,0365	0	0,7268	0,0365	0	0,0168	0,26	0,0707	0,0168	0,26	0,0707
Modal	2	0,246	0,0469	0,7861	0	0,7737	0,8225	0	0,2627	0,0102	0,0003	0,2794	0,2702	0,071

Modal	3	0,171	0,0803	0,0083	0	0,854	0,8309	0	0,0004	3,87E-05	0,7932	0,2798	0,2703	0,8642
Modal	4	0,093	0,1423	0,0001	0	0,9962	0,831	0	0,0001	0,6956	0,0172	0,2799	0,9659	0,8814
Modal	5	0,089	1,51E-05	0,1629	0	0,9963	0,9939	0	0,6818	0,0001	0,0037	0,9617	0,9661	0,8851
Modal	6	0,017	0,0009	7,97E-06	0	0,9972	0,9939	0	0,0002	0,0111	0,0002	0,9619	0,9772	0,8853
Modal	7	0,016	0,0001	0,0002	0	0,9972	0,9941	0	0,0021	0,001	0,0041	0,964	0,9781	0,8894
Modal	8	0,015	0,0023	4,12E-06	0	0,9996	0,9941	0	0,0002	0,0165	0,0458	0,9642	0,9947	0,9352
Modal	9	0,013	0,0002	0,0043	0	0,9997	0,9983	0	0,0259	0,0019	0,0292	0,9901	0,9966	0,9645
Modal	10	0,011	3,86E-05	2,26E-05	0	0,9998	0,9983	0	0,0001	0,0013	0,003	0,9902	0,9979	0,9675
Modal	11	0,009	0,0001	0,0013	0	0,9999	0,9997	0	0,0063	0,0014	0,0027	0,9964	0,9992	0,9702
Modal	12	0,009	0	0	0	0,9999	0,9997	0	0,0001	0	1,52E-06	0,9965	0,9992	0,9702

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. RODRIGUEZ														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,23	0,042	0,6149	0	0,042	0,6149	0	0,3096	0,0319	0,0993	0,3096	0,0319	0,0993
Modal	2	0,184	0,6676	0,0759	0	0,7096	0,6908	0	0,0175	0,3567	0,0035	0,3271	0,3886	0,1028
Modal	3	0,133	0,0292	0,1534	0	0,7388	0,8442	0	0,002	0,001	0,5938	0,329	0,3896	0,6966
Modal	4	0,084	0,0052	0,1419	0	0,744	0,986	0	0,5904	0,0069	0,073	0,9194	0,3964	0,7696
Modal	5	0,078	0,2369	0,0035	0	0,9809	0,9896	0	0,0131	0,5263	0,0057	0,9325	0,9228	0,7753
Modal	6	0,018	2,23E-05	0,0002	0	0,981	0,9898	0	0,0057	0,0003	0,0397	0,9382	0,923	0,815

Modal	7	0,017	0,0019	0,0062	0	0,9828	0,9959	0	0,0328	0,0042	0,0012	0,971	0,9272	0,8161
Modal	8	0,016	5,74E-06	4,75E-05	0	0,9828	0,996	0	0,0002	0,0006	0,0077	0,9712	0,9278	0,8239
Modal	9	0,014	0,0023	0,0035	0	0,9851	0,9995	0	0,026	0,0068	0,1037	0,9973	0,9346	0,9275
Modal	10	0,011	6,76E-06	1,17E-05	0	0,9851	0,9995	0	0,0002	3,71E-06	0,0011	0,9975	0,9346	0,9287
Modal	11	0,01	0,0145	1,88E-05	0	0,9996	0,9996	0	0,0002	0,0638	0,0101	0,9976	0,9984	0,9387
Modal	12	0,008	3,86E-05	7,77E-06	0	0,9997	0,9996	0	2,94E-05	0,0002	0,0316	0,9977	0,9986	0,9704

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SRA. PALAQUIBAY (DIAFRAGMA EN DESCANSOS)														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,196	0,0009	0,9401	0	0,0009	0,9401	0	0,1695	0,0001	0,0011	0,1695	0,0001	0,0011
Modal	2	0,18	0,9474	0,0009	0	0,9482	0,9409	0	0,0002	0,1571	0,0004	0,1697	0,1573	0,0015
Modal	3	0,065	1,54E-05	0,0556	0	0,9483	0,9966	0	0,8094	0,0005	0,0013	0,9791	0,1577	0,0028
Modal	4	0,06	0,048	4,23E-05	0	0,9962	0,9966	0	0,0005	0,8233	0,0022	0,9796	0,981	0,0051
Modal	5	0,031	0,0017	0,0001	0	0,998	0,9967	0	0,0006	0,0088	0,0246	0,9801	0,9899	0,0297
Modal	6	0,024	0,0013	2,54E-05	0	0,9993	0,9967	0	0,0001	0,0052	0,3799	0,9803	0,9951	0,4096
Modal	7	0,015	0,0001	0,001	0	0,9994	0,9977	0	0,0052	0,0005	0,0208	0,9855	0,9956	0,4304
Modal	8	0,012	4,43E-05	0,0016	0	0,9995	0,9993	0	0,0092	0,0002	0,1618	0,9947	0,9958	0,5922

Modal	9	0,009	0,0001	0,0002	0	0,9995	0,9996	0	0,0017	0,0003	9,62E-06	0,9963	0,9961	0,5922
Modal	10	0,008	1,27E-05	0,0002	0	0,9995	0,9998	0	0,0018	0,0001	0,2884	0,9981	0,9962	0,8807
Modal	11	0,004	0,0001	0	0	0,9996	0,9998	0	1,30E-06	0,0003	0,0006	0,9981	0,9965	0,8813
Modal	12	0,003	0,0002	0	0	0,9997	0,9998	0	0	0,0016	0,0187	0,9981	0,9981	0,9001

Fuente: Etabs 2016

VIVIENDA SR. CHANGO (DIAFRAGMA EN DESCANSOS)														
Caso	Modo	Período	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		segundos												
Modal	1	0,29	0,9204	4,92E-05	0	0,9204	4,92E-05	0	3,53E-05	0,1491	0,0007	3,53E-05	0,1491	0,0007
Modal	2	0,229	0,0001	0,9123	0	0,9205	0,9123	0	0,1603	1,51E-06	0,0036	0,1603	0,1491	0,0043
Modal	3	0,1	0,0725	3,47E-05	0	0,993	0,9124	0	4,09E-06	0,8123	0,0011	0,1603	0,9615	0,0054
Modal	4	0,076	3,93E-06	0,0818	0	0,993	0,9942	0	0,8092	1,81E-05	0,0029	0,9695	0,9615	0,0083
Modal	5	0,027	0,0035	3,55E-05	0	0,9965	0,9942	0	0,0002	0,026	1,26E-05	0,9697	0,9875	0,0083
Modal	6	0,025	0,002	0,0001	0	0,9985	0,9943	0	0,0005	0,0048	0,3054	0,9702	0,9924	0,3137
Modal	7	0,018	2,30E-06	0,0015	0	0,9985	0,9958	0	0,0069	0,0001	0,113	0,9771	0,9925	0,4267
Modal	8	0,013	0,0002	0,0037	0	0,9988	0,9996	0	0,0202	0,0006	0,2851	0,9973	0,993	0,7118
Modal	9	0,013	0,0005	1,69E-05	0	0,9993	0,9996	0	4,53E-05	0,0032	0,0348	0,9974	0,9963	0,7466

Modal	10	0,01	0,0003	0,0003	0	0,9996	0,9999	0	0,002	0,001	0,0801	0,9994	0,9973	0,8266
Modal	11	0,01	0,0002	0	0	0,9998	0,9999	0	0	0,0011	0,0015	0,9994	0,9984	0,8282
Modal	12	0,007	0,0002	0	0	0,9999	0,9999	0	1,20E-06	0,0011	0,1508	0,9994	0,9995	0,979