



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil”

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Título del proyecto:

**“OBTENCIÓN DE MAPAS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA
DE LAS VIVIENDAS CONSTRUIDAS EN EL BARRIO LA LIBERTAD DE
LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

Autores:

Luis Gustavo Buñay Guachizaca

Flor Aurora Tenelema Guaranga

Director: Ing. Diego Barahona R., M.Sc.

Riobamba - Ecuador

2014

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título **“OBTENCIÓN DE MAPAS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS VIVIENDAS CONSTRUIDAS EN EL BARRIO LA LIBERTAD DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”** presentado por: **Luis Gustavo Buñay Guachizaca y Flor Aurora Tenelema Guaranga** y dirigido por: **Ingeniero Diego Barahona**.

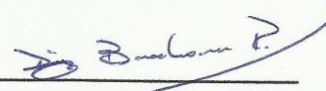
Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Ángel Paredes.
Presidente del Tribunal


Firma

Ing. Diego Barahona R.
Director del Proyecto


Firma

Ing. Alexis Martínez.
Miembro del Tribunal


Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: Luis Gustavo Buñay Guachizaca, Flor Aurora Tenelema Guaranga e Ing. Diego Barahona, y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo y del ICITS.

AGRADECIMIENTO.

Hacemos llegar un cordial y afectuoso agradecimiento a todos los docentes que a lo largo de toda la carrera supieron transmitir conceptos que fueron muy útiles y beneficiosos en la elaboración de nuestro proyecto.

De manera especial queremos agradecer a nuestro director, presidente y miembro del tribunal de tesis, Ing. Diego Barahona R, Ing. Ángel Paredes e Ing. Alexis Martínez por su paciencia y valiosa dirección, en el desarrollo de este proyecto.

DEDICATORIA.

Este trabajo de investigación se la dedico a Dios, que día a día guía mi camino y me da fortaleza para seguir adelante y por quien he llegado hacer lo que soy ahora.

A mis padres por haber estado a mi lado brindándome su apoyo, amor, comprensión, consejos y por haberme ayudado con los recursos necesarios para estudiar.

A mi hermana por darme aliento a que siga adelante y apoyarme en los momentos difíciles.

A mi pequeño sobrino quien llego a la familia para llenarlo de felicidad.

FLOR AURORA TENELEMA GUARANGA

DEDICATORIA.

A Dios

Por sus infinitas bendiciones, por ser el motor principal de mi vida y permitirme estar creando esta nueva etapa de vida

A mis padres

Segundo Buñay y Rosa Guachizaca, porque confiaron en mí, y me apoyaron cada día para seguir adelante, porque este logro en gran parte es gracias a ustedes y hoy puedo ver alcanzada una meta más.

Finalmente mi dedicatoria estaría incompleta sino hiciera referencia a mi hermano, Francisco, quien siempre me ha brindado la motivación para llegar lejos.

LUIS GUSTAVO BUÑAY GUACHIZACA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	2
1.1 GENERALIDADES DE SISMOLOGÍA.....	2
1.1.1 Origen de los Sismos.	2
1.1.1.1 Deriva Continental.	2
1.1.1.2 Composición de la Tierra.	3
1.1.1.3 Placas Tectónicas.	4
1.1.1.4 Cinturón Circunpacífico.	5
1.1.2 Partes de un Sismo.....	6
1.1.2.1 Hipocentro o Foco.....	6
1.1.2.2 Epicentro.	6
1.1.2.3 Isosistas.	6
1.1.3 Escalas de Medición de los Sismos.	7
1.1.3.1 Escala de Richter.	7
1.1.3.2 Escala de Mercalli.	7
1.2 VULNERABILIDAD, AMENAZA Y RIESGO SÍSMICO.	8
1.2.1 Vulnerabilidad.	8
1.2.2 Amenaza o Peligro Sísmico.	8
1.2.3 Riesgo Sísmico.	9
1.3 SISMICIDAD.	9
1.3.1 Ecuador y su Sismicidad.	10
1.3.2 Sismicidad en Chimborazo.	13
1.4 PELIGROSIDAD SÍSMICA.	16
1.5 VULNERABILIDAD SÍSMICA.	17
1.5.1 Informalidad en la Construcción.	18

1.5.2 Daños en las Edificaciones.....	19
1.5.1.1 Daño Estructural.	19
1.5.1.2 Daño No Estructural.....	19
1.5.3 Factores que Influyen en el Comportamiento Sísmico de las Estructuras	20
1.5.3.1 Problemas de Configuración en Planta.....	20
1.5.3.2 Problemas de Configuración en Altura.	22
1.5.3.3 Golpeteo o El Problema de Colindancia.	25
1.5.3.4 Mala Calidad de los Materiales.	25
1.5.3.5 Suelos No favorables.	25
1.5.3.6 Mano de Obra no Calificada.....	26
1.5.3.7 Ampliaciones no previstas.....	26
1.6 METODOLOGÍAS PARA EL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.	27
1.6.1 Metodología propuesta por la SNGR para el Cálculo del Índice de Vulnerabilidad.....	28
1.6.1.1 Sistema Estructural.	29
1.6.1.2 Tipo de Material de Paredes.	29
1.6.1.3 Tipo de Cubierta.	29
1.6.1.4 Entrepisos.	30
1.6.1.5 Número de Pisos.	30
1.6.1.6 Año de Construcción.....	30
1.6.1.7 Estado de Conservación.	30
1.6.1.8 Características del Suelo.	30
1.6.1.9 Topografía del Sitio.	30
1.6.1.10 Forma de la Construcción.....	30
1.6.2 Metodología Italiana para el Cálculo del Índice de Vulnerabilidad. 33	
1.6.2.1 Organización del Sistema Resistente.	34
1.6.2.2 Calidad del Sistema Resistente.....	37
1.6.2.3 Resistencia Convencional.....	38
1.6.2.4 Posición del Edificio y Cimentación.....	40

1.6.2.5 Losas.	41
1.6.2.6 Configuración en Planta.	42
1.6.2.7 Configuración en Elevación.	45
1.6.2.8 Conexión Elementos Críticos.	47
1.6.2.9 Elementos con Baja Ductilidad.	48
1.6.2.10 Elementos No Estructurales.	49
1.6.2.11 Estado de Conservación.	50
CAPÍTULO II.....	52
METODOLOGÍA.....	52
2.1 TIPO DE ESTUDIO.....	52
2.1.1 Descriptivo.	52
2.1.2 Evaluativo.	52
2.1.3 Comparativo.	52
2.1.4 Aplicativo.....	52
2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	53
2.2.1 Población.....	53
2.2.2 Muestra.	54
2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	55
2.4 PROCEDIMIENTOS.	56
2.4.1 Socialización Proyecto de Investigación.	56
2.4.2 Levantamiento Topográfico del Barrio a Nivel Predial.....	56
2.4.2.1 Trabajo de Campo.....	57
2.4.2.2 Trabajo de Gabinete.	59
2.4.3 Levantamiento Catastral de Viviendas.	59
2.4.4 Recopilación de Información de las Características Estructurales de las Viviendas.....	60
2.4.4.1 Recopilación de las características constructivas de las viviendas.	60
2.4.4.2 Medición de la geometría de la vivienda.	61
2.4.4.3 Realización de ensayos con esclerómetro en elementos estructurales.	61

2.4.5 Procesamiento de la Información.	63
2.4.5.1 Dibujo geometrías de viviendas.....	63
2.4.5.2 Fichas de Ubicación.	63
2.4.5.3 Fichas de Esclerómetro	63
2.4.6 Tabulación de los Resultados.	65
2.4.7 Obtención de Mapas de Vulnerabilidad Sísmica.	65
2.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.	66
2.5.1 Delimitación de la Zona de Estudio.....	66
2.5.2 Ambiente Económico y Social.	66
2.5.3 Topografía del Sector.....	67
2.5.4 Tipo de Suelo.....	67
2.5.5 Catastro de Viviendas.	68
2.5.6 Identificación de la Tipología de las Viviendas.	68
2.5.6 Estimación de la Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas.	70
2.5.6.1. Método SNGR.	72
2.5.6.2 Método Italiano.....	75
CAPÍTULO III	85
RESULTADOS	85
3.1 RESULTADOS OBTENIDOS POR PARÁMETRO – MÉTODO SNGR.	85
3.1.1 Sistema Estructural.	86
3.1.2 Tipo de Material en Paredes.....	87
3.1.3 Tipo de Cubierta.	88
3.1.4 Sistema de Entrepiso.....	89
3.1.5 Número de Pisos.....	90
3.1.6 Año de Construcción.	91
3.1.7 Estado de Conservación.....	92
3.1.8 Característica del Suelo.....	93
3.1.9 Topografía del Sitio.	94
3.1.10 Forma de Construcción.	95

3.2 RESULTADOS OBTENIDOS POR PARÁMETRO – MÉTODO ITALIANO.	96
3.2.1 Organización del Sistema Resistente.....	96
3.2.2 Calidad del Sistema Resistente.....	97
3.2.3 Resistencia Convencional.	98
3.2.4 Posición del Edificio y Cimentación.	100
3.2.5 Losas.	100
3.2.6 Configuración en Planta.....	101
3.2.7 Configuración en Elevación.	102
3.2.8 Conexión Elementos Críticos.....	103
3.2.9 Elementos con Baja Ductilidad.	104
3.2.10 Elementos No Estructurales.	105
3.2.11 Estado Conservación.....	106
3.3 RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS.....	107
CAPÍTULO IV	112
DISCUSIÓN	112
CAPÍTULO V	116
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
5.1 CONCLUSIONES.....	116
5.2 RECOMENDACIONES.....	117
CAPÍTULO VI	118
PROPUESTA	118
7.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA.....	118
7.2 INTRODUCCIÓN.....	118
7.3 OBJETIVOS	119
7.3.1 Objetivo General	119
7.3.2 Objetivos Específicos	119
7.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	120
7.4.1 Marcos Contraventeados.....	120
7.4.2 La Madera como Reforzamiento Estructural	123

7.4.2.1 Ventajas de la Madera	123
7.4.2.2 Desventajas de la Madera	124
7.4.2.3 Propiedades Elásticas de la Madera	124
7.4.2.4 Madera Estructural Eucalipto	125
7.4.2.5 Consideraciones Sobre Su Uso	125
7.4.3 Uniones	126
7.4.3.1 Uniones Tradicionales.....	127
7.4.3.2 Uniones Clavadas.	128
7.4.3.3 Uniones Atornilladas.....	129
7.4.3.4 Uniones Empernadas.....	129
7.4.3.5 Uniones con Tirafondos.	129
7.4.3.6 Conectores Metálicos.	130
7.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.	137
7.5.1 Modelamiento de Pórticos de Hormigón con el Reforzamiento propuesto.....	138
7.5.1.1 Definición de materiales.....	139
7.5.1.2 Definición de secciones.....	140
7.5.1.3 Asignación de Secciones.	141
7.5.1.4 Estados de carga.....	142
7.5.1.5 Asignación Cargas.	143
7.5.2 Diseño de los conectores metálicos utilizados en el sistema de reforzamiento propuesto	151
7.5.2.1 Cálculo Placas Metálicas y Tirafondos.	151
7.5.2.2 Detalles Constructivos Sistema de Reforzamiento Propuesto.	163
7.5.2.3 Recomendaciones Generales del Sistema de Reforzamiento. .	163
7.5.3 Presupuesto del Sistema de Reforzamiento Planteado.	163
7.6 DISEÑO ORGANIZACIONAL.	165
7.7 MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.....	166
CAPÍTULO VII.....	167
BIBLIOGRAFÍA	167
CAPÍTULO VIII.....	168

ANEXOS	168
8.1 Anexo 1. Placa EMAPAR PMR-019	168
8.2 Anexo 2. Placa EMAPAR PMR-018	169
8.3 Anexo 3. Puntos Levantamiento Topográfico (Medio Magnético)	169
8.4 Anexo 4. Levantamiento Planimétrico y Predial. Barrio La Libertad...	170
8.5 Anexo 5. Ficha de Observación Metodología SNGR.	171
8.6 Anexo 6. Ficha de Observación Metodología Italiana.	172
8.7 Anexo 7. Ficha de Campo Geometría de Vivienda.....	174
8.8 Anexo 8. Geometría vivienda D_13_2P.....	175
8.9 Anexo 9. Ficha de Ubicación vivienda D_13_2P.	176
8.10 Anexo 10. Ficha de Ensayo de esclerómetro vivienda D_13_2P.	178
8.11 Anexo 11. Resultados del Índice de Vulnerabilidad Sísmica aplicando la metodología de la SNGR.....	178
8.12 Anexo 12. Resultados del Índice de Vulnerabilidad Sísmica aplicando la metodología Italiana.	278
8.13 Anexo 13. Geometrías Viviendas Barrio La Libertad [133] (Medio Digital).....	344
8.14 Anexo 14. Fichas de Ubicación Viviendas Barrio La Libertad [199] (Medio Digital).	344
8.15 Anexo 15. Fichas Ensayo Esclerómetro Viviendas [131] (Medio Digital).....	344
8.16 Anexo 16. Lista Propietarios Viviendas Barrio La Libertad y su vulnerabilidad (Medio Digital)	344
8.17 Anexo 17. Mapa del Índice de Vulnerabilidad Sísmica. -MÉTODO SNGR-. Barrio La Libertad	345
8.18 Anexo 18. Mapa del Índice de Vulnerabilidad Sísmica. -MÉTODO ITALIANO-. Barrio La Libertad	346
8.19 Anexo 19. Detalles Constructivos Marcos Contraventeados de Madera Pórtico “A”.	347
8.20 Anexo 20. Detalles Constructivos Marcos Contraventeados de Madera Pórtico “B”	348
8.21 Anexo 21. Análisis de precios unitarios del Sistema de Reforzamiento Propuesto	349

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala de Magnitud Richter	7
Tabla 2. Escala de Intensidad Mercalli y sus efectos.....	8
Tabla 3. Los 37 terremotos de niveles mayores a 7 grados en la escala de Mercalli.	15
Tabla 4. Variables e indicadores para vulnerabilidad sísmica de edificaciones....	31
Tabla 5. Ponderación de las variables de vulnerabilidad ante amenaza sísmica...	32
Tabla 6. Nivel de Vulnerabilidad Metodología SNGR.....	32
Tabla 7. Factor Z en función de la zona sísmica	39
Tabla 8. Perfiles de suelo y valores de S y β	39
Tabla 9. Clasificación de la resistencia convencional	40
Tabla 10. Parámetros considerados en la Metodología Italiana	51
Tabla 11. Nivel de Vulnerabilidad Metodología Italiana	51
Tabla 12. Operacionalización de variables.	55
Tabla 13. Monografía de control horizontal y vertical	58
Tabla 14. Formato ficha de campo para el levantamiento catastral de viviendas. 59	
Tabla 15. Valores de rebote vs ángulos de impacto. Esclerómetro HT-225.....	64
Tabla 16. Formato de Ficha de Esclerómetro.....	65
Tabla 17. Catastros de viviendas del barrio La Libertad	68
Tabla 18. Resumen del número viviendas levantadas del barrio La Libertad.	68
Tabla 19. Resultado evaluación metodología SNGR vivienda D_13_2P.....	74
Tabla 20. Resultado evaluación método Italiano, vivienda D_13_2P	84
Tabla 21. Propiedades del Eucalipto.....	125
Tabla 22. Dimensiones más comunes de Tirafondos	130
Tabla 23. Características de aceros para el uso en placas metálicas	132
Tabla 24. Características de aceros para el uso pernos y tirafondos.	132
Tabla 25. Cargas admisibles para uniones empernadas-doble cizallamiento	133
Tabla 26. Factor de reducción de la carga admisible en función del número de tirafondos por línea paralela a la dirección de la carga aplicada.	134
Tabla 27. Espaciamientos mínimos para tirafondos	136
Tabla 28. Secciones Empleadas Pórticos	140
Tabla 29. Desplazamientos de los nudos pórtico A sin reforzamiento	147

Tabla 30. Desplazamientos de los nudos pórtico A con reforzamiento.....	148
Tabla 31. Desplazamientos de los nudos pórtico B sin reforzamiento.....	149
Tabla 32. Desplazamientos de los nudos pórtico B con reforzamiento.....	149
Tabla 33. Desplazamientos de los nudos pórtico B con reforzamiento solo en el primer piso.....	150
Tabla 34. Monitoreo y Evaluación de la Propuesta.....	166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pangea y el océano Panthalassa.....	2
Figura 2. Corrientes de convección en el manto.	3
Figura 3. Principales placas tectónicas del mundo	4
Figura 4. Dorsal de Carnegie y Cordillera de los Andes.	5
Figura 5. Partes de un sismo.....	6
Figura 6. Mapa de Peligrosidad Sísmica Global.	9
Figura 7. Sismos superficiales con magnitud mayor a 6.0 registrados entre 1797-2007.....	11
Figura 8. Principales terremotos registrados entre 1540-2002 con intensidad mayor a 6.....	12
Figura 9. Epicentros con magnitud mayor a 3.5 registrados en el período 1977-2002.....	12
Figura 10. Mapa de Epicentros entre los años 1557-1797.....	14
Figura 11. Mapa Zonificación Sísmica de la NEC-11.....	16
Figura 12. Planta con longitud excesiva en un sentido. Barrio La Libertad	20
Figura 13. Plantas con forma irregular “L”. Barrio La Libertad	21
Figura 14. Plantas con sistemas estructurales no paralelos. Barrio La Libertad. ..	21
Figura 15. Vivienda con forma escalonada. Barrio La Libertad	22
Figura 16. Viviendas con discontinuidad de resistencia y rigidez en el primer piso.	23
Figura 17. Piso débil por la falta de continuidad de los elementos estructurales. .	24
Figura 18. Viviendas con el efecto de columna corta.....	24
Figura 19. Viviendas con problemas de colindancia, golpeteo por desnivel de losas.....	25

Figura 20. Descripción de la nomenclatura utilizada en un pórtico con mampostería y ventana.....	34
Figura 21. Detalle de la mampostería que está en voladizo.	35
Figura 22. Confinamiento de la mampostería	36
Figura 23. Geometría en planta para evaluar el parámetro δ_1	43
Figura 24. Control de longitud de voladizos.	44
Figura 25. Control de protuberancia en edificaciones	44
Figura 26. Estructura irregulares en elevación.	46
Figura 27. Estructura muy vulnerable con columnas cortas.	48
Figura 28. Ubicación zona evaluada en el cantón Riobamba.....	53
Figura 29. Ubicación manzanas de la zona evaluada.	54
Figura 30. Socialización Proyecto. Barrio La Libertad.	56
Figura 31. Ficha de autorización del propietario	60
Figura 32. Medición de la vivienda.	61
Figura 33. Esclerómetro HT-225.....	62
Figura 34. Ensayo con el esclerómetro en losa y columna.	62
Figura 35. Delimitación de la zona en estudio..	66
Figura 36. Comercio en el barrio La Libertad.....	66
Figura 37. Mapa de zonificación sísmica de suelos de Riobamba.	67
Figura 38. Tipología estructural viviendas barrio La Libertad.	69
Figura 39. Diferentes sistemas estructurales en el barrio La Libertad.....	70
Figura 40. Ubicación de la vivienda D_13_2P.....	71
Figura 41. Vivienda D_13_2P.....	72
Figura 42. Estado de conservación de la vivienda D_13_2P.	73
Figura 43. Losa de cubierta de la vivienda D_13_2P.	80
Figura 44. Conexión deficiente entre viga y columna, vivienda D_13_2P, columna A4.....	83
Figura 45. Distribución numérica de viviendas por Sistema Estructural.....	86
Figura 46. Distribución porcentual de viviendas por Sistema Estructural.....	86
Figura 47. Distribución numérica de viviendas por Tipo de Material en Paredes.	87
Figura 48. Distribución porcentual de viviendas por Tipo de Material en Paredes.	88
Figura 49. Distribución numérica de viviendas por Tipo de Cubierta.....	88
Figura 50. Distribución porcentual de viviendas por Tipo de Cubierta.....	89

Figura 51. Distribución numérica de viviendas por Sistema de Entrepiso.	89
Figura 52. Distribución porcentual de viviendas por Sistema de Entrepiso.	90
Figura 53. Distribución numérica de viviendas por Número de Pisos.	90
Figura 54. Distribución porcentual de viviendas por Número de Pisos.	91
Figura 55. Distribución numérica de viviendas por Año de Construcción.	92
Figura 56. Distribución porcentual de viviendas por Año de Construcción.	92
Figura 57. Distribución numérica de viviendas por Estado Conservación.	93
Figura 58. Distribución porcentual de viviendas por Estado de Conservación.	93
Figura 59. Distribución numérica de viviendas por Característica del Suelo.	94
Figura 60. Distribución numérica de viviendas por Topografía del Sitio.	94
Figura 61. Distribución porcentual de viviendas por Topografía del Sitio.	95
Figura 62. Distribución numérica de viviendas por Forma de la Construcción. ...	95
Figura 63. Distribución porcentual de viviendas por Forma de Construcción.	96
Figura 64. Distribución numérica de viviendas por Organización del Sistema Resistente.	97
Figura 65. Distribución porcentual de viviendas por Organización del Sistema Resistente.	97
Figura 66. Distribución numérica de viviendas por Calidad del Sistema Resistente.	98
Figura 67. Distribución porcentual de viviendas por Calidad del Sistema Resistente.	98
Figura 68. Distribución numérica de viviendas por Resistencia Convencional. ...	99
Figura 69. Distribución porcentual de viviendas por Resistencia Convencional. .	99
Figura 70. Distribución numérica de viviendas por Posición del Edificio y Cimentación.	100
Figura 71. Distribución numérica de viviendas por Losas.	101
Figura 72. Distribución porcentual de viviendas por Losas.	101
Figura 73. Distribución numérica de viviendas por Configuración en Planta. ...	102
Figura 74. Distribución porcentual de viviendas por Configuración en Planta. .	102
Figura 75. Distribución numérica de viviendas por Configuración en Elevación.	103
Figura 76. Distribución porcentual de viviendas por Configuración en Elevación.	103
Figura 77. Distribución numérica de viviendas por Conexión Elementos Críticos.	104

Figura 78. Distribución porcentual de viviendas por Conexión Elementos Críticos	104
Figura 79. Distribución numérica de viviendas por Elementos con Baja Ductilidad	105
Figura 80. Distribución porcentual de viviendas por Elementos con Baja Ductilidad	105
Figura 81. Distribución numérica de viviendas por Elementos no Estructurales	106
Figura 82. Distribución porcentual de viviendas por Elementos no Estructurales	106
Figura 83. Distribución numérica de viviendas por Estado de Conservación. ...	107
Figura 84. Distribución porcentual de viviendas por Estado de Conservación...	107
Figura 85. Distribución porcentual del nivel de vulnerabilidad -Método SNGR-.	108
Figura 86. Distribución porcentual del nivel de vulnerabilidad -Método Italiano-.	108
Figura 87. Mapa del Índice de Vulnerabilidad Sísmica. -MÉTODO SNGR-. Barrio La Libertad	110
Figura 88. Mapa del Índice de Vulnerabilidad Sísmica. -MÉTODO ITALIANO-. Barrio La Libertad	111
Figura 89. Distribución comparativa de vulnerabilidad sísmica.	113
Figura 90. Comparación Porcentual entre los parámetros que consideran al Sistema Estructural en las dos metodologías.	114
Figura 91. Comparación Porcentual entre los parámetros que consideran las Losas de hormigón armado en las dos metodologías.	115
Figura 92. Promedios generales metodologías del índice de vulnerabilidad sísmica.....	115
Figura 93. Pórtico con diagonales simples.....	121
Figura 94. Pórtico con diagonales en cruz	121
Figura 95. Pórtico con diagonales en v y v invertida.....	122
Figura 96. Pórtico con diagonales en K.	122
Figura 97. Unión Media Madera.	127
Figura 98. Unión Caja y Espiga.....	128
Figura 99. Tipos comunes para madera y sus partes: A cabeza plana, B cabeza redonda y C de cabeza ovalada.....	129
Figura 100. Perno Típico.....	129
Figura 101. Tirafondo	130
Figura 102. Típicos conectores metálicos.	131

Figura 103. Empleo de una placa metálica en madera.....	131
Figura 104. Espaciamiento mínimo entre tirafondos, cargas paralelas al grano.	136
Figura 105. Espaciamiento mínimo entre tirafondos, cargas perpendiculares al grano.....	136
Figura 106. Resistencia a Compresión Elementos Estructurales.	137
Figura 107. Pórtico A de un piso, un vano.....	138
Figura 108. Pórtico B de dos pisos, dos vanos.	139
Figura 109. Propiedades Material Eucalipto SAP2000.	139
Figura 110. Propiedades Material Hormigón 210 kg/cm ² SAP2000.	140
Figura 111. Definición Sección Diagonales Madera.	141
Figura 112. Asignación de secciones.....	141
Figura 113. Secciones Pórticos A y B.	142
Figura 114. Definición de los casos de carga.....	143
Figura 115. Asignación Carga Última.	143
Figura 116. Asignación Carga Horizontal Sismo.	144
Figura 117. Pórticos A y B con carga vertical y horizontal.	145
Figura 118. Definición desplazamientos en los extremos del pórtico y factor de rigidez.....	146
Figura 119. Diagonales de madera no transmiten momento.....	146
Figura 120. Liberación de fuerzas en los extremos de las diagonales.	146
Figura 121. Pórtico A con el marco contraventeado de madera.....	151
Figura 122. Pórtico A con reforzamiento. Cargas axiales.	151
Figura 123. Placa Metálica de 120x50x120x2mm. Pórtico A.	153
Figura 124. Placa Metálica de 150x150x2mm. Pórtico A.	155
Figura 125. Pórtico B con el marco contraventeado de madera.....	157
Figura 126. Pórtico B con reforzamiento. Cargas axiales.....	157
Figura 127. Placa Metálica de 200x50x200x2mm. Pórtico B.....	159
Figura 128. Placa Metálica de 250x200x2mm. Pórtico B.	162
Figura 129. Costo Marco Contraventeado de Madera-Pórtico B.	164
Figura 130. Plan de acción de la Propuesta.....	165
Figura 131. Diseño organizacional de desarrollo de la propuesta.....	166

RESUMEN

Debido al constante peligro en el que se encuentra la ciudad de Riobamba por encontrarse ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, hay la necesidad de realizar un estudio sobre vulnerabilidad sísmica dentro de esta ciudad, el presente estudio se enfoca en el barrio La Libertad, ubicado al suroeste de la ciudad donde se asientan alrededor de 245 viviendas dentro de una área de 17.45 hectáreas.

Básicamente este estudio tiene la finalidad de generar mapas de índices de vulnerabilidad sísmica para identificar las viviendas según sus niveles de vulnerabilidad.

Los tipos de investigación que se emplearon son: el de tipo descriptivo, evaluativo, comparativo y el tipo aplicativo.

A través de este trabajo se ha logrado evaluar los niveles de vulnerabilidad presentes en 199 viviendas de un total de 245 estructuras ubicadas en el barrio, a través del empleo del método propuesto por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y el método Italiano (Benedetti y Petrini).

En la zona evaluada se ha reportado, empleando el método SNGR, un 79 % de viviendas con vulnerabilidad baja, un 21 % con una vulnerabilidad media y un 0% de viviendas altamente vulnerables. En cuanto al método italiano resultaron un 1% de viviendas seguras, 50% corresponde a viviendas con una mediana vulnerabilidad y un 49 % representa a viviendas altamente vulnerables.

Los resultados finales del método Italiano demuestran que un gran número de viviendas, presentan diferentes problemas, tanto en su diseño como en su proceso constructivo ya que de acuerdo a este método el 99% de las viviendas evaluadas se encuentran en peligro frente a un sismo.

Finalmente se presenta una propuesta económica de reforzamiento estructural de viviendas aporricadas de hormigón armado utilizando marcos contraventeados de madera de eucalipto.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CENTRO DE IDIOMAS



Lic. Geovanny Armas P., DpS.

01 de Abril del 2014

SUMMARY

Since Riobamba is in constant danger for being located in a zone of high seismic risk, it is necessary to carry out a survey on seismic vulnerability inside the city; this study is focused to “La Libertad” neighborhood, located in the northwest part of the city where there are about 245 houses inside an area of 17.45 hectares.

Basically, this study has the purpose of generating seismic vulnerability index maps in order to identify houses according to vulnerability levels.

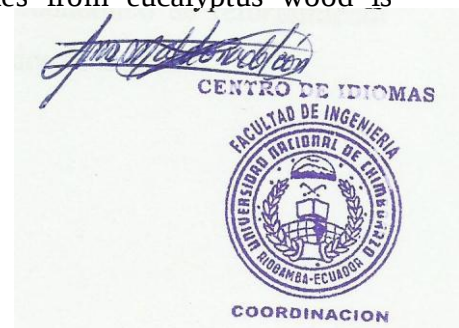
The types of investigation used were: descriptive, evaluative, comparative and applicative.

Through this work, it has been possible to evaluate the present levels of vulnerability in 199 houses from a total number of 245 structures located in the neighborhood by using the method proposed by the Risk Management National Secretariat and the Italian Method (Benedetti and Petrini).

In this zone, and according to the method from the Risk Management National Secretariat, 79% of houses have low vulnerability, 21% with medium vulnerability and 0% of the houses with high vulnerability. According to the Italian Method, 1% of the houses are safe, 50% of the houses have medium vulnerability and 49% of the houses are highly vulnerable.

The final results of the Italian Method show that a big number of houses present different problems, both in their design and in their constructive process, since according to this method, 99% of the houses are in danger in case of an earthquake.

Finally, an economic proposal for the structural reinforcement of reinforced concrete breached houses by using braced frames from eucalyptus wood is proposed.



INTRODUCCIÓN

Históricamente han existido un sin número de eventos sísmicos registrados en todo el mundo los mismos que han causado innumerables pérdidas tanto humanas y económicas; algunos de los más fuertes, ocurridos en los últimos años son: el registrado en Haití el 12 de enero del 2012, el 27 de febrero de 2010 en Chile y el producido en Ecuador en el mes de agosto del 2010; por esta razón es muy importante realizar investigaciones de vulnerabilidad sísmica.

Riobamba se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico motivo por el cual la Universidad Nacional de Chimborazo ha emprendido un proyecto para determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas construidas en los barrios urbanos marginales de la ciudad de Riobamba, uno de los barrios que está incluido dentro de este proyecto es el barrio La Libertad, el mismo que se desarrollará en este trabajo de investigación.

La presente investigación busca calcular la vulnerabilidad de las estructuras a causa de un sismo, cuyo objetivo es disminuir pérdidas materiales, humanas y además se podrá alertar a las autoridades para que tomen medidas de precaución y seguridad sobre la amenaza existente.

Para la determinación del grado de vulnerabilidad sísmica se toma en cuenta varios parámetros de evaluación como la tipología estructural de las viviendas, tipo de suelo, procesos constructivos entre otros, para conocer de esta forma la vulnerabilidad que tienen dichas edificaciones; una vez terminada la evaluación se realizarán mapas del índice de vulnerabilidad sísmica, los cuales se podrán utilizar para desarrollar planes de emergencia y prevención de desastres.

Para la evaluación de las viviendas se utilizarán dos metodologías, el método propuesto por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) y el método Italiano, dando como resultados índices de vulnerabilidad alto, medio y bajo.

El trabajo está comprendido por seis capítulos, donde se describe las bases teóricas, metodología empleada, resultados obtenidos, discusión, conclusiones y la propuesta, en la cual se ha planteado un sistema económico de reforzamiento estructural de las viviendas con marcos contraventeados de madera.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 GENERALIDADES DE SISMOLOGÍA.

El Ecuador se encuentra en una de las zonas de mayor peligrosidad sísmica del mundo. Conocer la terminología relacionada a la vulnerabilidad de las viviendas permite identificar las causas que la generan. Para tener una visión del problema se inicia el capítulo estudiando el origen de los sismos, posterior de ello se pasa a ver la sismicidad en el Ecuador y a nivel local.

1.1.1 Origen de los Sismos.

Es necesario revisar las siguientes definiciones para entender el origen de los sismos:

1.1.1.1 Deriva Continental.

Hace 300 millones de años aproximadamente todos los continentes estaban unidos en una sola masa, a la que se denominó Pangea. El único océano que le rodeaba era el Panthalassa, como se aprecia en la figura 1.

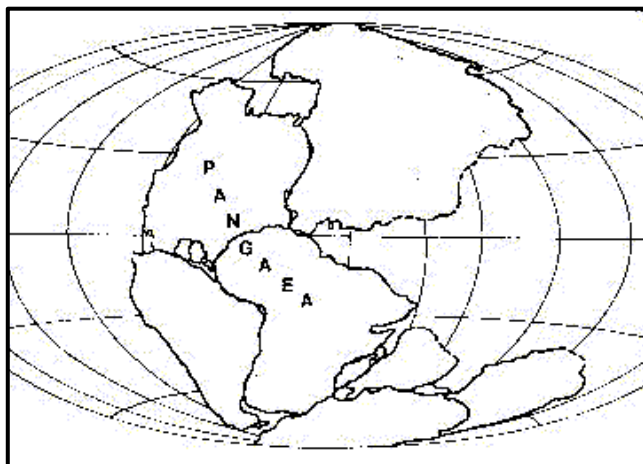


Figura 1. Pangea y el océano Panthalassa. (Dietz & Holden, 1970).

Esta hipótesis fue desarrollada a partir de diversas observaciones empíricas racionales, un ejemplo de ello son en las costas del Océano Atlántico de América y África, se ha observado que poseen minerales de la misma naturaleza, además que su flora y fauna es muy parecida. Por ejemplo, las lombrices, caracoles y peces de aguas superficiales, viven en las costas de los dos continentes.

Esta masa empezó a moverse en forma lenta y se fue rompiendo. La rotura se da en los perfiles que tienen los continentes actualmente, los mismos que se han desplazado y rotado, pero este movimiento continúa. Esta teoría fue formulada por Wegener (1912), con el nombre de teoría de la deriva de los continentes.

1.1.1.2 Composición de la Tierra.

En las zonas profundas del manto, en contacto con el núcleo, el calor es muy intenso, por eso grandes masas de roca se funden parcialmente y al ser más ligeras ascienden lentamente por el manto, produciendo unas corrientes ascendentes de materiales calientes. Algunos de ellos alcanzan la litosfera, la atraviesan y contribuyen a la fragmentación de los continentes.

En las fosas oceánicas, grandes fragmentos de litosfera oceánica fría se hunden en el manto, originando por tanto unas corrientes descendentes, que llegan hasta la base del manto. (Fernández, 2008)

Las corrientes ascendentes y descendentes del manto podrían explicar el movimiento de las placas, al actuar como una especie de "rodillo" que las moviera. (Figura 2)

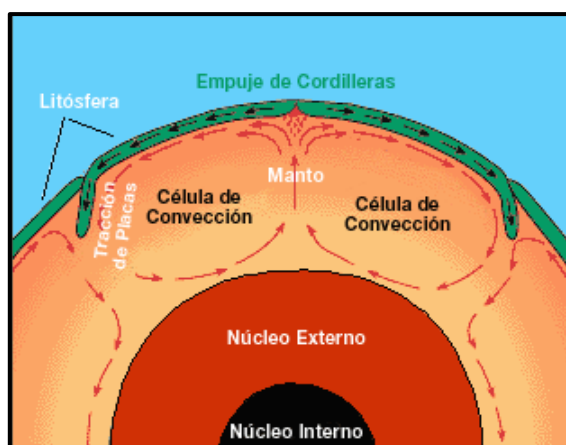


Figura 2. Corrientes de convección en el manto. (Fernández, J, 2008).

1.1.1.3 Placas Tectónicas.

La litosfera está fragmentada en una serie de placas que se desplazan sobre la astenósfera

Las principales placas tectónicas, se indican en la figura 3 y son las placas de: Nazca, Sudamérica, Cocos, Norteamericana, Caribe, Africana, Euroasiática, Antártica, Pacífico, Filipinas, Arábica, Australiana y de la India. Estas placas a su vez contienen micro placas.

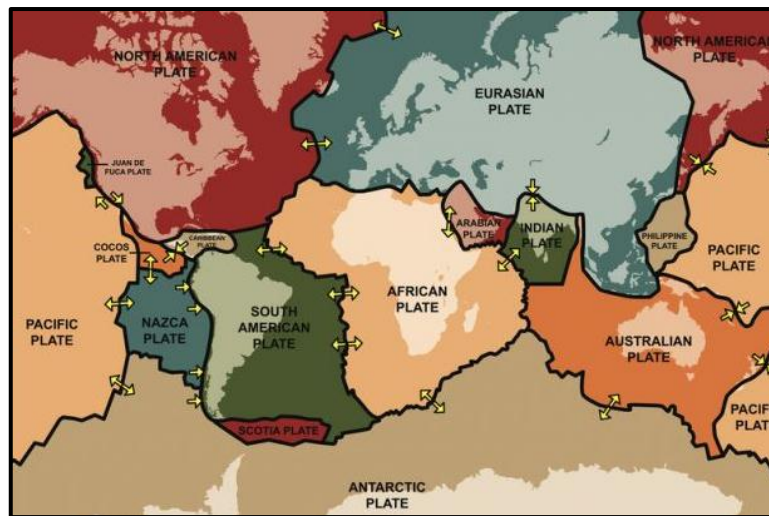


Figura 3. Principales placas tectónicas del mundo. (Fernández, J. 2008).

Debido a las corrientes de convección, los continentes continúan en movimiento, estos movimientos llamados tectónicos son los responsables de la aparición de las montañas, de los volcanes, de los sismos, de la formación de plegamientos y fallas geológicas en la tierra.

Investigaciones desarrolladas entre los años 1950 y 1960, encontraron que en el lecho de los mares, existen cadenas montañosas con una forma muy similar a la columna dorsal de los reptiles, de ahí su nombre de dorsal marino. Por lo tanto, en la tierra existen dos tipos de montañas, las que se hallan en los continentes y las que se encuentran en los mares con características diferentes.

Al chocar dos placas, una de las dos cede y se va para abajo con dirección al manto; la región de la zona de choque se denomina zonas de subducción. Por otra parte, en la zona donde no existe el choque, que es en los dorsales marinos

aparece, una nueva superficie terrestre. De esta forma se mantiene el equilibrio en el mundo, por las zonas de subducción desaparece la superficie creada y por los dorsales marinos aparece nuevas superficies. (Aguiar, 2008)

1.1.1.4 Cinturón Circunpacífico.

En América del Sur, se tiene fundamentalmente el enfrentamiento de la Placa de Nazca (Placa Oceánica) con la Placa de Sudamérica (Placa Continental). Este enfrentamiento provoca el fenómeno de subducción, por el cual la placa de Nazca por ser más densa, subduce y se introduce por debajo de la Placa Sudamericana y continua moviéndose hacia el manto. Se debe manifestar que como consecuencia del movimiento continuo de las placas tectónicas se tienen las erupciones volcánicas y los sismos.

En la figura 4 se indica la fosa de subducción, en la zona de Colombia, Ecuador y parte de Perú. Esta fosa bordea el Océano Pacífico a manera de un cinturón de ahí su denominación de Cinturón Circunpacífico y es una zona de alta sismicidad.

Como podemos observar en el fondo del Océano Pacífico existe una cordillera llamada Dorsal de Carnegie que sigue creciendo e introduciéndose bajo el continente, esto es debido al movimiento de las placas. Se aprecia también la Cordillera de los Andes que atraviesa el Ecuador en el sentido Norte Sur.

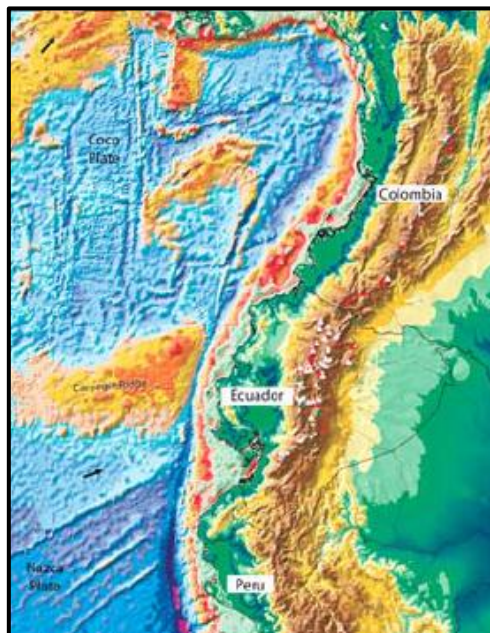


Figura 4. Dorsal de Carnegie y Cordillera de los Andes. (Aguiar, F .2008).

1.1.2 Partes de un Sismo.

Dentro de las partes de un sismo se tienen en cuenta:

1.1.2.1 Hipocentro o Foco.

Es la zona o punto donde ha tenido origen un terremoto. Es el punto en la profundidad de la Tierra desde donde se libera la energía en un terremoto. Cuando ocurre en la corteza de ella (hasta 70 km de profundidad) se denomina superficial. Si ocurre entre los 70 y los 300 km se denomina intermedio y si es de mayor profundidad: profundo. La ubicación del foco se logra a partir del análisis de los sismogramas, registros que dejan en los sismógrafos las ondas de esfuerzo al desplazarse por la tierra.

1.1.2.2 Epicentro.

Punto o zona superficial donde emerge el movimiento vibratorio, y por lo tanto donde mayor intensidad adquiere el fenómeno. El epicentro es la proyección del foco en la superficie terrestre.

1.1.2.3 Isosistas.

Se le llama así a las zonas concéntricas que pueden delimitarse por curvas que unen los puntos donde la intensidad de la sacudida es la misma, ya que en los alrededores de la zona epicentral la intensidad del sismo va decreciendo.

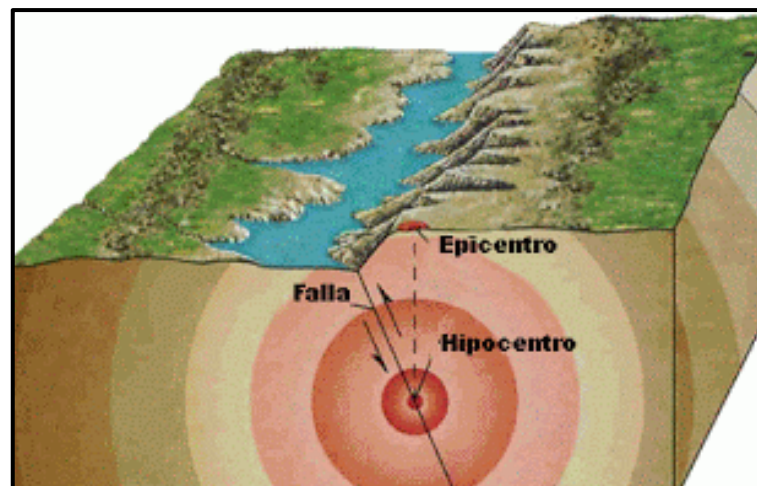


Figura 5. Partes de un sismo. (Prin, 2011).

1.1.3 Escalas de Medición de los Sismos.

1.1.3.1 Escala de Richter.

Mide la energía sísmica liberada de un sismo en su hipocentro o foco, se produce una liberación de energía a través de ondas sísmicas que se desplazan en los diferentes tipos de suelos y genera diversos efectos destructivos en la superficie terrestre, para su medición se emplean instrumentos denominados sismógrafos, a partir de los registros de los sismógrafos se calculan la localización y magnitud de los sismos. Es una escala que crece en forma potencial o semilogarítmica, de manera que cada punto de aumento puede significar un aumento de energía diez veces mayor.

A continuación, en la Tabla 1 se presenta la escala de Richter y sus efectos

Tabla 1. Escala de Magnitud Richter

Magnitud en Escala Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado.
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores.
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios.
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños.
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas

Fuente: Smis. (2013).

1.1.3.2 Escala de Mercalli.

La escala de Mercalli es más subjetiva, puesto que la intensidad aparente de un terremoto depende de la distancia entre el hipocentro y el observador. Es un método usado para medir los efectos de un sismo, esto consiste en estimar la intensidad, la misma que no debe confundirse con la magnitud. Se puede decir que la intensidad es la violencia con que se siente un evento en diferentes puntos de la zona afectada después de haberse ocasionado el temblor. La escala de Mercalli ha sido modificada varias veces por lo que se conoce como Escala de Mercalli Modificada cuyo valor va desde el grado I hasta el XII.

A continuación, en la Tabla 2 se presenta la escala de Mercalli y sus efectos

Tabla 2. Escala de Intensidad Mercalli y sus efectos

GRADO	INDICADOR DE LA INTENSIDAD
I	El sismo es detectado por instrumentos muy sensibles.
II	Lo sienten personas en reposo en edificios altos.
III	Se asemeja al movimiento causado en el suelo por un camión.
IV	Es advertido por las personas que se encuentran en el interior de las casas. Los carros se balancean.
V	Es advertido por la mayoría de las personas y la gente nota la dirección del movimiento.
VI	Lo sienten todas las personas, es difícil caminar y se desprenden las capas de morteros.
VII	Angustia, la gente corre al exterior de las edificaciones; se pierde el equilibrio, los conductores de vehículos en marcha lo notan y las construcciones de mala calidad comienzan a afectarse.
VIII	Hay dificultad en la conducción de vehículos automotores, se caen las chimeneas, muros y monumentos.
IX	Pánico total: Algunas edificaciones se desplazan de sus cimentaciones, se agrietan y se desploman.
X	Destrucción casi total de las construcciones de albañilería, afecta seriamente edificios, puentes, represas y diques. Se desliza la tierra.
XI	Los rieles ferroviarios se tuercen, las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio.
XII	El daño es casi total, hay desplazamientos de grandes rocas, los objetos saltan al aire y las edificaciones sufren grandes torsiones.

Fuente: Smis. (2013).

1.2 VULNERABILIDAD, AMENAZA Y RIESGO SÍSMICO.

1.2.1 Vulnerabilidad.

Es el grado de daño que sufre una estructura durante un sismo. La vulnerabilidad de una estructura muestra la falta de resistencia frente a un terremoto y depende mucho de las características del diseño, la tipología estructural, la calidad de los materiales y la técnica que se utilizó en la construcción de la edificación.

“Una estructura puede ser vulnerable, pero no estar en riesgo, a menos que se encuentre en un sitio con una cierta peligrosidad sísmica”. (Yépez 1et al, 1995)

1.2.2 Amenaza o Peligro Sísmico.

Es la probabilidad de ocurrencia de movimientos sísmicos de cierta intensidad en un sitio determinado durante cierto período de tiempo. El peligro también puede envolver otros efectos que el mismo sismo genera, como derrumbes y licuefacción de suelos. El peligro sísmico se representa mediante parámetros simples como la intensidad, la aceleración del terreno o el espectro de respuesta.

1.2.3 Riesgo Sísmico.

Es el grado de pérdidas esperadas que sufren las edificaciones durante el período de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica. También, el riesgo sísmico es definido como una función de la vulnerabilidad sísmica y del peligro sísmico, de forma general se puede expresar como: $Riesgo = Peligro \times Vulnerabilidad$ (Fourier d'Albe 1988). El riesgo sísmico combina los resultados del peligro sísmico y la vulnerabilidad sísmica que exhiben las estructuras.

1.3 SISMICIDAD.

Son incontables las investigaciones científicas y los trabajos obtenidos sobre el estudio de los terremotos, características, origen, causas, etc. Las cuales indican que los mismos ocurren cuando el esfuerzo en la tierra alcanza un nivel mayor a la resistencia de la roca, causando que los lados opuestos de la misma fallen o deslicen repentinamente pasando de un lado a otro. Estos esfuerzos pueden actuar perpendicularmente a la falla empujando las rocas entre ellas, o paralelamente a la falla moviendo las rocas unas contra otras (Hernández, 2002).

Uno de los mapas de peligrosidad sísmica más actuales, fue el proyecto desarrollado por el Programa de Evaluación de Peligrosidad Sísmica Global (GSHAP, 1999). El mismo se desarrolló ensamblando mapas parciales elaborados por las diferentes regiones y áreas de prueba (Figura 6).

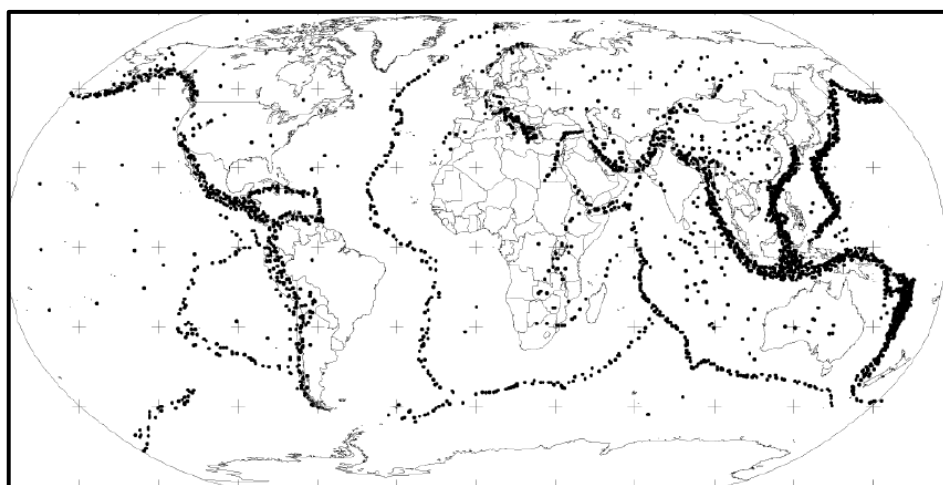


Figura 6. Mapa de Peligrosidad Sísmica Global. (GSHAP, 1999).

1.3.1 Ecuador y su Sismicidad.

El Ecuador se encuentra en la zona de la Tierra más activa sísmicamente, denominada Cinturón Circumpacífico. Su alta sismicidad es generada por el fenómeno sismotectónico que acontece en la zona de subducción en el Océano Pacífico, producido por el doblamiento de la placa de Nazca cuando subduce bajo la placa Suramericana. La Placa de Nazca está penetrando la placa continental y esta resiste hasta que no aguanta más y explota.

Por este fenómeno en la costa ecuatoriana, tienen un hipocentro superficial y en la región oriental los sismos asociados con la subducción pueden tener profundidades focales mayores a 200 km. La segunda razón para la presencia de sismos tiene que ver con la activación de fallas geológicas locales.

El sismo que afectó a Bahía de Caráquez en 1998, tiene su origen en la zona de subducción, en cambio el sismo de 1995, que originó el colapso del puente sobre el río Upano tiene su origen en una zona de fallamiento local.

Por lo general los sismos superficiales son los que causan mayor daño. Por este motivo, se puede indicar que la región costa es la de mayor peligrosidad sísmica, seguida por la Sierra y finalmente el Oriente. Consecuentemente, desde el punto de vista sísmico no es lo mismo construir en la ciudad de Esmeraldas, donde la peligrosidad sísmica es muy grande que en el Tena que tiene una menor amenaza sísmica. (Aguar, 2008)

En el país ocurrió el quinto mayor sismo registrado en el mundo durante el siglo XX. El terremoto, cuya magnitud fue de 8.8 grados en la escala de Richter, y 9 en la escala de Mercalli, se registró el 31 de enero de 1906 en Esmeraldas. “El terremoto originó un tsunami, el cual llegó media hora después a Tumaco (Colombia). Después de 20 minutos del primer impacto, llega una segunda ola y posteriormente una tercera; por un espacio de cuatro horas se observaron olas largas que fueron visualizadas hasta Bahía de Caráquez (Manabí), donde el mar se elevó de 80 a 100 centímetros en 20 minutos” (Diario Hoy, 2007)

Hay una secuencia de la repetición de los grandes terremotos que es de tres a cuatro veces por siglo. El terremoto de 1906 fue un terremoto de 8.8 grados, similar al que acaba de ocurrir en Chile. Ese fue el quinto más grande de toda la

historia sismológica registrada por sismógrafos desde inicios del siglo XX a escala mundial.

En la figura 7 se observan los sismos superficiales con magnitud mayor a 6.0 que se han registrado en el Ecuador entre 1977 y el 2007, se aprecia que en las provincias de la sierra prácticamente no se han registrado sismos fuertes, en estos 30 años.

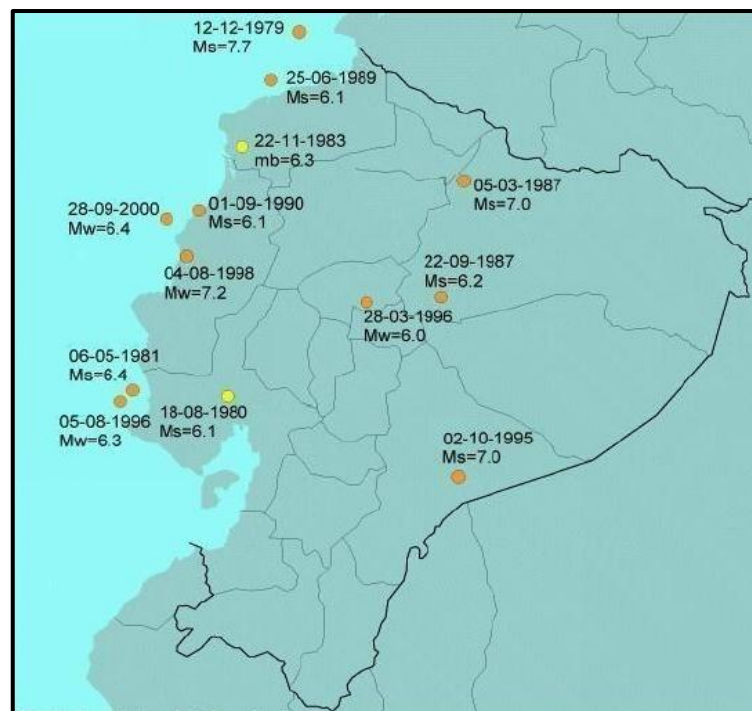


Figura 7. Sismos superficiales con magnitud mayor a 6.0 registrados entre 1977-2007. (Aguilar, 2008).

A partir de estos datos se puede pensar que a lo mejor se está acumulando energía y que probablemente en un futuro cercano se tenga un sismo muy fuerte, debido a que históricamente la sierra se ha visto afectada por sismos severos como el de 1797 que causó gran daño en la antigua ciudad de Riobamba, el de 1868 que destruyó la ciudad de Ibarra y las ciudades vecinas. Los sismos históricos a los que se hacen referencia y otros terremotos catastróficos se indican en la figura 8, donde se muestran los epicentros de los sismos con Intensidades, en la escala de Mercalli, mayores a VI, registrados entre 1540 y 2002.

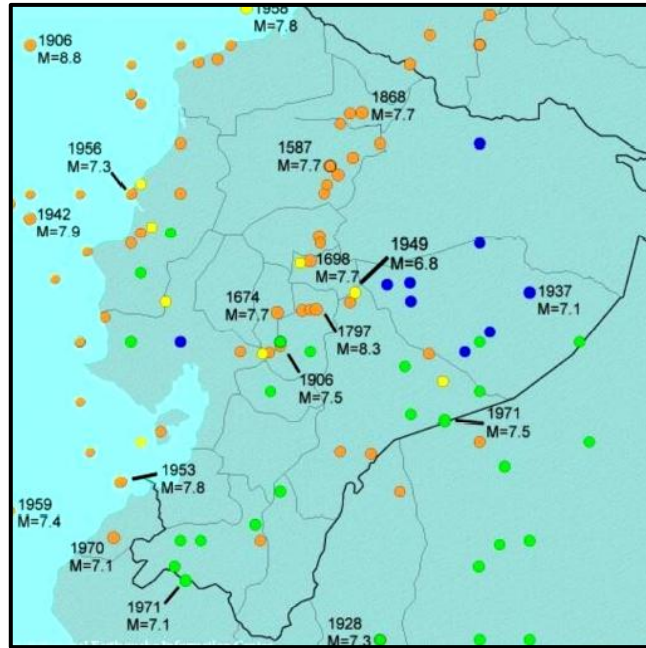


Figura 8. Principales terremotos registrados entre 1540-2002 con intensidad mayor a 6. (Aguar, 2008).

En la figura 9, se observa que solamente en la región nororiental no se ha tenido una actividad sísmica. En la costa existe una importante actividad sísmica y son superficiales pero ventajosamente han sido de pequeña magnitud. Se han dibujado 864 sismos con magnitud mayor a 3.5 cantidad que es muy importante con la cual se obtiene un promedio de 35 sismos al año.

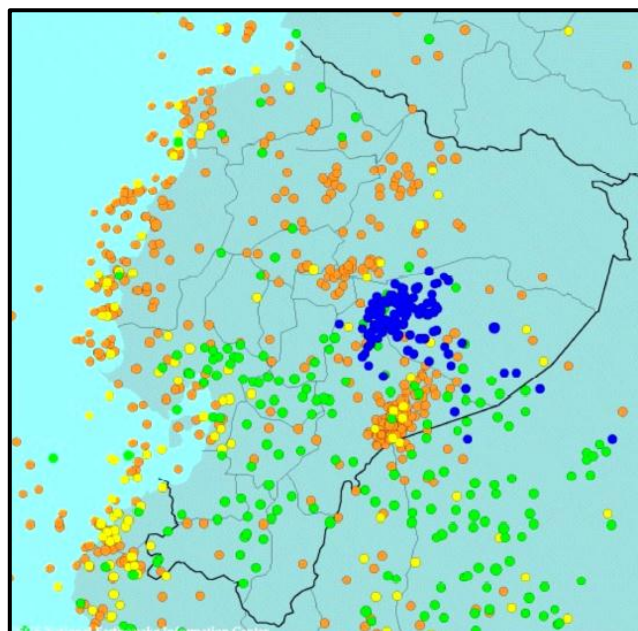


Figura 9. Epicentros con magnitud mayor a 3.5 registrados en el período 1977-2002. (Aguar, 2008).

1.3.2 Sismicidad en Chimborazo.

Frente a la insuficiente información instrumental que se conoce de la sismicidad de la provincia, la sismicidad histórica es el referente, que nos proporciona información de un período considerable de tiempo.

La sierra se ha visto afectada por sismos severos como el de 1797 que causó gran daño en la antigua ciudad de Riobamba, al que se hace referencia a continuación.

Entre las siete y ocho de la mañana del 4 de febrero de 1797 ocurrió el movimiento de tierra de tal magnitud, que como relatan los documentos históricos hubo una total desolación y devastación de la Villa de Riobamba y de algunos otros pueblos cercanos, para tener una idea de la catástrofe mencionaremos los siguientes testimonios, que coinciden en lo fundamental con los demás relatos de los testigos:

Don Ignacio Lizarzaburu con fecha 22 de febrero de 1797 declara lo siguiente: "...Que ha visto la Villa arruinada, cubiertas sus calles y plazuelas de los edificios caídos sin hallarse tránsito por ellas, sino por los techos destruidos, sin que igualmente se encuentre una casa, ni iglesia en pie por toda la destrucción que ocasionó el derrumbe del cerro Cullca, con cuya mole sepultó la tercera parte o más de la Villa, sin que se salvaran casas, ni vivientes algunos en los tres barrios de Sigcho Guayco, Barrionuevo y La Merced.

Que su suelo está enteramente abierto, sus calles, como tiene dicho, cubiertas de ruinas y todo el piso brotando agua, a más de los lagos que se han formado así del torrente nombrado Quilloyaco, como del río que fue represado del derrumbe y que se ha tomado su curso por media villa...". El relato de don Luis Nájera dice lo siguiente: "...A Riobamba lo halló en tan lastimoso estado que no pudo conocer las partes que antes la componían, ni las casas que le adornaban por hallarse volcadas de sus cimientos y tan unidas en lo que antes eran calles, no se notaban más que techos destrozados, que así mismo vio derrocado desde sus cimientos al monte nombrado Cullca que tomó bajo su derrumbe una gran parte de la población..."

Tomando en cuenta que la intensidad de los sismos obedecen al daño causado en las poblaciones ya que son estos los reseñados en los documentos históricos, Barahona, D, ha ilustrado los sismos ocurridos en la provincia de Chimborazo para poder apreciar mejor la ubicación de los epicentros con su respectiva apreciación de intensidades.

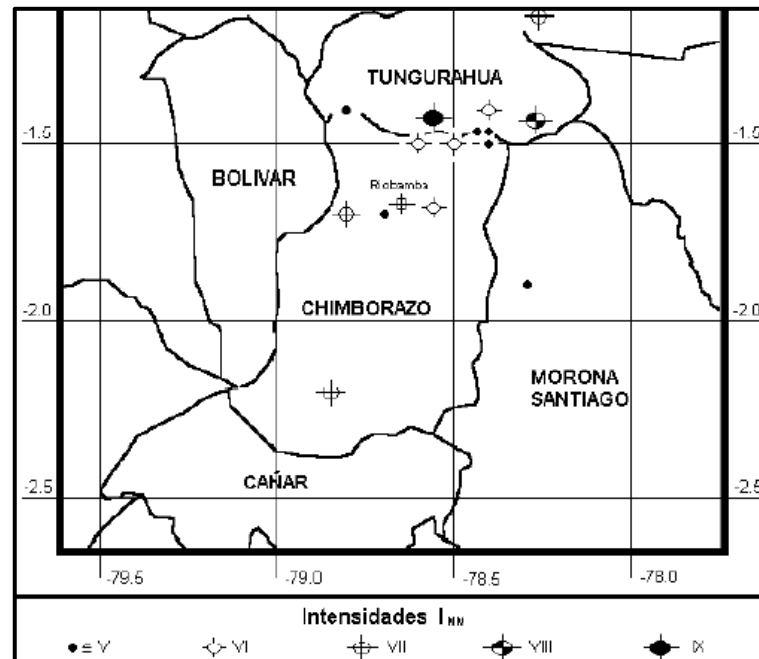


Figura 10. Mapa de Epicentros entre los años 1557-1797. (Barahona, D. 2009)

En el territorio ecuatoriano se registran cada año miles de temblores imperceptibles para la población, pero también eventos de mayor magnitud. Desde 1541 se ha presentado 37 terremotos de niveles mayores a 7 grados en la escala Mercalli (escala de 12 puntos que evalúa la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños que generan), de ellos se han registrado 8 sismos fuertes en la provincia de Chimborazo, incluyendo el de 1797 que causó gran daño en la antigua ciudad de Riobamba. A continuación, en la Tabla 3 se puede observar los 37 terremotos de mayor magnitud, y los acontecidos en la provincia de Chimborazo.

Tabla 3. Los 37 terremotos de niveles mayores a 7 grados en la escala de Mercalli.

Año	Mes	Día	Intensidad	Provincias de Referencia
1541	4	1	VIII	Napo
1587	8	31	VIII	Pichincha
1645	3	15	IX	Chimborazo, Tungurahua
1674	8	29	IX	Chimborazo, Bolívar
1687	11	22	VIII	Tungurahua
1698	6	20	X	Tungurahua, Chimborazo
1736	12	6	VIII	Pichincha, Cotopaxi
1749	1	20	VIII	Loja
1755	4	28	VIII	Pichincha
1757	2	22	IX	Cotopaxi, Tungurahua
1834	1	20	XI	Carchi, Nariño (Colombia)
1786	5	10	VIII	Chimborazo
1797	2	4	XI	Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi y Pichincha
1859	3	22	VIII	Pichincha, Imbabura, Cotopaxi
1868	8	15	VIII	Carchi
1868	8	16	X	Imbabura, Carchi, Pichincha
1896	5	3	IX	Manabí
1906	1	31	IX	Esmeraldas, Nariño (Colombia)
1911	9	23	VIII	Chimborazo, Bolívar
1913	2	23	VIII	Loja, Azuay
1914	5	31	VIII	Pichincha, Cotopaxi
1923	2	5	VIII	Pichincha
1923	12	16	VIII	Carchi, Nariño (Colombia)
1926	12	18	VIII	Carchi
1929	7	25	VIII	Pichincha
1938	8	10	VIII	Pichincha
1942	5	14	IX	Manabí, Guayas, Bolívar
1949	8	5	X	Tungurahua, Chimborazo, Cotopaxi
1953	12	12	VIII	Loja, Norte del Perú
1955	7	20	VIII	Pichincha, Imbabura
1958	1	19	VIII	Esmeraldas
1961	4	8	VIII	Chimborazo
1964	5	19	VIII	Manabí
1970	12	10	IX	Loja, El Oro, Azuay, Norte del Perú
1987	3	6	IX	Napo, Sucumbíos, Imbabura
1995	10	2	VIII	Morona Santiago
1998	8	4	VIII	Provincia de Manabí

Fuente: Correa. (2004)

Observando la Tabla 3, el último sismo fuerte registrado es en el año de 1961, esto quiere decir hace 53 años, y según investigaciones hay una secuencia de la repetición de los grandes terremotos de tres a cuatro veces por siglo, esto es una alarma que nos debe llevar a la reflexión de que a lo mejor se está acumulando energía y que probablemente en un futuro cercano se tenga un sismo muy fuerte, para lo cual es importante el estudio de la vulnerabilidad sísmica de la viviendas de la ciudad para tratar de reducir al máximo en la ocurrencia de un sismo el número de pérdidas humanas y económicas; además de alertar a las autoridades para que tomen medidas de precaución y seguridad sobre la amenaza sísmica existente.

1.4 PELIGROSIDAD SÍSMICA.

Luego del sismo de Chile, del 27 de febrero de 2010, que tuvo una magnitud de 8.8 y que dejó más de 500 muertos y pérdidas económicas estimadas en treinta millones de dólares (Aguilar,2010) . Las pérdidas que tendríamos por un evento de esta magnitud en el país serían el doble o el triple de lo que pasó en Chile.

Por lo cual estudios de Peligrosidad Sísmica realizados en los últimos años como es el caso de la Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2011 (NEC-11), en el capítulo 2: Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo resistente, se ubica a la ciudad de Riobamba en una zona con una amenaza sísmica alta con una aceleración máxima en roca de 0.40g.

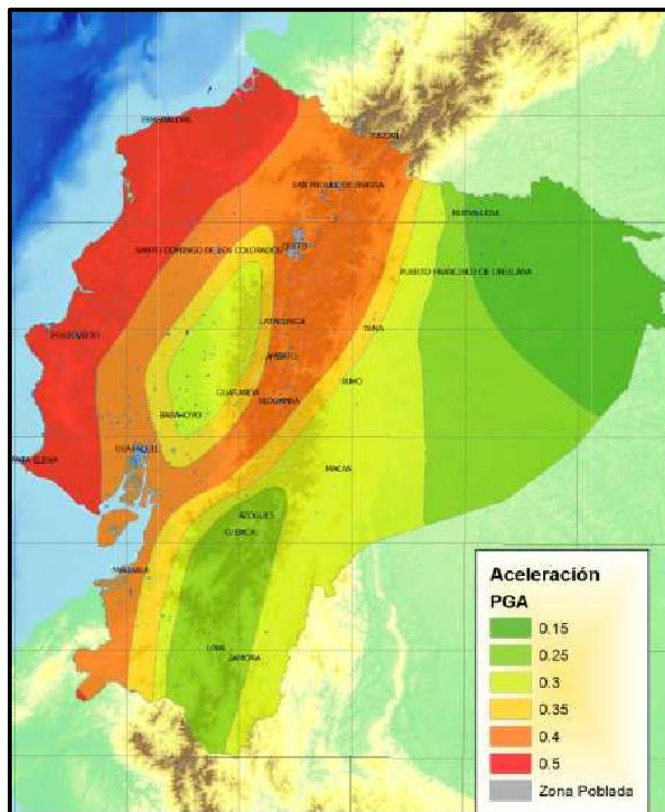


Figura 11. Mapa Zonificación Sísmica de la NEC-11.

El mapa reconoce el hecho de que la subducción de la Placa de Nazca dentro de la Placa Sudamericana es la principal fuente de energía sísmica en el Ecuador. A este hecho se añade un complejo sistema de fallamiento local superficial que produce sismos importantes en gran parte del territorio ecuatoriano.

1.5 VULNERABILIDAD SÍSMICA.

A partir de enseñanzas de sismos pasados se ha observado que existen estructuras de una misma tipología estructural que pueden sufrir un mayor grado de daño debido aún terremoto a pesar de localizarse en el mismo lugar. Es decir, que existen edificaciones con mejor calidad estructural que otros. Por ende, se puede llegar a definir la vulnerabilidad sísmica como la capacidad que tienen los elementos estructurales de una edificación para resistir un sismo.

No obstante, es importante destacar que el solo hecho de diseñar de acuerdo con un código no siempre salvaguarda contra el daño producido por terremotos severos. Los códigos sísmicos establecen requisitos mínimos para proteger la vida de los ocupantes, requisitos que muchas veces no son suficientes para garantizar el funcionamiento de la estructura después del sismo.

La vulnerabilidad de una estructura muestra la falta de resistencia frente a un sismo, la cual depende mucho de las características del diseño, la tipología estructural, la calidad de los materiales y la técnica que se utilizó en la construcción de la edificación.

El conocimiento de la amenaza sísmica existente, permite definir que debe considerarse en el diseño de nuevas estructuras como también el lugar donde pueden ser construidas, de tal forma que las condiciones de los emplazamientos sean óptimas, sin embargo, poco puede hacerse para reducir la amenaza a la que están expuestas las estructuras existentes, por lo tanto, si se desea disminuir el riesgo, se requiere una intervención directa sobre la vulnerabilidad de las edificaciones.

En países en vías de desarrollo y con un bajo control de diseño sismorresistente, como es el caso de Ecuador, poco se ha hecho para reducir la vulnerabilidad sísmica de las estructuras existentes, con lo cual, ante movimiento de intensidad moderada y alta, el número de pérdidas de vidas humanas y la magnitud de los daños físicos, sociales y económicos, originarán verdaderas catástrofes sísmicas.

El conocimiento del comportamiento sísmico de las estructuras, permite definir los mecanismos y acciones de refuerzo requeridos para la reducción de los efectos provocados por los movimientos del suelo.

1.5.1 Informalidad en la Construcción.

Según la publicación N.78 (diciembre 2000) de la revista Gestión, en construcción hay una buena y una mala noticia. La buena es que se proyecta edificar cada año en el Ecuador alrededor de 17 mil nuevas viviendas formales. La mala es que se van a construir otras 21 mil informales (55% del total nacional), es decir que se construirán en forma dispersa, sin permiso de construcción ni la dirección técnica de un profesional.

Según la Ing. Jeanette Fernández, Subdecana de la Facultad de Ingeniería Civil de la Politécnica Nacional (agosto 1998), las construcciones informales son muy frágiles y vulnerables ante los sismos, desafortunadamente hay una gran cantidad de edificaciones de este tipo en el país. El 70 % de las edificaciones de vivienda no contempla ningún tipo de provisión mínima. No solamente en cuanto al diseño por cargas sísmicas sino también por cargas verticales o de ocupación normal.

Un sinnúmero de edificaciones construidas por sus propios dueños, sin la intervención técnica de profesionales, tiene una altísima probabilidad de sufrir daños de consideración por la acción de eventos sísmicos o por fuerzas adicionales como lluvias excesivas o vientos huracanados. Incluso, estas edificaciones no tienen ningún control de la calidad de los materiales que se utilizan ni tampoco algún criterio arquitectónico o ingenieril.

De acuerdo a la investigación realizadas en la ciudad de Riobamba (Paguay, Trujillo, 2010) aproximadamente el 70% de las viviendas se edifican por el sector informal (a través de la autoconstrucción), de los cuales el 46.5% son muy vulnerables y el 40.8% son medianamente vulnerables, esto se debe entre otros aspectos por la utilización de materiales de bajo costo o de mala calidad con procesos constructivos inadecuados y sin asesoría técnica.

De igual forma la investigación para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del barrio el Esfuerzo de la ciudad de Riobamba (Chauca, Tenelema, 2011) nos indica que las viviendas residenciales de hormigón armado son: el 46.5% muy vulnerables y el 40.8% medianamente vulnerables, dando un total de 87.3% de vulnerabilidad sísmica.

1.5.2 Daños en las Edificaciones.

1.5.1.1 Daño Estructural.

Se refiere al sistema resistente de la estructura, por lo cual, es el más importante dentro de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una vivienda, ya que puede ser el responsable del colapso de la misma.

A causa de sismos fuertes es común que se presenten daños estructurales en columnas, tales como grietas diagonales causadas por cortante y/o torsión, grietas verticales, desprendimiento del recubrimiento, aplastamiento del concreto y pandeo de las barras longitudinales por exceso de esfuerzos de flexocompresión. En vigas, se presentan grietas diagonales y rotura de estribos a causa de cortante y/o torsión, grietas verticales, rotura del refuerzo longitudinal y aplastamiento del concreto por la flexión.

Las conexiones entre elementos estructurales son, por lo general, los puntos más críticos; en las uniones viga-columna (nudos) el cortante produce grietas diagonales y es común ver fallas por adherencia y anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas a causa del poco desarrollo del mismo y/o a consecuencia de esfuerzos excesivos de flexión.

En las losas se pueden presentar grietas por punzonamiento alrededor de las columnas y grietas longitudinales a lo largo de la placa debido a la excesiva demanda por flexión que puede imponer el sismo. (OPS, 2000)

El comportamiento de los elementos resistentes de una estructura como son las vigas, columnas, sistemas de entrepiso, tiene que ver con la calidad de los materiales, su configuración y tipo de sistema resistente e indiscutiblemente de las características de las cargas actuantes.

1.5.1.2 Daño No Estructural.

Es el daño causado por los elementos que no forman parte del sistema estructural, como lo son las paredes, ventanas, revestimientos, etc. Estos elementos pueden llegar a jugar un papel importante en lo que se refiere a pérdidas humanas y económicas, a pesar de que no, necesariamente, ponen en peligro al sistema estructural.

1.5.3 Factores que Influyen en el Comportamiento Sísmico de las Estructuras

Existen algunas condiciones de las viviendas que por observación pueden dar una idea del comportamiento de su estructura durante un sismo; a continuación se detallan y se toma ejemplo edificaciones del barrio en estudio:

1.5.3.1 Problemas de Configuración en Planta.

- **Longitud excesiva.**

Se debe evitar el uso de plantas muy alargadas, ya que mientras mayor es la longitud, mayor será la probabilidad de que actúen movimientos en el terreno distintos entre un extremo y otro, lo que origina mayores solicitaciones en la parte central de la edificación y se aumentan las posibilidades de excentricidad en la distribución de rigideces.

El movimiento del terreno consiste en una transmisión de ondas, la cual se da con una velocidad que depende de las características de masa y rigidez del suelo de soporte, la excitación que se da en un punto de apoyo de la estructura en un momento dado difiere de la que se da en otro, diferencia que es mayor en la medida en que sea mayor la longitud de la edificación en la dirección de las ondas, causando esfuerzos longitudinales de tensión y de compresión adicionales. Considerando lo anterior, el correctivo usual para el problema de longitud excesiva de edificaciones es la partición de la estructura en bloques por medio de la inserción de juntas de dilatación sísmica.



Figura 12. Planta con longitud excesiva en un sentido. Barrio La Libertad

- **Plantas con formas irregulares.**

Cuando las plantas tienen formas asimétricas la respuesta sísmica es poco conveniente, porque se generan vibraciones torsionales. Las esquinas interiores o entrantes son una característica común de la configuración general de la vivienda que toma formas en L, T, U, H, o bien una combinación de estas formas.

Estas formas tienden a producir variaciones de rigidez y por lo tanto movimientos diferenciales entre las diversas partes de la edificación, provocando concentraciones locales de esfuerzos en las esquinas entrantes de la vivienda.



Figura 13. Plantas con forma irregular “L”. Barrio La Libertad

- **Sistemas estructurales no paralelos.**

Como es de conocimiento el sismo actúa en una dirección arbitraria y la estructura, al no poseer un sistema resistente ortogonal, termina siendo vulnerable en la dirección que haya menor resistencia.



Figura 14. Plantas con sistemas estructurales no paralelos. Barrio La Libertad.

1.5.3.2 Problemas de Configuración en Altura.

▪ **Escalonamientos.**

Los escalonamientos en los volúmenes de una edificación se presentan habitualmente por exigencias urbanísticas de iluminación, proporción, etc. Sin embargo, desde el punto de vista sísmico, son causa de cambios bruscos de rigidez y de masa; por lo tanto, traen consigo la concentración de fuerzas que producen daño en los pisos aledaños a la zona del cambio brusco. Los cambios bruscos en elevación, generalmente cuando la parte superior tiene una rigidez muy pequeña comparada a la de la base, suelen hacer que en la estructura se produzca el denominado efecto de “latigazo”, donde se produce una amplificación de los esfuerzos en los pisos donde se encuentren los cambios de rigideces.

Las formas escalonadas poseen un cambio abrupto de resistencia y rigidez con la altura, y su gravedad depende de las proporciones relativas y del tamaño absoluto de las distintas partes de la edificación; además si la estructura es asimétrica, entonces se introducirán fuerzas de torsión en la estructura, haciendo más complejo su análisis y su comportamiento.



Figura 15. Vivienda con forma escalonada. Barrio La Libertad

▪ **Discontinuidad de Resistencia y Rigidez.**

Debe evitarse que un entrepiso tenga una resistencia y rigidez significativamente menor que el resto de los pisos, por más de que este cumpla con los requerimientos mínimos para absorber las fuerzas de diseño. En un sismo, el entrepiso de menor rigidez estará sujeto a una demanda de ductilidad que

probablemente no podrá cumplir. El piso blando es el más importante problema causado por la discontinuidad de resistencia y rigidez. Este nombre se aplica comúnmente a las edificaciones cuya planta baja es más débil que las plantas superiores, sin embargo, un piso blando en cualquier nivel crea un problema, pero como las fuerzas generalmente son mayores hacia la base de la edificación (cortante basal), una discontinuidad de rigidez entre el primer y segundo piso tiende a provocar la condición más grave.

Existe piso blando cuando hay una discontinuidad de resistencia y rigidez entre la estructura vertical de un piso y el resto de la estructura. Generalmente, esta discontinuidad es provocada por el hecho de que el primer piso es significativamente más alto que el resto, produciéndose una disminución de rigidez.

Adicionalmente, el piso blando se puede producir también por un piso abierto que soporta muros superiores estructurales o no estructurales pesados.



Figura 16. Viviendas con discontinuidad de resistencia y rigidez en el primer piso.
Barrio La Libertad

Igualmente existe piso blando en el caso de discontinuidad debido al hecho de que no todos los elementos estructurales verticales se proyectan hacia la cimentación, sino que algunos terminan en el segundo piso para aumentar las luces de la planta baja. Esta condición crea una trayectoria de carga discontinua que produce un cambio abrupto de resistencia y rigidez en el punto de cambio.



Figura 17. Piso débil por la falta de continuidad de los elementos estructurales.
Barrio La Libertad

▪ Efecto de Columna Corta.

Para que las estructuras no colapsen durante un sismo éstas deben ser capaces de absorber o consumir la energía entrante mediante los miembros portantes de la misma. Las columnas consumen esta energía mediante los desplazamientos que experimentan. Como los desplazamientos de las columnas son proporcionales a sus longitudes, la capacidad de consumir energía en las columnas cortas es muy baja. Por esta razón, las columnas cortas son los elementos que más daño infligen a la construcción.

Se presenta el efecto de columna corta cuando en una edificación aporticada se construye una pared de altura parcial para ajustar alguna ventana. La columna adyacente se comporta como columna corta, debido a la presencia de las paredes, que le restringen el movimiento lateral.



Figura 18. Viviendas con el efecto de columna corta.
Barrio La Libertad

1.5.3.3 Golpeteo o El Problema de Colindancia.

Durante un sismo, las edificaciones adyacentes oscilan fuera de fase, primero alejándose y luego acercándose entre sí, cada uno con su propio período de vibración. Por tanto, la separación entre ellos es importante para evitar golpeteos.

El golpeteo de edificaciones es otra falla frecuente que puede llevar al colapso a uno de ellos especialmente si se están golpeando dos estructuras de diferente altura y es más grave el problema si las losas de entrepiso no están a la misma altura.



Figura 19. Viviendas con problemas de colindancia, golpeteo por desnivel de losas.
Barrio La Libertad

1.5.3.4 Mala Calidad de los Materiales.

La calidad de materiales es fundamental en toda estructura. Entonces se debe velar para que los materiales que se utilicen en la construcción en general sean resistentes y tengan una ductilidad adecuada en el caso de las varillas de acero.

1.5.3.5 Suelos No favorables.

Es importante resaltar que la interacción entre el suelo y la estructura puede favorecer que ésta entre en resonancia si los períodos naturales de vibración del suelo y la estructura son similares. Las estructuras bajas poseen períodos de vibración rápidos, similares a los suelos rígidos; las estructuras altas, son de período de vibración lento, similares a los suelos blandos, en los cuales se

producen mayores amplitudes de movimiento, por lo que estructuras asentadas en suelos que favorezcan la condición de resonancia son más vulnerables.

Otra condición crítica podría producirse por suelos mal compactados o distintos tipos de suelo en el área de la edificación, lo que podría ocasionar asentamientos diferenciales o diferentes tipos de vibración.

1.5.3.6 Mano de Obra no Calificada

La falta de control y de supervisión idóneas han contribuido para esta proliferación de edificaciones con inadecuada configuración estructural, deficiente resistencia de los materiales, dimensiones insuficientes de los elementos estructurales y ausencia de un correcto detallado del refuerzo, indican no solo un desconocimiento de las disposiciones de construcción sismoresistentes existen sino también una alarmante ausencia de supervisión técnica. Esto compromete de manera ineludible a los profesionales de la construcción, desde el diseño hasta la ejecución de los proyectos.

1.5.3.7 Ampliaciones no previstas.

Cuando se practica una remodelación a una edificación, por lo general se necesita hacer aberturas en muros, demoliciones y en ocasiones, hasta conectar estructuralmente la edificación nueva con la existente, lo que puede resultar en perjuicio del conjunto estructural. Si los cambios afectan a miembros importantes del diseño original de la estructura, se favorecen fenómenos como la degradación de rigidez, inclusión de fuerzas de torsión, zonas de concentración de esfuerzos, incremento de cargas si las ampliaciones son verticales, etcétera.

Los anteriores factores son usuales en el barrio La Libertad, en donde la mayoría de propietarios son de escasos recursos económicos y optan por la utilización de materiales más baratos que a su vez son de baja calidad, otra razón es por la falta de conocimiento reflejada en deficiencias durante el proceso de construcción.

Por todo esto se hace necesario evaluar las edificaciones para determinar su vulnerabilidad ante la presencia de un sismo.

1.6 METODOLOGÍAS PARA EL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.

Las metodologías para evaluar la vulnerabilidad estructural de edificaciones varía dependiendo, no solo del tipo de estructura y amenaza considerada, sino del nivel de precisión perseguido, de la información disponible y del propósito del estudio a realizar. Desde un punto de vista práctico pueden clasificarse en métodos cualitativos, cuantitativos y métodos híbridos, que hacen uso mixto de los dos primeros (Yépez, 1995).

En el caso de los métodos cualitativos son los que menos recursos e información requieren, lo que se busca es clasificar estructuras en grupos y tipos de vulnerabilidad, con el propósito de priorizar las acciones futuras que se pudieran implementar para reducir la misma. Por otro lado, los métodos cuantitativos, llegan a predecir un nivel de vulnerabilidad o de daños esperados frente a los diferentes niveles de la amenaza considerada, a tal punto que pueden servir para tomar decisiones directas sobre las estructuras.

Los métodos cuantitativos requieren de mayores recursos e información precisa, por lo que se justifican para estudios particulares de detalle. Los cualitativos se justifican para analizar grandes cantidades de estructuras a nivel de barrios o ciudades y tomar decisiones territoriales

La vulnerabilidad sísmica permite clasificar a las estructuras por sus características y calidad estructural, catalogándolas dentro de un rango muy vulnerable hasta uno no muy vulnerable, bajo la acción de un sismo , para lo cual se utilizará metodologías de evaluación acorde al lugar de estudio con un procedimiento sencillo pero eficaz.

La presente investigación, empleará dos métodos cualitativos, una de ellas es la metodología propuesta por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), la cual evalúa la vulnerabilidad físico estructural de las edificaciones con un enfoque basado en la calificación de las características de la estructura de cada edificación, frente a la amenaza sísmica.

Además se decidió aplicar la metodología del índice de vulnerabilidad sísmica por el método italiano, el cual identifica los parámetros más importantes que controlan el daño en las viviendas causados por un terremoto.

Algunas de las razones que se tomaron en cuenta para elegir esta metodología, son:

- Está fundamentada en datos reales.
- Se puede aplicar en estudios a nivel urbano marginal.
- Se tiene la experiencia de haberse aplicado en diferentes ciudades de Italia y en el resto del mundo, incluido Colombia, ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, con buenos resultados.

1.6.1 Metodología propuesta por la SNGR para el Cálculo del Índice de Vulnerabilidad.

Históricamente, las cabeceras cantonales han constituido un polo de desarrollo y de emplazamiento de actividades industriales, comercio, servicios y fundamentalmente de vivienda. Es por esta razón que la población se concentra en estos espacios territoriales, generando diferentes niveles de aglomeración, definidos a través de la ocupación de las edificaciones e instalaciones urbanas, por ello, resulta crucial determinar la vulnerabilidad de las mismas.

La metodología propuesta por la SNGR está diseñada para ser ejecutada a nivel de zonas urbanas de las cabeceras cantonales de municipios medianos y pequeños del Ecuador, como es el caso de Riobamba.

El método parte de las características físicas de las edificaciones, se definen aquellas que inciden directamente en el comportamiento estructural de la edificación frente a la amenaza sísmica, para calificarla de manera cualitativa y, ponderar los resultados con el objetivo de encontrar un único valor o índice de vulnerabilidad para cada edificación.

Con la metodología planteada, los valores y pesos, para la calificación y ponderación, se deducen de acuerdo con el conocimiento del comportamiento estructural de las diferentes tipologías de edificaciones, frente a las distintas

amenazas posibles, utilizando como modelo las experiencias documentadas en desastres pasados y, con la información proveniente de la literatura técnica reciente a nivel mundial (Barbat, Yépez y Canas, 1996; BRGM 2009, GNDT 2000, Calviet. al., 2006).

La metodología propone evaluar la vulnerabilidad, considerando las siguientes variables: sistema estructural, tipo de material de paredes, tipo de cubierta, sistema de entrepiso, número de pisos, estado de conservación, características del suelo bajo la edificación, topografía del sitio, año y forma de construcción (Tabla 4); cada variable dispone de indicadores, a los mismos que se les ha asignado valores entre 0, 1, 5 y 10, según la condición de la edificación a la cual se está evaluando.

A continuación se describe las variables para la evaluación de la vulnerabilidad física de edificaciones ante la amenaza sísmica, en base a la metodología de la SNGR.

1.6.1.1 Sistema Estructural.

El tipo de sistema resiste estructural es la variable básica a considerarse, que proporciona la información mínima necesaria para iniciar el análisis. Las edificaciones de hormigón armado se consideran menos vulnerables que las de madera, caña, pared portante o mixtas.

1.6.1.2 Tipo de Material de Paredes.

El tipo de material de paredes define por un lado si la estructura es de paredes portantes (piedra, adobe, tapial, etc.) o si más bien obedece a tipologías menos vulnerables como ladrillo o bloque.

1.6.1.3 Tipo de Cubierta.

La cubierta de una estructura no sólo proporciona confinamiento al sistema estructural sino califica la debilidad de la misma frente a eventos sísmicos.

1.6.1.4 Entrepisos.

El sistema de entrepisos confina el resto de elementos estructurales y proporciona resistencia ante cierto tipo de fallas. Son menos vulnerables los de hormigón armado que la de madera, caña o mixtas.

1.6.1.5 Número de Pisos.

Si la estructura es más alta, típicamente es más vulnerable que la de un piso pues requiere mayores esfuerzos y cuidados para presentar un buen comportamiento.

1.6.1.6 Año de Construcción.

El año de construcción está asociado con la resistencia de códigos de construcción apropiados (inexistentes antes de 1970) e inadecuadamente aplicados (antes de 1980).

1.6.1.7 Estado de Conservación.

El grado de conservación califica el posible deterioro de las propiedades mecánicas de los materiales y de su resistencia a las amenazas.

1.6.1.8 Características del Suelo.

El suelo donde está construida es susceptible de facilitar que la amenaza afecte a la edificación. Suelo firme y seco implica menor vulnerabilidad que húmedo, blando y/o relleno.

1.6.1.9 Topografía del Sitio.

Si el terreno donde está construida es escarpado genera vulnerabilidades en la edificación, mientras que el terreno a nivel disminuye la vulnerabilidad.

1.6.1.10 Forma de la Construcción.

Una forma regular presenta menos vulnerabilidad que una forma irregular para la amenaza sísmica.

Tabla 4. Variables e indicadores para vulnerabilidad sísmica de edificaciones.

METODOLOGIA SNGR			
VARIABLE DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE Y USO DE LA INFORMACIÓN	INDICADORES CONSIDERADOS	AMENAZA SÍSMICA
Sistema Estructural	Describe la tipología estructural predominante en la edificación	Hormigón Armado	0
		Estructura Metálica	1
		Estructura de Madera	1
		Estructura de Caña	10
		Estructura de Pared Portante	5
		Mixta madera/ hormigón	5
		Mixta metálica/ hormigón	1
Tipo de Material en Paredes	Describe el material predominante utilizado en las paredes divisorias de la edificación	Pared de ladrillo	1
		Pared de bloque	1
		Pared de piedra	10
		Pared de adobe	10
		Pared de tapia / bahareque / madera	5
Tipo de Cubierta	Describe el tipo de material utilizado como sistema de cubierta de la edificación	Cubierta metálica	5
		Losa de hormigón armado	0
		Viga de madera y zinc	5
		Caña y zinc	10
		Viga de madera y teja	5
Sistema de Entrepiso	Describe el tipo de material utilizado para el sistema de pisos diferentes a la cubierta	Losa de hormigón armado	0
		Vigas y entramado de madera	5
		Entramado madera/ caña	10
		Entramado metálico	1
		Entramado hormigón, metálico	1
Número de pisos	Se considera el número de pisos como una variable de vulnerabilidad, debido a que su altura incide en su comportamiento	1 piso	0
		2 pisos	1
		3 pisos	5
		4 pisos	10
		5 pisos o más	1
Año de Construcción	Permite tener una idea de la posible aplicación de criterios de diseño de defensa contra amenaza	antes de 1970	10
		entre 1971 y 1980	5
		entre 1981 y 1990	1
		entre 1991 y 2010	0
Estado de Conservación	El grado de deterioro influye en la vulnerabilidad de la edificación	bueno	0
		aceptable	1
		regular	5
		malo	10
Características de suelo bajo la edificación	El tipo de terreno influye en las características de vulnerabilidad física	Firme, seco	0
		Inundable	1
		Ciénaga	5
		Húmedo, blando, relleno	10
Topografía del Sitio	La topografía del sitio de construcción de la edificación indica posibles debilidades frente a la amenaza	A nivel, terreno plano	0
		Bajo nivel calzada	5
		Sobre nivel calzada	0
		Escarpe positivo o negativo	10
Forma de construcción	La presencia de irregularidad en la edificación genera vulnerabilidades	Regular	0
		Irregular	5
		Irregularidad severa	10

Fuente: Guía de implementación para el análisis de vulnerabilidades a nivel cantonal. (2012).

Al analizar la Tabla 4, a los indicadores se han asignado valores de 0 (menos vulnerable) hasta 10 (máxima vulnerabilidad), dependiendo si la característica física de la edificación analizada constituye una debilidad, leve o fuerte frente a la amenaza sísmica. Conforme el indicador degenera en una característica más débil que otra, el valor aumenta.

Los indicadores de cada una de las variables son multiplicados por los pesos de ponderación asignados. Se puede apreciar las ponderaciones de las variables de vulnerabilidad de la metodología propuesta por la SNGR en la siguiente tabla.

Tabla 5. Ponderación de las variables de vulnerabilidad ante amenaza sísmica

VARIABLES	VALORES POSIBLES DEL INDICADOR	PONDERACIÓN	VALOR MÁXIMO
Sistema Estructural	0, 1, 5, 10	1.2	12
Material de Paredes	0, 1, 5, 10	1.2	12
Tipo de Cubierta	0, 1, 5, 10	1	10
Tipo de Entrepisos	0, 1, 5, 10	1	10
Número de Pisos	0, 1, 5, 10	0.8	8
Año de Construcción	0, 1, 5, 10	1	10
Estado de Conservación	0, 1, 5, 10	1	10
Característica del Suelo	0, 1, 5, 10	0.8	8
Topografía del Sitio	0, 1, 5, 10	0.8	8
Forma de Construcción	0, 1, 5, 10	1.2	12
Valor Mínimo = 0			100

Fuente: Guía de implementación para el análisis de vulnerabilidades a nivel cantonal. (2012).

Con la sumatoria de las calificaciones de las variables de vulnerabilidad en cada predio, da como resultado el nivel de vulnerabilidad.

El predio calificado en su nivel de vulnerabilidad, de acuerdo a los puntajes obtenidos en el paso anterior, podrá tener un máximo de 100 puntos. A mayor puntaje, mayor vulnerabilidad estructural del predio.

Partiendo de esta condición se procederá a calificar a cada predio en función de la cantidad de puntos obtenidos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. Nivel de Vulnerabilidad Metodología SNGR

NIVEL DE VULNERABILIDAD	PUNTAJE
SEGURA	0 a 33 puntos
MEDIA	34 a 66 puntos
ALTA	Más de 66 puntos

Fuente: Guía de implementación para el análisis de vulnerabilidades a nivel cantonal. (2012)

1.6.2 Metodología Italiana para el Cálculo del Índice de Vulnerabilidad.

Una de las metodologías que actualmente se emplea en varias partes del mundo es la propuesta por los investigadores Benedetti y Petrini.

El método italiano para cálculo de índices de vulnerabilidad se desarrolló desde 1976, a partir de información obtenida de daños observados en edificaciones por terremotos en Italia, completándose en 1986, CNR.

La metodología italiana fue desarrollada inicialmente para estructuras de mampostería pero a posterior se obtuvo una versión para edificaciones de hormigón armado. Está basada en la opinión de expertos, en los informes realizados por comisiones que han estudiado las causas de los daños dejados por los sismos. (Aguiar Falconí & Bolaños, 2006).

El método del índice de vulnerabilidad sísmica por el método Italiano, apoyándose en cálculos simplificados de estructuras, identifica los parámetros más importantes que controlan el daño en una edificación ante una solicitud sísmica. Los estudios de la configuración en planta y elevación, el tipo y calidad de los materiales utilizados, la posición y la cimentación del edificio, la disposición de los elementos estructurales, así como el estado de conservación de la estructura, son calificados individualmente en una escala numérica afectada por un factor de peso, que trata de resaltar la importancia de un parámetro respecto al resto.

En el método se evalúa 11 parámetros, calificados de acuerdo a su vulnerabilidad en tres grupos: A, B y C, siendo el más seguro A y la más crítica C. La calificación es de tal manera que mientras menor valor se le asigna al parámetro es más seguro. Cada parámetro tiene un peso, y la ecuación para determinar el índice de vulnerabilidad (IV) es la siguiente:

$$IV = \sum_{i=1}^n (K_i * W_i) \quad (1)$$

En donde K_i es la calificación de cada parámetro y W_i su peso asignado. Se evalúan los once parámetros, y a cada uno se le da una importancia.

A continuación se presenta el análisis de cada uno de los parámetros involucrados en la determinación del índice de vulnerabilidad sísmica por el método Italiano, en cada parámetro se describe el posible coeficiente de calificación que pudiese adoptar así como también las características sismorresistente evaluadas asociadas a cada parámetro.

1.6.2.1 Organización del Sistema Resistente.

Analiza las características del esquema resistente estructural de la edificación, definiéndolo como aquel que absorbe más del 70% de la acción sísmica. A continuación se presenta los requisitos para determinar la categoría a la que pertenece una edificación, si no cumple con uno de los requisitos pasa a otra categoría.

▪ **Edificación Clase A.**

- i. El sistema resistente principal está constituido de un sistema de pórtico mixto de hormigón y mampostería confinada.
- ii. Los huecos de un panel no superen el 30% de la superficie total del panel. En base a la Figura 20, se tiene que cumplir que.

$$m * n \leq 0.3 * L * d$$

(2)

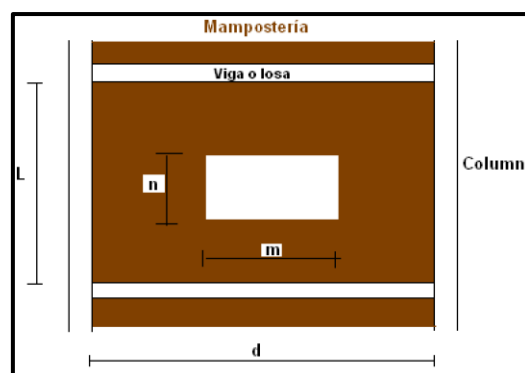


Figura 20. Descripción de la nomenclatura utilizada en un pórtico con mampostería y ventana. (Aguar Falconí & Bolaños, 2006).

- iii. Está formada por elementos robustos (ladrillo macizo o semi macizo, bloques de muy buena calidad) unidos con mortero de buena calidad.

- iv. La relación entre la altura y el espesor de la mampostería (b) sea inferior a 20.

$$\frac{L}{b} \leq 20 \quad (3)$$

- v. La mampostería en su parte superior no se encuentre a más de 1 cm de la viga, para que no esté suelta la mampostería.
- vi. La mampostería no sobresalga, respecto al filo extremo del pórtico más del 20% de su espesor. Con relación a la Figura 21, debe cumplir que:

$$s \leq 0.20 * b \quad (4)$$

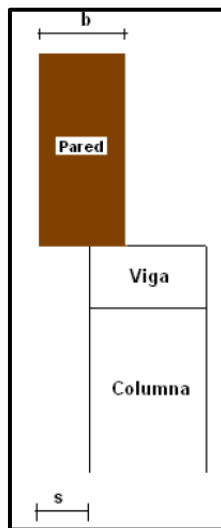


Figura 21. Detalle de la mampostería que está en voladizo. (Aguiar Falconí & Bolaños, 2006).

- vii. El área transversal A_c de las columnas de hormigón armado en cm^2 adyacentes a la mampostería será mayor o igual a 25 veces el ancho de la mampostería expresada en cm. Se debe cumplir el área transversal de cada columna no de la suma. Con respecto a la figura 22 debe cumplir:

$$A_c \geq 25 * b \quad (5)$$

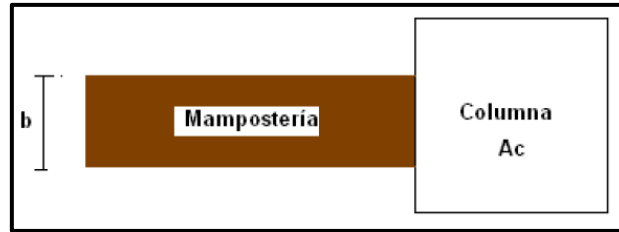


Figura 22. Confinamiento de la mampostería. (Aguilar Falconí & Bolaños, 2006).

▪ **Edificación Clase B.**

- i. Estructuras conformada por vigas y columnas de hormigón armado, sin muros de corte y muros de mampostería que no hayan cumplido con los requisitos de la categoría A.
- ii. Los huecos de un panel no superen el 60% de la superficie total del panel. En base a la Figura 20, se tiene que cumplir que.

$$m * n \leq 0.6 * L * d \quad (6)$$

- iii. La relación entre la altura y el espesor de la mampostería (b) sea inferior a 30.

$$\frac{L}{b} \leq 30 \quad (7)$$

- iv. La mampostería no sobresalga, respecto al filo extremo del pórtico más del 30% de su espesor. Con relación a la Figura 21, debe cumplir que:

$$s = 0.3 * b \quad (8)$$

- v. El área transversal A_c de las columnas de hormigón armado en cm^2 adyacentes a la mampostería será mayor o igual a 20 veces el ancho de la mampostería expresada en cm. Se debe cumplir el área transversal de cada columna no de la suma. Con respecto a la figura 22 debe cumplir:

$$A_c \geq 20 * b$$

(9)

▪ **Edificación Clase C.**

- i. Pertenecen a esta categoría, las edificaciones que no clasificaron como A o como B

1.6.2.2 Calidad del Sistema Resistente.

Evalúa la calidad del sistema resistente en cuanto a materiales como hormigón, acero, mampostería junto con los morteros empleados, además de considerar las características de la mano de obra y calidad de la ejecución.

▪ **Edificación Clase A.**

- i. El hormigón utilizado parece de buena consistencia, duro al rayado y bien ejecutado. Es conveniente con un esclerómetro ver la resistencia del mismo y verificar si es superior a 210 kg/cm².
- ii. No debe existir zonas de “hormiguero” debido a una mala vibración del hormigón en su colocación.
- iii. Las barras de acero utilizadas son corrugadas y no están visibles.
- iv. La mampostería está conformada por elementos compactos y el mortero utilizado no se hace migas fácilmente, es de buena calidad el mortero.
- v. La información disponible elimina la posibilidad de una mala calidad de ejecución de la obra o de una modalidad constructiva errónea en la zona.

▪ **Edificación Clase B.**

- i. Es una edificación que no pertenece a las categorías A o C.

▪ **Edificación Clase C.**

- i. El hormigón es de baja calidad.
- ii. Las varillas de acero son visibles, oxidadas o están eventualmente las distribuidas.
- iii. Las juntas de construcción están mal ejecutadas.
- iv. La mampostería es de mala calidad.
- v. La construcción de los elementos estructurales, vigas, columnas, losas, gradas, mampostería es de mala calidad.

1.6.2.3 Resistencia Convencional.

De acuerdo a los estudios de (Hernández, Evaluación del Riesgo Sísmico, 2002) y (Aguilar Falconí & Bolaños, 2006), la evaluación de este parámetro requiere de cálculos simplificados para determinar una razón entre el cortante actuante y el cortante resistente.

Se determina la relación entre el cortante resistente V_R y el cortante actuante V_S .

$$\alpha = \frac{V_R}{V_S} \quad (10)$$

Teóricamente se debe evaluar esta relación en cualquier piso pero por facilidad se lo hace a nivel de planta baja, de tal manera que V_S es el cortante basal que debe calcularse de acuerdo a lo estipulado a la Norma CPE INEN 5:2001 “Código Ecuatoriano de la Construcción. Requisitos Generales de Diseño. Capítulo 12”.

Este es el cortante actuante V_S definido en la ecuación (10).

$$V_S = \frac{Z * I * C}{R * \phi_P * \phi_E} * W \quad (11)$$

Donde Z es el factor de zonificación sísmica, definido en la tabla 7, es el coeficiente de la aceleración de la gravedad, de acuerdo al mapa de zonificación

sísmica del Ecuador. I es el coeficiente de importancia (para estructuras de viviendas es 1), C es un coeficiente que se calcula con la ecuación (12). R es el factor de reducción de las fuerzas sísmicas, para estructuras conformadas por vigas banda y columnas, sin muros de corte, el valor máximo del valor de R con el cual se debe hallar el cortante basal actuante es 8. Φ_P , Φ_E son los factores que toman en cuenta las irregularidades en planta y elevación, respectivamente y W es el peso total reactivo que se calcula únicamente con la carga muerta

Tabla 7. Factor Z en función de la zona sísmica

Zona Sísmica	1	2	3	4
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.40

Fuente: CPE INEN 5:2001 “Código Ecuatoriano de la Construcción. Requisitos Generales de Diseño. Capítulo 12”.

$$C = \frac{1.25 * S^S}{T} \leq \beta \quad (12)$$

El coeficiente C no debe exceder del valor de β establecido en la tabla 8, no debe ser menor a 0.5. Donde T es el período de vibración.

En la tabla 8 se indican los valores de S y β de acuerdo al perfil de suelo. El perfil S1 es un muy duro, el S2 es semiduro, el S3 es blando y el S4 es muy blando.

Tabla 8. Perfiles de suelo y valores de S y β

Perfil de Suelo	S1	S2	S3	S4
S	1.0	1.2	1.5	2.0
β	2.5	3.0	2.8	2.5

Fuente: CPE INEN 5:2001 “Código Ecuatoriano de la Construcción. Requisitos Generales de Diseño. Capítulo 12”.

Para determinar el período de vibración T, para pórticos de hormigón armado, se debe utilizar la siguiente ecuación.

$$T = 0.0731 * (H)^{3/4} \quad (13)$$

Donde H es la altura total de la edificación expresada en metros.

El cortante resistente se determina de la siguiente ecuación:

$$V_R = A * \tau \quad (14)$$

Donde A es el área de las secciones transversales de los elementos resistentes y, τ es el esfuerzo de corte, el cortante resistente será la suma de todas las contribuciones de columnas.

Para columnas de hormigón armado el esfuerzo al corte τ se evalúa en forma aproximada, con la siguiente ecuación.

$$\tau = \phi * 0.53 * \sqrt{f'_c} = 0.45 * \sqrt{f'_c} \quad (15)$$

Donde el esfuerzo de minoración $\Phi = 0.85$, f'_c es la resistencia máxima a la compresión del hormigón en kg/cm^2 .

En la tabla 9 se indica la clasificación de las edificaciones de acuerdo al parámetro α .

Tabla 9. Clasificación de la resistencia convencional

Clase	Valor de α
A	$\alpha \geq 1.5$
B	$0.7 \leq \alpha < 1.5$
C	$\alpha < 0.7$

Fuente: Aguiar Falconí & Bolaños. (2006).

1.6.2.4 Posición del Edificio y Cimentación.

Se evalúa a simple vista, la influencia del terreno y de la cimentación. El análisis se limita a: consistencia y pendiente del terreno, probables diferencias entre las cotas de cimentación y presencia de terraplenes no equilibrados simétricamente. Además de ello se debe observar que no existen rajaduras horizontales en las paredes que den indicio que existe hundimiento en la cimentación, de tal manera que en forma indirecta también se debe evaluar la cimentación.

- **Edificación Clase A.**

- i. Si la edificación se encuentra sobre un suelo duro y en una topografía plana.
- ii. Si se encuentra en un terreno de dureza intermedia o con mayor resistencia y en una pendiente menor a 15%.
- iii. Si se encuentra en un suelo rocoso con una pendiente menor al 30 %.

- **Edificación Clase B.**

- i. Edificación que no clasifica como A o C.

- **Edificación Clase C.**

- i. Edificación con cimentación insuficiente para cualquier tipo de terreno.
- ii. Edificio sobre terreno de dureza intermedia (perfil de suelo S2 del CPE INEN 5:2001 “Código Ecuatoriano de la Construcción. Requisitos Generales de Diseño. Capítulo 12”.) con pendiente superior al 30% o bien sobre terreno rocoso con pendiente superior al 60%.
- iii. Puede tener además la presencia de empujes no equilibrados debidos al terraplén o están muy próximos a una colina.

1.6.2.5 Losas.

Para un comportamiento estructural satisfactorio de la estructura, las losas de piso y de cubierta deben cumplir con requisitos, como son el de una buena rigidez en el plano y que las conexiones entre losa y elementos resistentes verticales sean adecuados, la rigidez es importante porque determina la magnitud de las deformaciones laterales y por tanto por ejemplo el nivel de daño a los elementos no estructurales.

Una configuración no aceptable de estos podría causar el desarrollo de un mecanismo de fallas con características de reacción en cadena (Hernández, 2002).

La rigidez de la losa depende de factores tales como:

- ❖ El material utilizado
- ❖ La relación largo/ancho, en general con valores mayores a 3 puede considerarse flexible.
- ❖ Aberturas, ocasionan la aparición de zonas flexibles dentro de la losa.

- **Edificación Clase A.**

- i. Edificación con losa rígida y bien conectada a los elementos resistentes verticales. Por otra parte el área de aberturas de la losa serán menores al 30% del área total en planta.

- **Edificación Clase B.**

- i. Edificación que no clasifica como A o C.

- **Edificación Clase A.**

- i. Edificaciones con losas poco rígidas y mal conectadas a los elementos verticales. Edificaciones con abertura de losas mayores al 50% del área total de la planta.

1.6.2.6 Configuración en Planta.

Este parámetro viene asociado a la proyección en planta que presentan los elementos estructurales de una edificación, la forma y disposición de esto son determinantes en su comportamiento ante excitaciones sísmicas (Hernández, 2002), una configuración irregular presentaría en la estructura problemas torsionales, originando de esta manera en una falla frágil, donde la estructura no va a alcanzar la ductilidad para la que fue diseñada. (Aguiar Falconí & Bolaños, 2006).

▪ **Edificación Clase A.**

Edificio con planta regular que satisface los siguientes requisitos:

- i. La relación entre el lado menor y el lado mayor del rectángulo que circunscribe a la edificación en planta como lo muestra la figura 23 (si el edificio en planta es rectangular se debe evaluar el lado menor para el lado mayor) debe cumplir :

$$\delta_1 = a/L$$

(16)

$$\delta_1 > 0.4$$

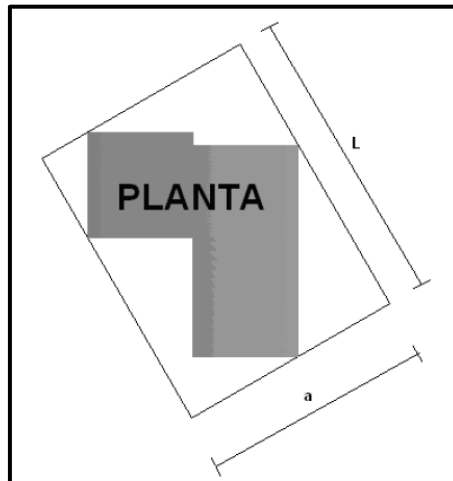


Figura 23. Geometría en planta para evaluar el parámetro δ_1 . (Aguilar Falconí & Bolaños, 2006).

- ii. Con el centro de masa y el centro de rigidez de la planta que se considere más crítica, se debe calcular:

$$\delta_2 = e/d$$

(17)

Donde e es la excentricidad de la edificación y d es la dimensión menor en planta de la edificación, de tal manera que δ_2 se lo más alta. Valores altos de la excentricidad implican problemas de torsión en el edificio. La relación debe cumplir:

$$\delta_2 < 0.2$$

- iii. La relación entre la longitud del voladizo Δd con respecto a la longitud total en la dirección del voladizo como se aprecia en la Figura 24 (mientras mayor es la longitud del voladizo más vulnerable es la estructura), debe cumplir:

$$\delta_3 = \Delta d / d \quad (18)$$

$$\delta_3 < 0.1$$

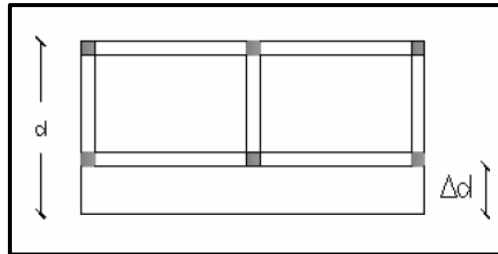


Figura 24. Control de longitud de voladizos. (Aguilar Falconí & Bolaños, 2006).

- iv. La relación entre el ancho y la longitud de la protuberancia del cuerpo principal del edificio como lo ilustra la Figura 25. Se debe calcular δ_4 de tal manera que sea un mínimo.

$$\delta_4 = c / b$$

(19)

$$\delta_4 > 0.5$$

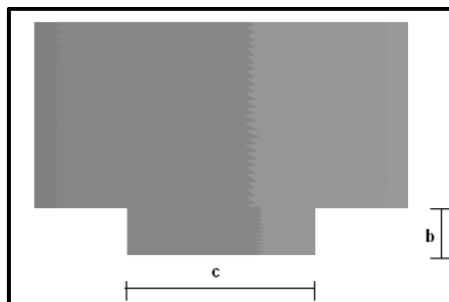


Figura 25. Control de protuberancia en edificaciones. (Aguilar Falconí & Bolaños, 2006).

▪ **Edificación Clase B.**

- i. Edificación con planta irregular que no está en las categorías A o C.

▪ **Edificación Clase C.**

Edificio con planta irregular que verifica uno de los siguientes requisitos:

- i. En función de la ecuación (16), debe cumplir:

$$\delta_1 < 0.2$$

- ii. En función de la ecuación (17), debe cumplir:

$$\delta_2 > 0.4$$

- iii. En función de la ecuación (18), debe cumplir:

$$\delta_3 > 0.2$$

- iv. En función de la ecuación (19), debe cumplir:

$$\delta_4 < 0.25$$

1.6.2.7 Configuración en Elevación.

▪ **Edificación Clase A.**

- i. En el sistema resistente no hay variaciones significativas entre dos plantas sucesivas, se observa que el piso inferior es más fuerte que el piso superior en todos los pisos.
- ii. La relación entre la longitud de una torre de altura T, situada sobre el edificio y la altura total H, como se ve en la figura 26, debe ser

$$\frac{T}{H} < 0.1 \text{ o supera } 0.9$$

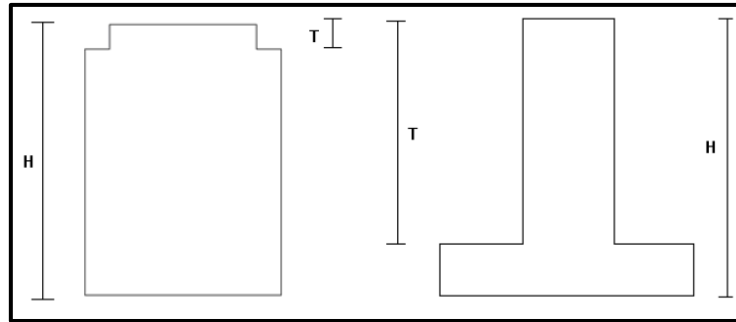


Figura 26. Estructura irregulares en elevación. (Aguiar Falconí & Bolaños, 2006).

- iii. La distribución de los pesos es menor o igual al 10% en dos pisos consecutivos, teniendo el piso inferior mayor masa y no hay interrupción de columnas

- **Edificación Clase B.**

- i. Edificación que no clasifica como A o como C.

- **Edificación Clase C.**

- i. Edificación con variación del sistema resistente, tanto en cuanto a organización como en cantidad y tipo de los elementos resistentes. Una variación del piso inferior menos rígido a más rígido en el piso superior o edificaciones en donde el primer piso tienen mayor altura que los pisos superiores, este es el caso de piso blando.
- ii. La relación entre la longitud de una torre de altura T, situada sobre la edificación y la altura total H cumple:

$$0.1 \leq \left(\frac{T}{H}\right) \leq 0.3$$

O bien

$$0.7 \leq \left(\frac{T}{H}\right) \leq 0.9$$

Y además hay aumentos de masa en altura superior al 20%.

- iii. La relación entre la longitud de una torre de altura T, situada sobre la edificación y la altura total H cumple:

$$0.3 \leq \left(\frac{T}{H} \right) \leq 0.7$$

Y además hay aumentos de masa en altura superior al 40%.

1.6.2.8 Conexión Elementos Críticos.

Este parámetro evalúa la importancia de las uniones viga-columna en el comportamiento sísmico de las estructuras de hormigón armado. Aquí se enfatiza en el hecho de que un deficiente comportamiento de las conexiones significará un comportamiento no dúctil de las estructuras, pudiéndose provocar fácilmente el colapso de la misma ante una acción sísmica severa (Yépez et al, 1996).

Este parámetro para una losa con vigas pérdidas se asume que el ancho de las vigas de estas tipologías estructurales es igual o supera el ancho de columnas. Para lo cual se evalúa fundamentalmente respecto a la dimensión de las columnas. Luego serán clase B o clase C.

▪ **Edificación Clase A.**

- i. La conexión de viga columna es buena.
- ii. Se deberá verificar que la dimensión mínima de una columna sea mayor a 25 cm.

▪ **Edificación Clase B.**

- i. Calidad mediocre de la unión viga-columna o cuando no pertenece a las categorías A o C.

▪ **Edificación Clase C.**

- i. Calidad deficiente de la unión viga-columna.

- ii. Más del 70% de los elementos resistentes no satisfacen los requisitos de la categoría A.
- iii. La dimensión mínima de una columna es menor a 20 cm.

1.6.2.9 Elementos con Baja Ductilidad.

Básicamente este parámetro se refiere a la presencia o no de columnas cortas, que en varios sismos ha sido la falla más frecuente que se produce. (Aguilar Falconí & Bolaños, 2006). En la figura 27 se presenta un caso muy frecuente de columnas cortas y se presenta en escuelas o parqueaderos con malos resultados después de un sismo, estos son elementos de elevada ductilidad.

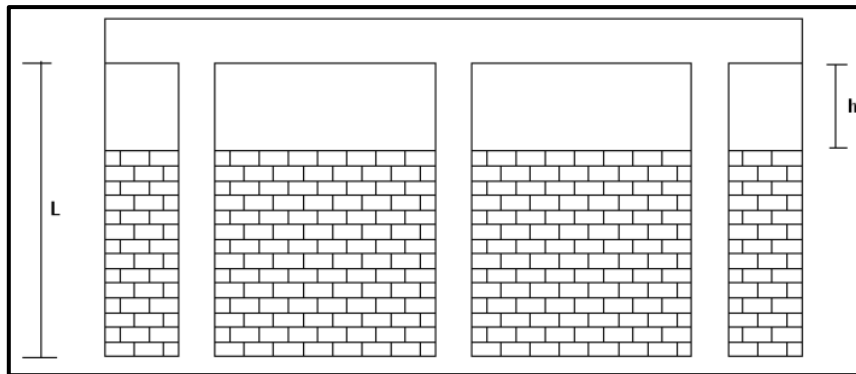


Figura 27. Estructura muy vulnerable con columnas cortas. (Aguilar Falconí & Bolaños, 2006).

Varias son las razones por las cuales el valor de la longitud libre de columnas se reduce considerablemente:

- ❖ Confinamiento lateral de la columna por muros de diferentes tipos.
- ❖ División de losas en niveles intermedios.
- ❖ Ubicación de la edificación en terrenos inclinados.

▪ **Edificación Clase A.**

- i. No tiene elementos cortos

▪ **Edificación Clase B.**

- i. En elementos de baja ductilidad (columnas cortas que se forman bajo las gradas).

$$\frac{L}{4} < h < \frac{L}{2}$$

- ii. En elementos de elevada ductilidad, como lo indicado en la Figura 27 si:

$$\frac{L}{2} < h < \frac{2}{3}L$$

▪ **Edificación Clase C.**

- i. En elementos de baja ductilidad.

$$h < \frac{L}{4}$$

- ii. En elementos de elevada ductilidad.

$$h < \frac{L}{2}$$

1.6.2.10 Elementos No Estructurales.

La evaluación de este parámetro toma en cuenta los elementos que no forman parte del esquema estructural de la edificación si no a aquellos elementos que sobresalgan del edificio o represente un peligro colateral.

Aquí fundamentalmente se siguen criterios de estabilidad que reduzcan el riesgo de caída de estos elementos sobre los ocupantes de la edificación o sobre los transeúntes. Puede ser el caso de chimeneas mal construidas o revestimientos de piedra en las paredes. (Aguilar Falconí & Bolaños, 2006).

- **Edificación Clase A.**

- i. Los elementos externos están anclados de manera eficiente. Los elementos internos son estables aunque no estén anclados.

- **Edificación Clase B.**

- i. Los elementos externos son estables pero con anclajes o conexiones poco fiables. Puede ser el caso de cornisas en las fachadas de edificaciones.

- **Edificación Clase C.**

- i. Edificaciones cuyos elementos externos son inestables y mal conectados o que no son clasificables como A o B.

1.6.2.11 Estado de Conservación.

La evaluación de este parámetro permite calificar de una manera visual la presencia de desperfectos en elementos estructurales y no estructurales así como también estimar el grado de daño o deterioro de forma general de las edificaciones estudiadas.

- **Edificación Clase A.**

- i. Edificaciones cuyas columnas, vigas, losas, mampostería, no se encuentran fisuradas. No hay rajaduras en paredes que induzcan a pensar en asentamientos del suelo. Se garantiza estabilidad bajo cargas sísmicas.

- **Edificación Clase B.**

- i. Edificaciones no clasificables como A o como C

▪ **Edificación Clase C.**

- i. Más del 30% de los elementos principales se encuentran fisurados. La losa tiene fisuras, se presentan daños en la cimentación.

Al final la sumatoria de los once parámetros multiplicados por sus coeficientes, da el índice de vulnerabilidad de la estructura. Los parámetros, su calificación y su peso se indican en la Tabla 10.

Tabla 10. Parámetros considerados en la Metodología Italiana

PARÁMETRO	Clase Ki			Wi
	A	B	C	
1. Organización del Sistema Resistente	0	6	12	1.00
2. Calidad del Sistema Resistente	0	6	12	0.50
3. Resistencia Convencional	0	11	22	1.00
4. Posición del Edificio y cimentación	0	2	4	0.50
5. Losas	0	3	6	1.00
6. Configuración en planta	0	3	6	0.50
7. Configuración en elevación	0	3	6	1.00
8. Conexión elementos críticos	0	3	6	0.75
9. Elementos de baja ductilidad	0	3	6	1.00
10. Elementos no estructurales	0	4	10	0.25
11. Estado de Conservación	0	10	20	1.00

Fuente: Aguiar Falconí & Bolaños. (2006).

Los rangos de aplicación para clasificar a una estructura segura o muy vulnerable según el valor obtenido del índice de vulnerabilidad (IV) mediante la ecuación (1) es la siguiente:

Tabla 11. Nivel de Vulnerabilidad Metodología Italiana

NIVEL DE VULNERABILIDAD	PUNTAJE
SEGURA	0 a 30 puntos
MEDIA	31 a 60 puntos
ALTA	Más de 60 puntos

Fuente: Aguiar Falconí & Bolaños. (2006).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 TIPO DE ESTUDIO.

La escogencia de los tipos de estudio en una investigación va a constituir un paso importante en la metodología, pues este va a determinar el enfoque del mismo.

2.1.1 Descriptivo.

Se realizará la recopilación de información general de la vivienda y de quienes la habitan, además de las características estructurales y parámetros que son fundamentales para estimar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas del barrio La Libertad.

2.1.2 Evaluativo.

A partir de los datos obtenidos en campo se iniciará con la evaluación de las viviendas mediante dos métodos, el método de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y el método Italiano.

2.1.3 Comparativo.

Dentro de esta investigación de vulnerabilidad sísmica interviene un análisis comparativo entre los índices obtenidos de cada método, estableciendo diferencias concisas entre ambas metodologías de evaluación.

2.1.4 Aplicativo.

La investigación aplicada es esencial en esta investigación ya que posterior a los estudios a realizarse se buscará solucionar el problema con el planteamiento de un método de reforzamiento estructural.

2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.

2.2.1 Población.

La presente investigación se lo realiza en el barrio La Libertad ubicada al sur oeste la ciudad de Riobamba (Figura 28).

Este barrio fue considerado debido a su ubicación, ya que se encuentra en la periferia de la ciudad y es claro que la mayoría de viviendas en estas zonas carecen de permisos municipales y por ende de diseños, siendo vulnerables ante un evento sísmico.

La zona de estudio está comprendida en 13 manzanas (Figura 29), arrojando un total de 245 viviendas tanto medias aguas y viviendas de hormigón armado.

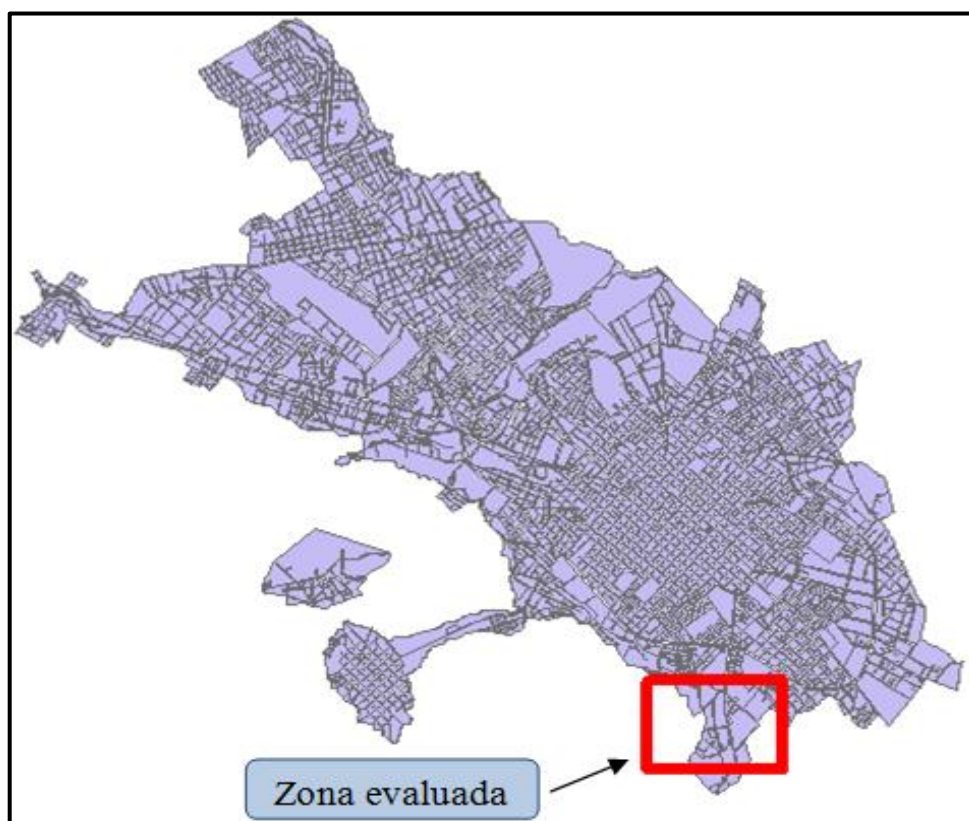


Figura 28. Ubicación zona evaluada en el cantón Riobamba.

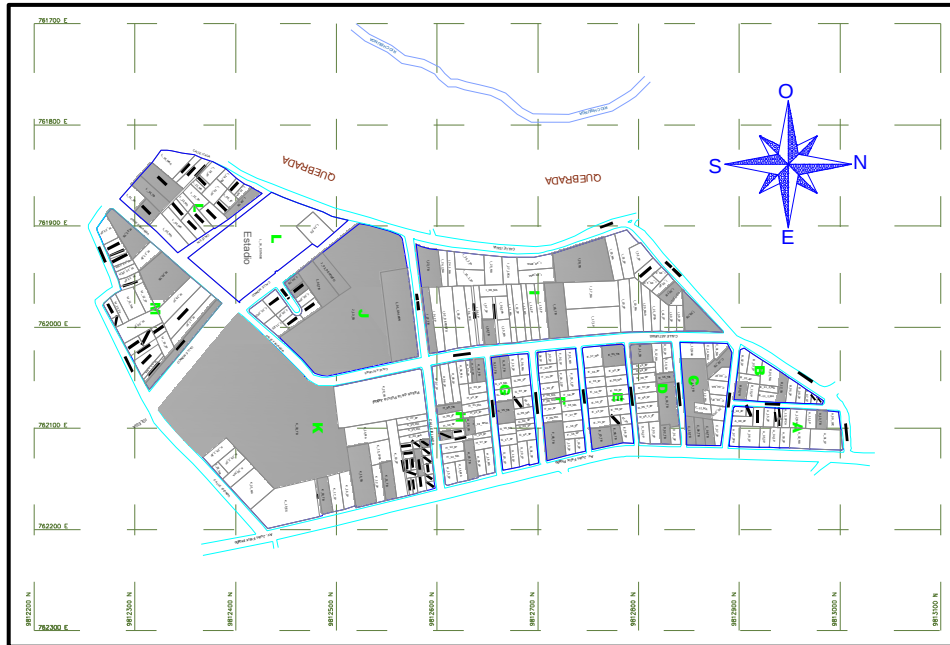


Figura 29. Ubicación manzanas de la zona evaluada.

2.2.2 Muestra.

La fórmula para calcular el tamaño de muestra cuando se conoce el tamaño de la población es la siguiente:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (20)$$

Donde:

N= Total de viviendas → 245

Z_α= Nivel de Confianza → 1.962

p= Probabilidad de éxito → 0.60

q= Probabilidad de fracaso → 0.40

d= Error máximo admisible → 0.035

$$n = \frac{245 * 1.962^2 * 0.60 * 0.40}{0.035^2 * (245 - 1) + 1.962^2 * 0.60 * 0.40} = 185.111 \approx \mathbf{186 \text{ viviendas}}$$

Se requerirá evaluar no menos de 186 viviendas en el barrio La Libertad.

2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Las variables, serán calificadas y cuantificadas de acuerdo al siguiente cuadro.

Tabla 12. Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS	INSTRUMENTO
Las estructuras de las viviendas del barrio La Libertad de la ciudad de Ruobamba.	Es el correcto diseño y disposición de los diferentes elementos que compone la estructura para soportar solicitaciones de seguridad y servicio	Estructuras de concreto reforzado	Viviendas construidas de concreto reforzado.	Número de viviendas construidas de concreto reforzado.	Observación	Fichas de campo
		Estructuras de acero.	Viviendas construidas en acero.	Número de viviendas construidas en acero.	Observación	Fichas de campo
		Estructuras mixtas	Viviendas construidas con diferentes tipos de materiales.	Número de viviendas construidas con diferentes tipos de materiales.	Observación	Fichas de campo
		Estructuras de madera.	Viviendas construidas en madera.	Número de viviendas construidas en madera.	Observación	Fichas de campo
		Medias Aguas	Medias aguas construidas	Número de medias aguas construidas	Observación	Fichas de campo
Índice de Vulnerabilidad Sísmica según el método Italiano de las viviendas del barrio La Libertad	Valora el nivel de daño que pueden alcanzar las viviendas, calculado en función de las características de la estructura que más influyen en su comportamiento sísmico y lo relaciona con un índice de daño que depende del movimiento sísmico	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD MÉTODO ITALIANO	1. Organización del sistema resistente. 2. Calidad del sistema resistente. 3. Resistencia convencional. 4. Posición del edificio y cimentación. 5. Losas. 6. Configuración en planta. 7. Configuración en elevación. 8. Conexión elementos críticos. 9. Elementos de baja ductilidad. 10. Elementos no estructurales. 11. Estado de conservación.	1. ¿Cómo se encuentra constituido el sistema estructural las viviendas? 2. ¿Los materiales y el proceso constructivo de los elementos estructurales de las viviendas fueron de calidad? 3. ¿Las secciones de los elementos estructurales cumplen con los parámetros mínimos estipulados por el CEC? 4. ¿Las características del suelo donde se encuentra asentada la vivienda son adecuadas? 5. ¿Existe una adecuada conexión a los elementos resistentes verticales? 6. ¿Presenta irregularidad la geometría de la vivienda? 7. ¿La distribución de masas es adecuada según la altura de la vivienda? 8. ¿Existe una correcta unión geométrica viga-columna? 9. ¿Se observa la presencia de columnas cortas en la vivienda? 10. ¿Los elementos no estructurales de la vivienda son estables o presentan un riesgo? 11. ¿Existe presencia de fisuras dentro de la estructura?	Observación	Guía de observación
Índice de Vulnerabilidad Sísmica según el método SNGR del barrio La Libertad.		ÍNDICE DE VULNERABILIDAD MÉTODO SECRETARÍA NACIONAL DE RIESGOS (SNGR)	1. Sistema estructural. 2. Tipo de material en paredes. 3. Tipo de cubierta. 4. Sistema de entrepisos. 5. Número de pisos 6. Años de construcción. 7. Estado de conservación. 8. Características del suelo Bajo edificación. 9. Topografía del sitio. 10. Forma de la construcción.	1. ¿Cuál es la tipología estructural predominante en la edificación? 2. ¿Cuál es el material predominante en la mampostería de la vivienda? 3. ¿Qué tipo de material es utilizado como sistema de cubierta? 4. ¿Qué material es utilizado para el sistema de pisos diferente a la cubierta? 5. ¿De cuántos niveles está conformada la vivienda? 6. ¿Cuántos años de construcción tiene la vivienda? 7. ¿Cuál es el grado de deterioro de la vivienda? 8. ¿Cuál es la características del suelo sobre la cual se sienta la edificación? 9. ¿Es adecuado el tipo de topografía donde se encuentra ubicada la vivienda? 10. ¿Existe irregularidad en la vivienda?	Observación	Guía de observación

2.4 PROCEDIMIENTOS.

Para el presente estudio sobre la “Obtención de mapas del índice de vulnerabilidad sísmica de las viviendas construidas en el barrio La Libertad de la ciudad de Riobamba”, es necesario seguir y cumplir con los siguientes objetivos.

2.4.1 Socialización Proyecto de Investigación.

Para llevar a cabo la socialización del tema de investigación se aplicó una entrevista semiestructurada a los habitantes de las viviendas del barrio en estudio, técnica que nos permite matizar la temática de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas. Durante el transcurso de la misma se relacionan temas y se va construyendo un conocimiento comprensivo de la importancia del estudio y de la peligrosidad sísmica en la que se encuentran.

Para el desarrollo de esta técnica se instrumentan en recursos como volantes con información sobre el proyecto de investigación a desarrollarse en este sitio. Además se pegaron afiches en tiendas y lugares de concentración, para informar a los moradores sobre el beneficio del estudio.



Figura 30. Socialización Proyecto. Barrio La Libertad.

2.4.2 Levantamiento Topográfico del Barrio a Nivel Predial.

En el barrio La Libertad, sitio de la investigación, se llevó a cabo el levantamiento de los catastros. Esta zona se caracteriza por su topografía plana y su uso de suelo residencial.

El trabajo de topografía es de importante utilidad para obtener la planimetría del barrio en estudio, y a su vez para generar planos con los cuales podamos ubicar las viviendas a evaluar.

Se tomará puntos de tal modo que representen con exactitud el entorno urbano del barrio, es decir vías, casas, parques, escuelas, etc.

El equipo topográfico es el siguiente:

- Una estación topográfica (SOKKIA CX 105 $\pm 5''$)
- Un GPS (TRIMBLE JUNO SB PRECISIÓN $\pm 1m$)
- 3 Radio-Transmisores (MOTOROLA DE 16 MILLAS DE ALCANCE)
- Dos Prismas (SOKKIA Precisión $\pm 2.5''$)

Herramientas utilizadas:

- Libreta de campo
- Estacas
- Martillo
- Clavos de acero
- Pintura
- Flexómetro
- Cinta métrica.

Las actividades necesarias para llevar a cabo el levantamiento a nivel catastral se divide en dos áreas de trabajo, que son las siguientes:

2.4.2.1 Trabajo de Campo.

A través de la técnica de la observación se realizó una visita previa y delimitación de la zona de estudio, para tener una idea del área y planificar en base a un análisis la metodología a utilizar en el levantamiento, la cantidad de personal necesario, los instrumentos requeridos y el cronograma de trabajo.

Para el desarrollo de las actividades en campo fue necesario el siguiente grupo de topografía conformada por un topógrafo y dos cadeneros.

Con el apoyo de puntos georeferenciados implantados en los Planes Maestros de Agua Potable de la ciudad de Riobamba, estos son puntos de coordenadas exactas de posicionamiento, ubicamos los dos puntos más cercanos al área a medir, los cuales tienen las siguientes coordenadas.

Tabla 13. Monografía de control horizontal y vertical

DATUM WGS-84			
N° FICHA	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
18	9 813 778.325	762 258.098	2 749.318 m (G)
19	9 813 517.944	761 902.701	2 744.490 m (G)

Fuente: Estudios de los Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Riobamba, ACSAM (2008).

Una vez ubicado los puntos nos implantamos en la placa PMR-019 (Anexo 1) que se encuentra empotrada partiendo del redondel donde se encuentra ubicado el monumento a Mercedes de Jesús Molina Ayala (Av. Juan F. Proaño y Av. 9 de Octubre), se sigue por la Av. 9 de Octubre una distancia de 279 m hacia el oeste y replanteamos la placa PMR-018 (Anexo 2) que se encuentra empotrado en el edificio de la EMAPAR ubicado en la calle Londres y Av. Juan Félix Proaño.

A partir de los puntos antes mencionados se procede a determinar la mejor ubicación del vértice de inicio para conformar una poligonal de referencia ramificada, que va a conformar el esqueleto o estructura del levantamiento, a estos puntos se los denomina puntos de control, los cuales se ubicaron en la Av. Juan Félix Proaño, Asturias e Italia. Estos puntos están ubicados de tal forma que se puedan visualizar entre sí y poder realizar su enlace entre dos puntos.

Desde los puntos de control se inicia la medición de puntos de detalle en tres dimensiones (norte, este y elevación), se toman observaciones al frente de cada lote, de tal forma que se pueda delinear la forma correcta de las manzanas, calles, canchas, etc. y simultáneamente, se dibuja un croquis en el instrumento de observación denominado libreta de campo.

2.4.2.2 Trabajo de Gabinete.

Concluidas las operaciones en campo se descarga la información de la estación a la computadora por medio del software Prolink 1.15 en formato SDR33, se convierte a el formato csv, el cual es útil para el procesamiento en el programa Civil 3D para la obtención del plano catastral.

En el mencionado programa se importan los puntos del anexo 3, de tal forma que se crea una nube de puntos, que es la posición geográfica de cada uno de los puntos tomados en campo. Considerando la descripción de cada punto se procede a unirlos con el fin de obtener el levantamiento planimétrico y predial del barrio La Libertad. (Anexo 4).

2.4.3 Levantamiento Catastral de Viviendas.

Esta actividad consiste en el registro de viviendas según el sistema constructivo de las mismas; con el fin de tener el universo de viviendas que serán consideradas dentro de esta investigación. Para lo cual la técnica utilizada es la observación, para el desarrollo de esta técnica se elaboró el instrumento ficha de observación (Tabla 14) para poder registrar el número y el sistema constructivo de cada vivienda.

Tabla 14. Formato ficha de campo para el levantamiento catastral de viviendas.

[illegible]

2.4.4 Recopilación de Información de las Características Estructurales de las Viviendas.

Es importante contar con una amplia información para poder determinar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas, por lo cual se implementaron técnicas de recolección de información como: observación y encuesta.

Las actividades que se efectuaron en cada vivienda son las siguientes:

2.4.4.1 Recopilación de las características constructivas de las viviendas.

Con la técnica de observación, se recopiló información a través del instrumento ficha de observación de la metodología SNGR (Anexo 5), el mismo que considera: el tipo de sistema estructural, material de las paredes, tipo de cubierta, sistema de entrepiso, número de pisos, estado de conservación, etc. Conjuntamente se utilizó la ficha de observación de la metodología Italiana (Anexo 6), mediante una inspección visual por las instalaciones y áreas de las viviendas se registró todo aquello que se considere trascendente en la vulnerabilidad de las viviendas.

Además se empleó otros instrumentos como la entrevista (Figura 31), aplicada a los habitantes de las viviendas con el propósito de conseguir información que por vía visual no se podía obtener y fotografías de las viviendas que evidencien la realidad constructiva de las mismas.

AUTORIZACION VISITA TECNICA	
BARRIO: _____	FECHA _____
PROPIETARIO: _____	
DIRECCION: _____	
AÑO DE CONSTRUCCION: _____	
AUTORIZO: SI _____ NO _____	
En caso de NO indicar el motivo: _____	
VISITÓ ESTE DOMICILIO (Nombre de Encuestador): _____	
NOTA: _____	
_____ FIRMA TECNICO C.I. _____	_____ FIRMA PROPIETARIO C.I. _____

Figura 31. Ficha de autorización del propietario

2.4.4.2 Medición de la geometría de la vivienda.

La configuración estructural de las viviendas tanto en planta como en elevación nos pueden dar una idea del comportamiento de las estructuras ante un sismo, por tanto mediante la técnica de observación, con el empleo de instrumentos como cinta métrica y flexómetro con los cuales se toma las dimensiones para determinar la configuración en planta de las viviendas tales como distancia entre columnas, ductos de luz, ductos de gradas y cada uno de los elementos estructurales como columnas y losas. Al mismo tiempo se tomó las alturas de entrepiso y la distancia más desfavorable de un ventanal, de utilidad en la metodología Italiana. Se dibujó la geometría y elementos estructurales en el instrumento ficha de campo geometría de vivienda (Anexo 7).

Además se empleó otro instrumento como fotografías (Figura 32), que evidencien la configuración de las mismas.



Figura 32. Medición de la vivienda.

2.4.4.3 Realización de ensayos con esclerómetro en elementos estructurales.

Este ensayo es utilizado para determinar de forma aproximada la resistencia del hormigón endurecido. El equipo utilizado es un esclerómetro HT-225 y una piedra abrasiva como muestra la figura 33.



Figura 33. Esclerómetro HT-225. (SouthGeoSystems Corp).

El procedimiento del ensayo se fundamenta en la norma ASTM-C-805-08, “Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete” y es el siguiente:

- Antes de realizar el ensayo se debe limpiar la superficie y eliminar las irregularidades utilizando la piedra abrasiva hasta dejarla lisa.
- Dibujar una recuadro de (15x15) cm y trazar líneas formando cuadrículas las mismas que deben ser mayores a 25 mm y menores de 50 mm.
- Se coloca el esclerómetro en forma perpendicular sobre la superficie del concreto que se va a evaluar, en las intersecciones de la cuadrícula se ejerce una pequeña presión para permitir que el émbolo del esclerómetro se libere.
- Después del impacto se oprime el botón pulsador y se toma la lectura del valor de rebote (R) en la ventana de la escala graduada.
- Realizar por lo menos 10 disparos en la losa y en una columna.



Figura 34. Ensayo con el esclerómetro en losa y columna.

Las lecturas tomadas del valor de rebote (R) se registran en el instrumento ficha de campo geometría de vivienda (Anexo 7).

2.4.5 Procesamiento de la Información.

Una vez obtenida la información en campo se procede al procesamiento que no es más que la digitalización de los datos y obtención de parámetros necesarios para la evaluación de cada una de las viviendas.

Se realizó varias actividades enlistadas a continuación:

2.4.5.1 Dibujo geometrías de viviendas.

Utilizando el programa Autocad se realizó el dibujo de las geometrías, logrando de tal forma esquematizar la configuración en planta de las viviendas. Las geometrías de las viviendas de hormigón [133] se envían a través de medio magnético en un archivo de Autocad (Anexo 13), no obstante se adjunta también un ejemplo de geometría en el presente trabajo de investigación en el anexo 8.

2.4.5.2 Fichas de Ubicación.

Para la ubicación correcta de las viviendas se realizó un croquis de ubicación y la manzana a la que pertenece, además contendrá el levantamiento fotográfico de la vivienda incluyendo detalles sobresalientes.

Las fichas de ubicación de las viviendas catastradas [251] se envían a través de medio magnético en un archivo PDF (Anexo 14), no obstante se adjunta también un ejemplo de ficha de ubicación en el presente trabajo de investigación en el anexo 9.

2.4.5.3 Fichas de Esclerómetro.

Con los datos obtenidos en campo se inicia con los cálculos respectivos. Se promedia los valores de rebote R de las lecturas, se deben eliminar las lecturas que difieran del promedio en más de 5 unidades y se determina un promedio final de las lecturas. Si más de 3 lecturas difieren en 6 unidades del promedio, se deben descartar todas las lecturas.

Una vez obtenido el promedio se ingresa con este valor a la tabla 15, donde se determina la resistencia del hormigón en forma aproximada en función del ángulo de impacto correspondiente.

Tabla 15. Valores de rebote vs ángulos de impacto. Esclerómetro HT-225

VALOR DE REBOTE (R)	ANGULO DE IMPACTO (α)				
	$\alpha-90^\circ$	$\alpha-45^\circ$	$\alpha\ 0^\circ$	$\alpha+45^\circ$	$\alpha+90^\circ$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	265	238	190	170
33	290	280	250	210	190
34	310	290	260	220	200
35	320	310	280	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	370	340	300	280
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	420	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	OVER 600	OVER 600	580	550	530
55	OVER 600	OVER 600	600	570	550

Fuente: SouthGeoSystems Corp. Esclerómetro HT-225

Se desarrolló un programa en una hoja de Excel para facilitar el procesamiento de la información, en la tabla 16 se puede visualizar la plantilla utilizada.

Tabla 16. Formato de Ficha de Esclerómetro

INSTITUCION:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO				
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS EN BARRIOS URBANO MARGINALES DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA				
RESPONSABLE		NORMAS:	ASTM C805-08		
		ELEMENTO DE ENSAYO	Losa	ANGULO DE DISPARO:	$\alpha-90^\circ$
			Columna		0°
UBICACIÓN:		NUMERO DE DATOS:			
		CÓDIGO			
BARRIO:		PROPIETARIO:			
No	DATO DE LECTURA				
	COLUMNA () cm		LOSA () cm		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
PROMEDIO					
RESISTENCIA f_c (kg/cm²)					

Las fichas de ensayo de esclerómetro de las viviendas de hormigón [131] se envían a través de medio magnético en un archivo de Excel (Anexo 15), no obstante se adjunta también un ejemplo de ficha de ensayo de esclerómetro en el presente trabajo de investigación en el anexo 10.

2.4.6 Tabulación de los Resultados.

Se realizan los cálculos necesarios para la obtención del índice de vulnerabilidad sísmica aplicando las dos metodologías de evaluación. Una vez obtenidos los índices se procede a establecer diferencias entre cada método de evaluación, y establecer la mejor opción de análisis.

2.4.7 Obtención de Mapas de Vulnerabilidad Sísmica.

Se realizan los mapas de vulnerabilidad sísmica usando el programa ArcMap de los dos métodos mencionados anteriormente y de acuerdo a los niveles de vulnerabilidad. Los niveles establecidos son alta, media y baja vulnerabilidad.

2.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

2.5.1 Delimitación de la Zona de Estudio.

Como se muestra en la figura 35, el sector en estudio está ubicado en la zona 7 de acuerdo al mapa catastral de la ciudad, concretamente lo que comprende el barrio La Libertad está limitado al norte por la calle Andorra, al sur por la calle Islandia, al este por la Av. Juan Félix Proaño y al oeste por la calle Italia.

Tiene un área aproximada de estudio de 17.45 hectáreas, que comprende 298 lotes.

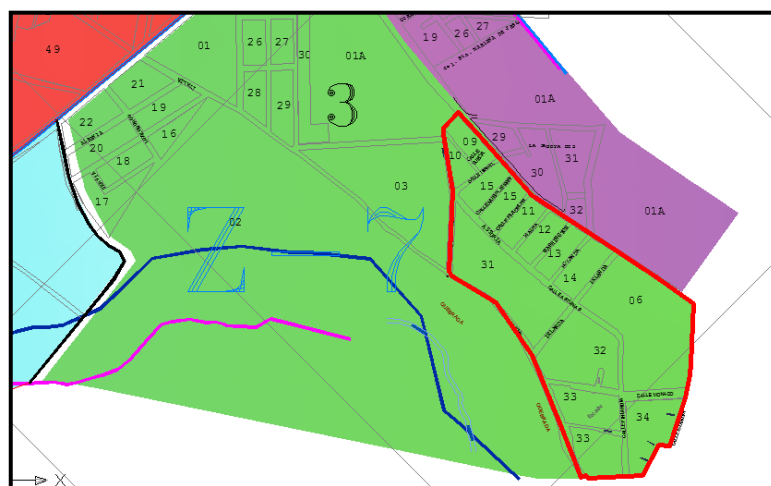


Figura 35. Delimitación de la zona en estudio. (Mapa Base Catastral de Riobamba, 2003).

2.5.2 Ambiente Económico y Social.

En el sector estudiado existe un área comercial, que está ubicado a lo largo de la Av. Juan Félix Proaño donde existen ventas ambulantes y comercios como carnicerías, panaderías, farmacias, tiendas, talleres, cabinas, internet, etc.



Figura 36. Comercio en el barrio La Libertad.

Como anteriormente se mencionó en el barrio en estudio existen 298 lotes de los cuales 47 son terrenos baldíos, de tal manera que existen 251 estructuras, dentro de ellas 221 son viviendas de uso residencial y comercial, 24 se encuentran deshabitadas, 3 corresponden a centros educativos, 2 destinadas exclusivamente a depósitos y 1 a taller.

Los habitantes de este sector van desde la clase media, que viven en casas de hormigón armado con un estado de conservación aceptable, hasta los de clase baja que son aquellas personas que viven en casas que han sido construidas con técnicas deficientes encontrándose en condiciones malas.

2.5.3 Topografía del Sector.

La topografía del sector se considera plana ya que el terreno presenta pendientes menores al 4 %. Existe una depresión hacia el Rio Chibunga junto a la calle Italia que es utilizado como botadero de basura, en el cual favorablemente no existen construcciones.

2.5.4 Tipo de Suelo.

El tipo de suelo en esta zona es de tipo S3, como lo indica la figura 37, según la microzonificación sísmica de suelos de la ciudad de Riobamba (Barahona D, 2011), en dicha investigación se clasifican a los suelos de acuerdo al Código de Practicas Ecuatoriano INEN CPE 5:2001, siendo S3 un tipo de suelo blando, o que indica que no es favorable para la construcción de viviendas.

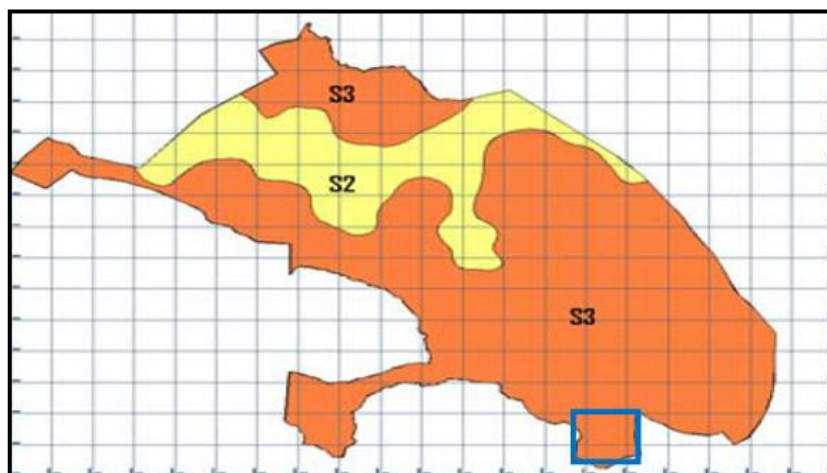


Figura 37. Mapa de zonificación sísmica de suelos de Riobamba. (Barahona R. Diego, 2011)

2.5.5 Catastro de Viviendas.

Como se mencionó anteriormente el barrio consta de un total de 298 lotes, de los cuales 245 son viviendas, 47 son lotes baldíos y 6 no se ha considerado dentro de esta investigación, debido a que se trata de estructuras como escuelas, iglesias, talleres, etc. En la tabla 17 se indica el resumen de catastro de viviendas levantados en el mes de octubre del año 2013.

Tabla 17. Catastros de viviendas del barrio La Libertad

CATASTRO DE VIVIENDAS DEL BARRIO LA LIBERTAD	
A. LOTES:	298
B. BALDÍOS:	47
C. OTROS: (ESCUELAS, IGLESIAS, etc.)	6
D. TOTAL DE VIVIENDAS: [D=A-B-C]	245
E. VIVIENDAS DE HORMIGÓN ARMADO: [E= D-F]	172
F. MEDIAS AGUA: [F= D-E]	73

2.5.6 Identificación de la Tipología de las Viviendas.

A partir de la información del catastro de viviendas (Tabla 17), se inicia con el levantamiento de información de las mismas, donde se logró levantar 199 viviendas de 245 registradas en el barrio, las viviendas restantes corresponden a viviendas abandonadas y viviendas en las cuales no dieron la apertura necesaria para la realización de la investigación (Tabla 18).

Tabla 18. Resumen del número viviendas levantadas del barrio La Libertad.

VIVIENDAS LEVANTADAS BARRIO LA LIBERTAD		
A. TOTAL DE VIVIENDAS CATASTRADAS	[A=B+F]	245
VIVIENDAS DE HORMIGÓN ARMADO		
B. TOTAL DE VIVIENDAS CATASTRADAS		172
C. VIVIENDAS ABANDONADAS		19
D. VIVIENDAS QUE NO DIERON APERTURA		20
E. VIVIENDAS LEVANTADAS	[E=B-C-D]	133
MEDIAS AGUAS		
F. TOTAL DE VIVIENDAS CATASTRADAS		73
G. VIVIENDAS ABANDONADAS		5
H. VIVIENDAS QUE NO DIERON APERTURA		2
I. VIVIENDAS LEVANTADAS	[I=F-G-H]	66
J. TOTAL DE VIVIENDAS LEVANTADAS	[J=E+I]	199

La tipología más representativas en el área evaluada son las estructuras de hormigón armado, presentes en 133 lotes que corresponde a un 66.83 % del total de viviendas evaluadas, el ser de hormigón armado no significa que las viviendas no sufrirán daño alguno ante un evento sísmico, eso dependerá básicamente de los procesos constructivos, calidad del material y diseño de la vivienda.

Existen 34 viviendas con estructuras de pared portante que corresponden a un 17.08 %. Los materiales utilizados comúnmente son el ladrillo, bloque y en viviendas tradicionales el adobe, estas viviendas son vulnerables ante un evento sísmico debido a la falta de elementos de confinamiento que provocan el colapso inmediato de la vivienda.

Estructuras mixtas madera/hormigón se encuentran presentes en 22 lotes que corresponde a un 11.06 % del total de viviendas evaluadas, estas viviendas presentan malas condiciones debido a la falta de mantenimiento de la madera siendo vulnerables ante eventos sísmicos.

Existen 8 viviendas construidas con el sistema estructural de madera que representan un 4.02% del total de viviendas evaluadas, las cuales se encuentran en malas condiciones debido a la falta de mantenimiento, además son propensas a incendios y algunas corren el peligro de ser aplastadas por edificaciones colindantes de hormigón o adobe.

Las viviendas con el sistema estructural mixta metal/hormigón corresponden al 1% de viviendas evaluadas, siendo 2 viviendas con este tipo de sistema. Sin embargo el costo del material, el mantenimiento y la falta de mano de obra calificada hace que este tipo de sistema no sea muy utilizado.

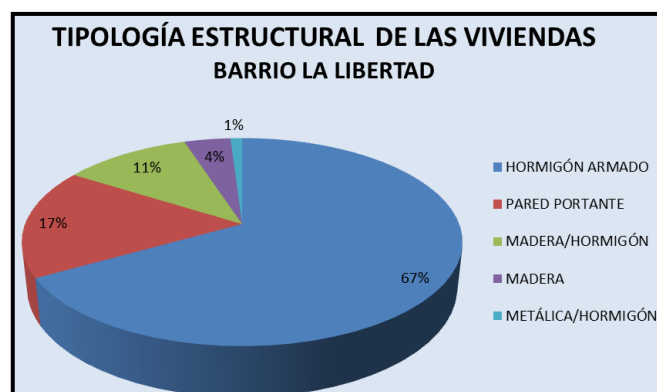


Figura 38. Tipología estructural viviendas barrio La Libertad.

En la figura 39 se muestran fotografías de los diferentes tipos de tipología estructural de las viviendas encontradas en el barrio en estudio y se anota al pie de cada foto la etiqueta de la ficha de evaluación para poder visualizar su grado de vulnerabilidad al final del trabajo.



Figura 39. Diferentes sistemas estructurales en el barrio La Libertad.

a) Estructura de hormigón armado, b) Madera/hormigón, c) Pared portante, d) Madera, e) Metálica/hormigón

2.5.6 Estimación de la Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas.

Para la estimación del índice de vulnerabilidad sísmica de las viviendas del barrio La Libertad se ha aplicado dos métodos de evaluación.

La primera es la metodología propuesta por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), la cual evalúa la vulnerabilidad físico estructural de las edificaciones con un enfoque basado en la calificación de las características de la estructura de cada edificación, frente a la amenaza sísmica. La segunda metodología propuesta por los investigadores italianos Benedetti y Petrini, conocida como método Italiano, el cual identifica los parámetros más importantes que controlan el daño en las viviendas causados por un terremoto.

De 199 viviendas levantadas consideradas dentro de ésta investigación, 133 son de hormigón armado, por tal razón se las evaluará mediante los dos métodos planteados. Las casas restantes son definidas como medias aguas, siendo evaluadas solo por el método de la SNGR, en la tabla 18 se muestra el detalle de lo mencionado anteriormente.

A continuación se presenta el desarrollo de cada método aplicado a una edificación del barrio en estudio.

La vivienda a ser evaluada se encuentra ubicada entre las calles Asturias y Nueva Jersey, su sistema estructural es de hormigón armado y consta de dos plantas. El código de la vivienda es D_13_2P, por ubicarse en la manzana D, lote 13 y por constar de dos plantas.

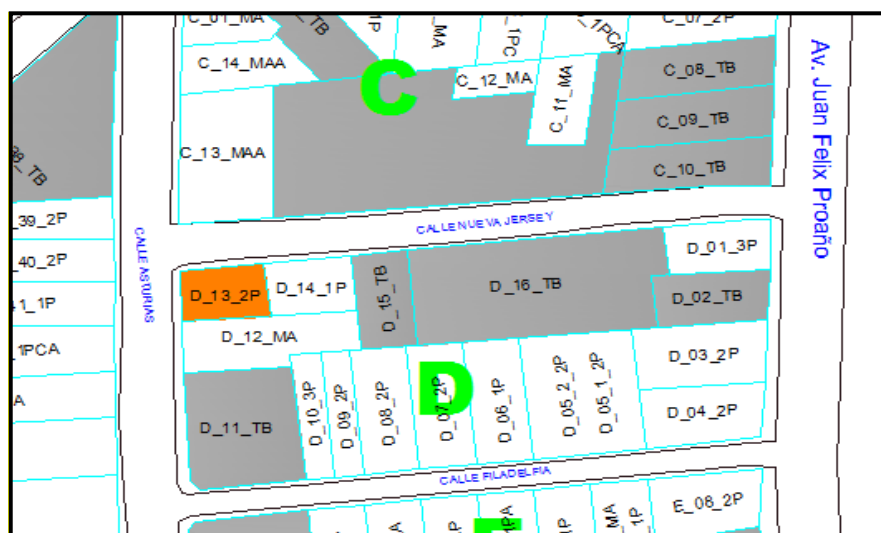


Figura 40. Ubicación de la vivienda D_13_2P.

2.5.6.1. Método SNGR.

Para la determinación de la vulnerabilidad sísmica, este método de evaluación parte de las características físicas de las edificaciones para lo cual recurre a 10 variables, que inciden directamente en el comportamiento estructural de la edificación frente a un sismo, cada una de ellas contiene indicadores que se escogerán de acuerdo al tipo de vivienda a evaluar.

En el anexo 11 se adjuntan los resultados del índice de vulnerabilidad aplicando la metodología de la SNGR a las 199 viviendas levantadas.

La figura 41 muestra la fachada principal y lateral de la vivienda a desarrollarse como ejemplo en este trabajo de investigación.



Figura 41. Vivienda D_13_2P.

La evaluación se realizará en base a lo que se detalla en el apartado 1.6.1.

- 1. Sistema estructural:** La vivienda en estudio presenta un sistema estructural de hormigón armado; considerando que este sistema es más resistente ante un evento sísmico, la metodología le asigna un valor de 0, que significa que es menos vulnerable que otros sistemas estructurales como es el caso de viviendas con estructuras de caña.
- 2. Tipo de material en paredes:** El ladrillo es el material predominante tanto en las paredes interiores como exteriores de la vivienda en análisis, el método le asigna a este tipo de material un valor de 1, siendo la menor

valoración, plasmando ser menos vulnerable ante movimientos telúricos que otros materiales como el adobe y piedra.

3. **Tipo de cubierta:** De igual manera al sistema estructural, ésta variable tiene una valoración de 0 por tratarse de una cubierta de losa de hormigón armado.
4. **Sistema de entrepiso:** Esta variable de vulnerabilidad tiene un valor de 0, ya que el sistema de entrepiso es una losa de hormigón armado que brinda mayor seguridad frente a amenazas sísmicas en comparación con sistema como entramado de madera o caña que pueden fácilmente colapsar.
5. **Número de pisos:** La vivienda analizada consta de dos niveles, por lo que la metodología le asigna un valor de 1, esto significa que es menos vulnerable que edificaciones de mayor altura en donde las fuerzas laterales generadas en un sismo serán mayores.
6. **Año de construcción:** El método asume que las viviendas construidas antes de 1970 son bastante vulnerables debido a la inexistencia de normativas de construcción, que aquellas construidas recientemente, es por tal razón que la vivienda en análisis que se construyó en el año 2000 tiene un valor de 0.
7. **Estado de conservación:** A simple vista se pudo observar fallas constructivas como acero visto, hormiguero en elementos estructurales, además la falta de mantenimiento de la vivienda logran que su estado de conservación sea regular y por la tanto su calificación será igual a 5.



Figura 42. Estado de conservación de la vivienda D_13_2P.

- 8. Características de suelo bajo la edificación:** El suelo donde se asienta la vivienda se caracteriza por ser un suelo húmedo, blando y de relleno, de acuerdo a lo mencionado en el apartado 2.5.4, se asume un valor de 10.
- 9. Topografía del sitio:** El sitio donde está construida la vivienda es topografía plana, su valoración es igual a 0.
- 10. Forma de construcción:** Esta variable toma en cuenta la configuración en planta y en elevación. Por lo tanto es necesario revisar la geometría de la vivienda (Anexo 8), se le ha asignado un valor de 0 que corresponde a una forma de construcción regular.

Con la valoración de cada una de las variables se multiplica por los pesos de ponderación asignados por la metodología. En la tabla 19 se presenta el resumen de la evaluación y el resultado del índice de vulnerabilidad sísmica de la vivienda evaluada como ejemplo.

Tabla 19. Resultado evaluación metodología SNGR vivienda D_13_2P

METODO SNGR			
NOMBRE:	RAFAEL TIXI		
BARRIO	LA LIBERTAD D_13_2P		
ÍNDICES DE VULNERABILIDAD PARA AMENAZA SÍSMICA			
Variable	Calificación	Ponderación	VALOR
Sistema Estructural	0	1.20	0
Material de Paredes	1	1.20	1
Tipo de Cubierta	0	1.00	0
Tipo de Entrepiso	0	1.00	0
Número de pisos	1	0.80	1
Año de construcción	0	1.00	0
Estado de conservación	5	1.00	5
Característica suelo bajo edificación	10	0.80	8
Topografía del sitio	0	0.80	0
Forma de construcción	0	1.20	0
			15

El índice de vulnerabilidad utilizando la metodología de la SNGR es 15 puntos dando como resultado una vivienda segura ante un evento sísmico, de acuerdo a los niveles de vulnerabilidad descritos en la tabla 6.

2.5.6.2 Método Italiano.

De 133 viviendas levantadas de hormigón armado se realizó 131 evaluaciones utilizando el método Italiano, se excluyó dos viviendas ya que los elementos estructurales se encontraban masillados, por lo cual no se realizaron los ensayos con el esclerómetro. En el anexo 12 se adjuntan los resultados del índice de vulnerabilidad aplicando el método italiano de las 131 viviendas.

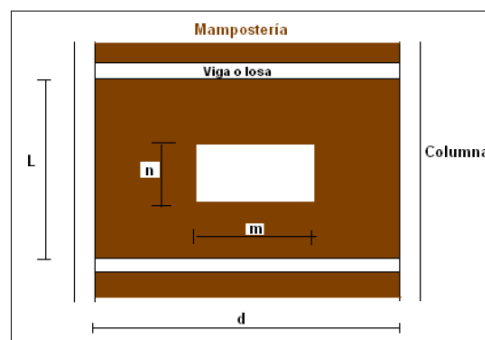
La metodología Italiana cuantifica la vulnerabilidad sísmica de edificaciones en función de 11 parámetros que se desarrollará a continuación:

1. Organización del sistema resistente:

Clase A: El sistema resistente principal no está constituido por muros de corte o de mamposterías armada, razón suficiente para que este parámetro no clasifique dentro de esta clase.

Clase B: La estructura está conformada por vigas y columnas de hormigón armado, no presenta muros de corte.

- i. La mampostería de la vivienda está conformada en su mayoría de ladrillo unida con un mortero que fácilmente se disgrega al manipularlo, característica de ser de mala calidad (Figura 42).
- ii. Los huecos del panel más desfavorable no superan el 60 % de la superficie total del panel.



L=	2.40	m
d=	4.25	m
n=	1.45	m
m=	2.00	m

$$m * n \leq 0.6 * L * d$$

$$2 * 1.45 \leq 0.6 * 2.4 * 4.25$$

$$2.90 \leq 6.12 \quad \textbf{OK}$$

- iii. Relación entre altura del entrepiso L y espesor de la mampostería b no supera el 30%, b es igual a 15 cm.

$$\frac{L}{b} = \frac{2.40 \text{ m}}{0.15 \text{ m}} = 16 \leq 30 \quad \text{OK}$$

- iv. Parte de la mampostería se encuentra suelta, debido a que existe una distancia de 2 cm entre la mampostería y la viga (figura 42).
- v. La mampostería no sobresale del filo extremo del pórtico.
- vi. El área transversal A_c de las columnas de hormigón armado en cm^2 adyacentes a la mampostería es mayor a 20 veces el ancho de la mampostería.

$$A_c \geq 20 * b$$

$$20\text{cm} * 20\text{cm} > 20 * 15\text{cm}$$

$$400\text{cm}^2 \geq 300\text{cm}^2 \quad \text{OK}$$

Nota: Este parámetro no clasifica como clase B, dado que la vivienda posee una mampostería y mortero de mala calidad de acuerdo al literal i)

Clase C: Este parámetro es clase C porque no cumple con los requisitos de las categorías anteriores.

2. Calidad del sistema resistente

Clase A:

- i. La resistencia aproximada a compresión del hormigón en columna es igual a $163.60 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$ (Anexo 10), siendo menor a $210 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$.
- ii. Existe zonas de hormiguero en columnas y vigas, ver figura 42.
- iii. Las barras de acero son corrugadas y se encuentran visibles, ver figura 42.
- iv. La mampostería está conformada por ladrillo mambrón unida con mortero de mala calidad.
- v. Mala calidad de ejecución de la vivienda.

Nota: No pertenece a esta clase por no cumplir con todos los requisitos.

Clase B:

No clasifica dentro de esta clase dado que pertenece a otra categoría.

Clase C:

- i. La resistencia del hormigón es inferior a 210 [kg/cm²].
- ii. Las varillas de acero son visibles en los elementos estructurales, ver figura 42.
- iii. La mampostería es de mala calidad, ver figura 42.
- iv. Los elementos estructurales son de mala calidad debido a la baja resistencia del hormigón.

Nota: Éste parámetro clasifica como clase C por cumplir con todas las condiciones establecidas en esta clase.

3. Resistencia convencional

- Determinación del período de vibración T definido en la ecuación 13.

$$T = 0.0731 * H^{3/4}$$

$$T = 0.0731 * (5.40\text{m})^{3/4}$$

$$T = 0.259 \text{ seg}$$

- Factor de zonificación sísmica (Riobamba), Z = 0.4 (Tabla 7)
- Coeficiente de importancia, I=1 por ser una vivienda residencial (Tabla 4: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. CPE INEN 5-2001 “Código Ecuatoriano de la Construcción Requisitos Generales de Diseño Capítulo12”).
- Perfil del suelo S3, S=1.5 (Tabla 8)
- El coeficiente de configuración estructural en planta (Φ_P) y en elevación (Φ_E) son igual a 1, porque la estructura no presenta ningún tipo de irregularidad, de acuerdo al apartado 6.2.2.2 y 6.2.3.2 del CPE INEN 5-2001 “Código Ecuatoriano de la Construcción Requisitos Generales de Diseño Capítulo12”.
- Coeficiente β para un suelo de clase S3 es igual a 2.8 (Tabla 8).

- El coeficiente C se calcula según lo definido en la ecuación 12, este coeficiente no debe exceder el valor de β .

$$C = \frac{1.25 * S^S}{T} \leq \beta$$

$$C = \frac{1.25 * 1.5^{1.5}}{0.259} \leq \beta$$

$$C = 8.866 \leq \beta \rightarrow \text{FALSO}$$

$$\text{Por lo tanto } C = 2.8$$

- Factor de reducción de las fuerzas sísmicas R igual a 8 por tratarse de un sistema de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda (Tabla 7: Coeficientes de reducción de respuesta estructural R CPE INEN 5-2001 “Código Ecuatoriano de la Construcción Requisitos Generales de Diseño Capítulo 12”).
- Peso total reactivo, W = 169.133 Tn.
- Cálculo del Cortante Actante Vs definido en la ecuación 11.

$$V_S = \frac{Z * I * C}{R * \phi_P * \phi_E} * W$$

$$V_S = \frac{0.4 * 1 * 2.8}{8 * 1 * 1} * 169.133 \text{ Tn}$$

$$V_S = 23.679 \text{ Tn}$$

- Determinación del Cortante Resistente V_R

Datos:

$f'_c = 163.60 \text{ kg/cm}^2$

8 columnas de (20 x 20)

4 columnas de (20 x 25)

Determinación del esfuerzo al corte del hormigón (ecuación 15)

$$\tau = 0.45 * \sqrt{f'_c}$$

$$\tau = (0.45 * \sqrt{163.60 \text{ kg/cm}^2}) * 10 = 57.558 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2}$$

El cortante resistente lo define la ecuación 14:

$$V_R = (A * \tau)$$

$$V_R = [(0.20 * 0.20 * 8)m^2 + (0.20 * 0.25 * 4)m^2] * 57.558 \frac{Tn}{m^2}$$

$$V_R = 29.930 Tn$$

- Relación entre cortante resistente V_R y el cortante actuante V_s (Ecuación 10).

$$\alpha = \frac{V_R}{V_s} = \frac{29.930 Tn}{23.679 Tn} = 1.264 \rightarrow CLASE B \text{ (ver tabla 9)}$$

Nota: Por la baja resistencia que tiene el hormigón, se adopta clase C.

4. Posición del Edificio y Cimentación

Clase A:

- La vivienda se encuentra situada sobre una topografía plana.
- El suelo donde se asienta la vivienda es de tipo S3 es decir un tipo suelo blando (Apartado 2.5.4) y la pendiente del terreno es menor al 15 %.
- No se presentan rajaduras horizontales en las paredes lo que descarta la presencia de asentamientos.

Nota: No clasifica a esta clase debido a que el literal ii) que trata del tipo de suelo, no cumple con lo estipulado en esta clase.

Clase B:

- No corresponde a esta clase debido a su tipo de suelo.

Clase C:

- El tipo de suelo de la vivienda fue una característica suficiente para que la edificación se catalogue, en este parámetro, como clase C.

5. Losas



Figura 43. Losa de cubierta de la vivienda D_13_2P.

Clase A:

- i. La resistencia aproximada a compresión del hormigón en losa es $177 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$ (Anexo 10), siendo inferior a la establecida en las normas y el área de abertura de la losa es menor al 30% del área total en planta.

Nota: No clasifica dentro de esta clase porque la losa posee una baja resistencia del hormigón por ende no cumple con todos los requisitos establecidos para esta categoría.

Clase B:

- i. Este parámetro no se cataloga como clase B ya que cumple con los requisitos de otra clase.

Clase C:

- i. La losa posee una baja resistencia del hormigón, es poca rígida, además no se encuentra bien conectada a elementos verticales.

Nota: Este parámetro es clase C ya que cumple por lo menos con una de los requisitos establecidos en dicha clase.

6. Configuración en planta

El dibujo de la geometría de la vivienda en estudio (Anexo 8), muestra que la configuración en planta es de forma rectangular en ambos niveles.

- i. Relación entre el lado menor y mayor de la edificación.

$$\delta_1 = \frac{a}{L}$$

$$\delta_1 = \frac{9.85 \text{ m}}{11.08 \text{ m}}$$

$$\delta_1 = 0.89$$

$$\delta_1 > 0.4 \rightarrow \text{CLASE A}$$

- ii. Relación entre la excentricidad (e) y la distancia menor en planta del edificio (d). La excentricidad es la distancia que existe entre el centro de rigidez y el centro de masa.

$$ex = 0.429 \text{ m}$$

$$ey = 0.426 \text{ m}$$

$$dist \ x = 9.85 \text{ m}$$

$$dist \ y = 9.90 \text{ m}$$

$$emax_x = 5\% * 9.90 \text{ m} = 0.5 > 0.429 \text{ OK}$$

$$emax_y = 5\% * 9.85 \text{ m} = 0.49 > 0.426 \text{ OK}$$

No hay problema de torsión porque las excentricidades se encuentran dentro del rango establecido.

$$\delta_2 = e/d$$

$$\delta_2 = 0.429 \text{ m} / 9.85 \text{ m}$$

$$\delta_2 = 0.04 \rightarrow \text{CLASE A}$$

- iii. Relación entre la longitud del voladizo Δd y la longitud total en dirección del voladizo.

$$\delta_3 = \Delta d / d$$

$$\delta_3 = 1.2 \text{ m} / 11.08 \text{ m}$$

$$\delta_3 = 0.108 \rightarrow \text{CLASE B}$$

- iv. Relación entre el ancho y la longitud de la protuberancia del cuerpo principal del edificio.

$$\delta_4 = c/b$$
$$\delta_4 = 5.49 \text{ m} / 1.2 \text{ m}$$
$$\delta_4 = 4.58 \rightarrow \text{CLASE A}$$

Clase A:

No se clasifica dentro de esta clase ya que su configuración en planta no es cuadrada y además no cumple con el literal iii).

Clase B:

Este parámetro se cataloga dentro de esta clase por su configuración en planta que es rectangular, además cumple por lo menos con uno de sus requisitos establecidos dentro de esta categoría.

Clase C:

No clasifica dentro de esta clase ya que no cumple con ninguno de sus requisitos.

7. Configuración en elevación

Clase A:

- i. La vivienda no presenta problemas de piso blando debido a que en el primer nivel existe mampostería y no hay una diferencia significativa entre las alturas de entrepiso pero su aumento de masa es mayor al 10% por lo tanto no clasifica dentro de esta clase.

Clase B:

- i. Este parámetro clasifica como clase B ya que su relación T/H (Figura 26) es igual a 0.44 y existe un aumento de masa de 13.43%.

Clase C:

- i. No se considera dentro de esta clase ya que no existe una variación considerable de masas y no cumple con ningún requisito de esta clase.

8. Conexión de elementos críticos



Figura 44. Conexión deficiente entre viga y columna, vivienda D_13_2P, columna A4.

La vivienda está conformada por vigas pérdidas, además se asume que el ancho de la viga es igual que el de las columnas, razón por la cual se evaluará tomando en cuenta únicamente la sección de las columnas como se indica en el apartado 1.6.2.8.

No clasifica como clase A ni B debido a la unión deficiente entre la viga y columna y por no cumplir con ningún requisito establecido de esta clase

Clase C:

Se opta por esta clase porque cumple con al menos uno de sus requisitos.

- i. La conexión entre la viga y columna es deficiente como se puede observar en la figura 44.
- ii. El porcentaje de columnas que tiene una sección de (20 x 20) cm es de 66.67 % que representa a 8 columnas y un 33.33% tiene una sección de (20 x 25) cm que representa a 4; la mayoría de las columnas poseen una sección inadecuada para una vivienda de dos plantas.

9. Elementos con baja ductilidad

Clase A:

La vivienda no posee elementos cortos de baja ni de elevada ductilidad.

10. Elementos no estructurales

Clase C:

Las gradas no se encuentran bien conectadas a la estructura de la vivienda y por el peligro que ocasionaría si éste llegara a caer sobre la vivienda y personas en un evento sísmico, se ha catalogado a éste parámetro como clase C.

11. Estado de conservación

Clase B:

La edificación no presenta rajaduras en paredes lo que descarta la posibilidad que existan asentamientos, sin embargo existen fisuras leves en columnas, vigas, losas, debido a la falta de curado en el proceso de fraguado del hormigón.

La calificación de cada uno de los parámetros se los multiplica por el peso de ponderación asignado por la metodología, la suma de dichos valores nos arrojará el índice de vulnerabilidad de la vivienda. En la tabla 20 se presenta el resumen de la evaluación de la vivienda por el método Italiano.

Tabla 20. Resultado evaluación método Italiano, vivienda D_13_2P

PARAMETRO	CALIFICACION	Wi	CALIFICACION EDIFICIO
1. Organización del sistema resistente	12.00	1.00	12.00
2. Calidad del sistema resistente	12.00	0.50	6.00
3. Resistencia convencional	22.00	1.00	22.00
4. Posición del edificio y cimentación	4.00	0.50	2.00
5. Losas	3.00	1.00	3.00
6. Configuración en planta	3.00	0.50	1.50
7. Configuración en elevación	3.00	1.00	3.00
8. Conexión en elementos críticos	6.00	0.75	4.50
9. Elementos de baja ductilidad	0.00	1.00	0.00
10. Elementos no estructurales	10.00	0.25	2.50
11. Estado de conservación	10.00	1.00	10.00
		TOTAL	66.50

El índice de vulnerabilidad sísmica por el método Italiano es igual a 66.50 dando como resultado una vivienda altamente vulnerable ante un evento sísmico, de acuerdo a los niveles de vulnerabilidad descritos en la tabla 11.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

Tal como se había definido en el capítulo II del presente trabajo de grado, la evaluación de las viviendas se efectúa en función de dos métodos, los cuales permitieron estimar mediante el análisis de diferentes parámetros los Índices de Vulnerabilidad Sísmica asociado a cada edificación.

Es necesario destacar que, investigaciones como la que se realizó en este trabajo son de mucha importancia, para conocer qué tan vulnerable es una población en caso de que se produzca un sismo. Es así que entendiendo lo anterior y con la información del apartado 2.4.5 y las fichas de observación (Anexos: 5,6 y 7), descritos en el capítulo II, se logró crear una base de datos de la muestra estudiada, en la cual se consigue visualizar las características de las 199 viviendas que se levantaron dentro del área en estudio.

Con el procesamiento de la información antes descrita, en el apartado 2.5.6 se desarrolla la evaluación de las viviendas aplicando las dos metodologías propuestas, en los anexos 11 y 12 contienen las tablas referentes a la evaluación de las edificaciones levantadas del barrio en estudio con cada metodología.

En el presente capítulo se muestran y analizan, por medio de gráficos los resultados de los parámetros que se consideran en cada método de evaluación, resultados generales y los mapas temáticos de las metodologías antes mencionadas.

3.1 RESULTADOS OBTENIDOS POR PARÁMETRO – MÉTODO SNGR.

La metodología considera las variables de la tabla 4, cada parámetro dispone de indicadores (0, 1, 5 y 10), según la condición de la edificación a la cual se está evaluando, los indicadores van de 0 (menos vulnerables) hasta 10 (máxima vulnerabilidad), dependiendo si la característica física de la edificación analizada constituye una debilidad, leve o fuerte frente a la amenaza sísmica.

3.1.1 Sistema Estructural.

En este parámetro se obtiene que:

- 133 de 199 viviendas su calificación es 0 (Figura 45) porque la tipología predominante de la estructura es: hormigón armado.
- 10 de 199 viviendas su calificación es 1 (Figura 45) porque la tipología predominante de la estructura es: estructura metálica, estructura de madera o mixta metálica / hormigón.
- 56 de 199 viviendas su calificación es 5 (Figura 45) porque la tipología predominante de la estructura es: estructura de pared portante o mixta (madera / hormigón).
- 0 de 199 viviendas su calificación es 10 (Figura 45) porque no se ha encontrado viviendas con estructura de caña.

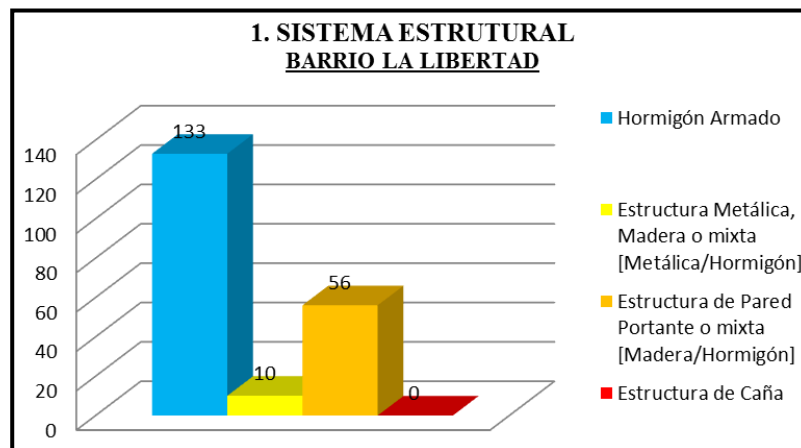


Figura 45. Distribución numérica de viviendas por Sistema Estructural.

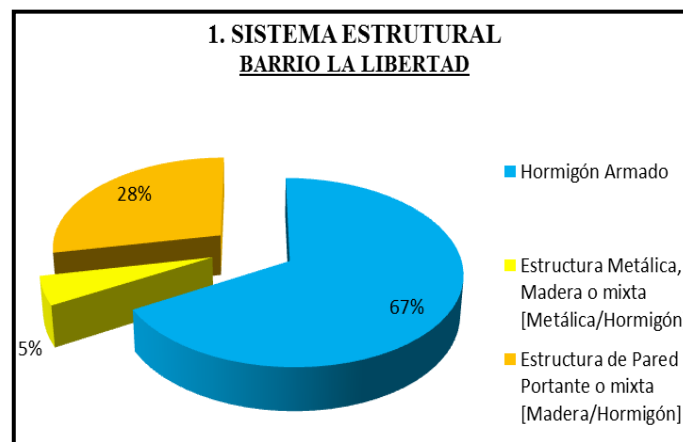


Figura 46. Distribución porcentual de viviendas por Sistema Estructural.

La figura 46 muestra la distribución porcentual de las viviendas por sistema estructural. Se puede observar que el de mayor presencia (con un 67%) es el sistema estructural compuesto por pórticos de hormigón armado, lo que equivale a 133 viviendas dentro de la muestra estudiada, luego le sigue los de estructura metálica, madera o mixta (metálica/hormigón) con un 28 %. En menor proporción se encuentran las viviendas construidas con estructuras de pared portante o mixta (madera/hormigón), con un 5%.

3.1.2 Tipo de Material en Paredes.

En este parámetro se obtiene que:

- 194 de 199 viviendas su calificación es 1 (Figura 47) porque el tipo de material en paredes es de ladrillo o bloque.
- 4 de 199 viviendas su calificación es 5 (Figura 47) porque el tipo de material en paredes es de tapial/bahareque/madera.
- 1 de 199 viviendas su calificación es 10 (Figura 47) porque el tipo de material en paredes es de piedra o adobe.

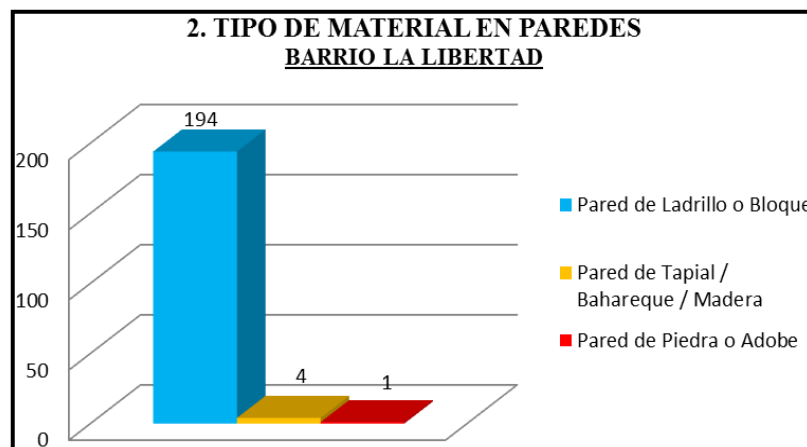


Figura 47. Distribución numérica de viviendas por Tipo de Material en Paredes.

Es común encontrar paredes de ladrillo o bloque en las viviendas con un 97 % del total de la muestra estudiada, tal como lo indica la figura 48, lo que equivale a 194 viviendas; en menor proporción se encuentran las viviendas con paredes de tapial/bahareque/madera con un 2%. Únicamente el 1% representa las viviendas con paredes de piedra o adobe.

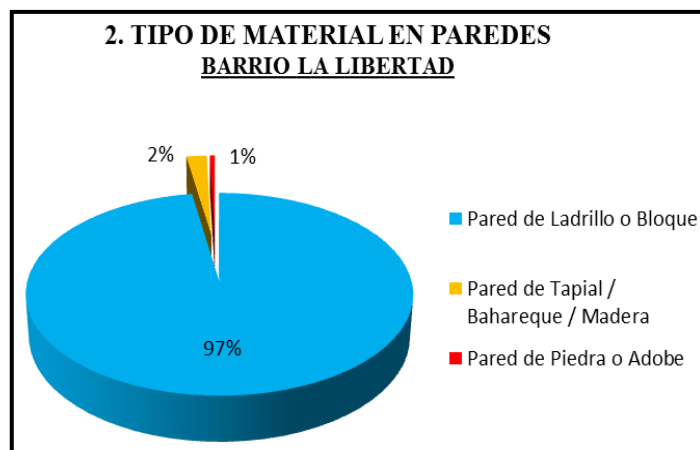


Figura 48. Distribución porcentual de viviendas por Tipo de Material en Paredes.

3.1.3 Tipo de Cubierta.

En este parámetro se obtiene que:

- 135 de 199 viviendas su calificación es 0 (Figura 49) porque el material predominante en cubierta es losa de hormigón armado.
- 64 de 199 viviendas su calificación es 5 (Figura 49) porque el material en la cubierta es metálica, viga de madera y zinc o viga de madera y teja.

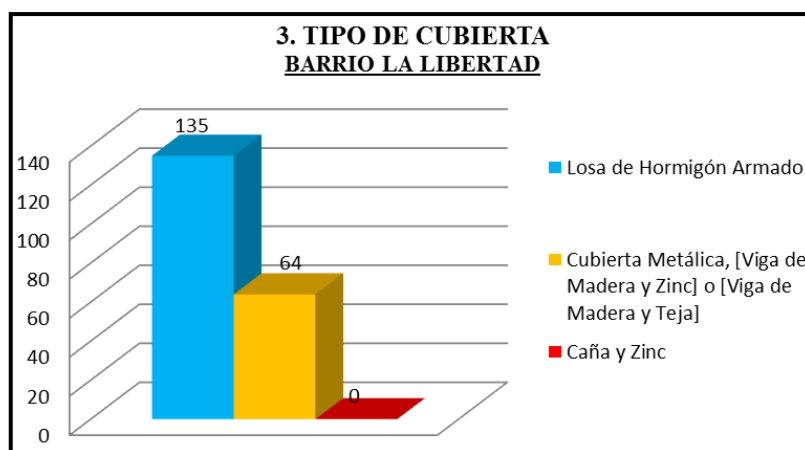


Figura 49. Distribución numérica de viviendas por Tipo de Cubierta.

De acuerdo a la figura 50, el mayor porcentaje (68%) posee la cubierta correspondiente a la losa de hormigón armado, que equivale a 135 viviendas. El 32% restante se le puede atribuir a las edificaciones que presentan cubiertas metálicas, viga/madera/zinc o viga/madera/ teja.

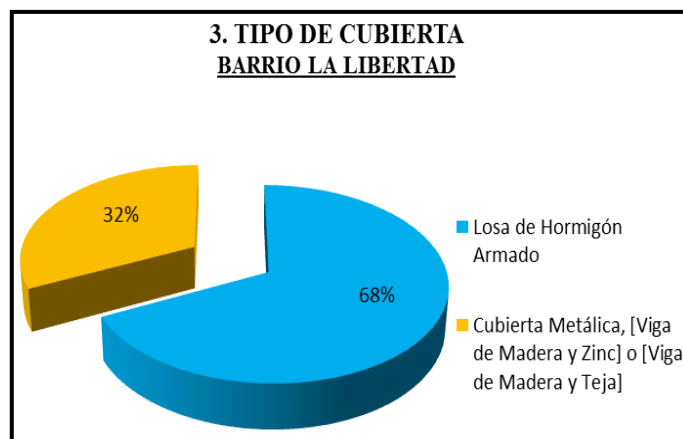


Figura 50. Distribución porcentual de viviendas por Tipo de Cubierta.

3.1.4 Sistema de Entrepiso.

En este parámetro se obtiene que:

- 176 de 199 viviendas su calificación es 0 (Figura 51) porque la tipología predominante del entrepiso es losa de hormigón armado.
- 22 de 199 viviendas su calificación es 5 (Figura 51) porque la tipología predominante del entrepiso es vigas y entramado de madera.
- 1 de 199 viviendas su calificación es 10 (Figura 51) porque la tipología predominante del entrepiso es entramado de madera/caña.

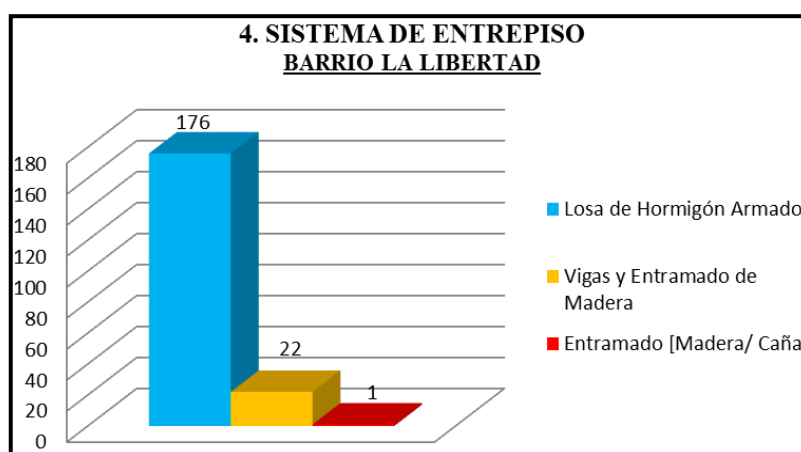


Figura 51. Distribución numérica de viviendas por Sistema de Entrepiso.

El tipo de entrepiso que predominó fue el de tipo de losa de hormigón armado con un total de 176 viviendas, lo cual representa un 88% del total (Figura 52). Tan solo se registraron 22 viviendas con entrepiso de vigas y entramado de madera (lo

que equivale al 11%) y el entramado madera/caña se encuentra en una vivienda (con 1%).

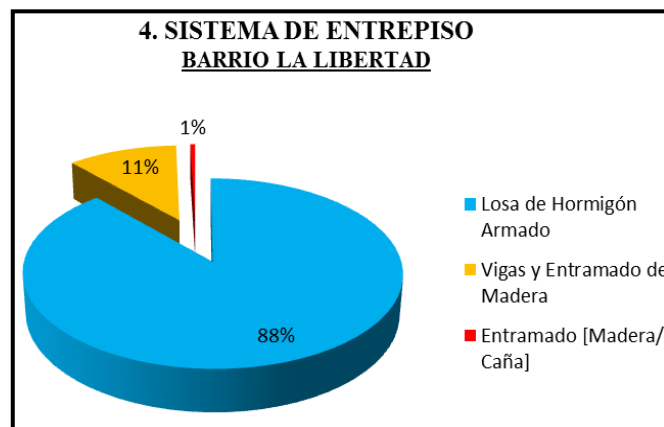


Figura 52. Distribución porcentual de viviendas por Sistema de Entrepiso.

3.1.5 Número de Pisos.

En este parámetro se obtiene que:

- 109 de 199 viviendas su calificación es 0 (Figura 53) porque la tipología predominante de la estructura es: de 1 piso.
- 86 de 199 viviendas su calificación es 1 (Figura 53) porque la tipología predominante de la estructura es: de 2 pisos.
- 3 de 199 viviendas su calificación es 5 (Figura 53) porque la tipología predominante de la estructura es: de 3 pisos.
- 1 de 199 viviendas su calificación es 10 (Figura 53) porque la tipología predominante de la estructura es: de 4 pisos.

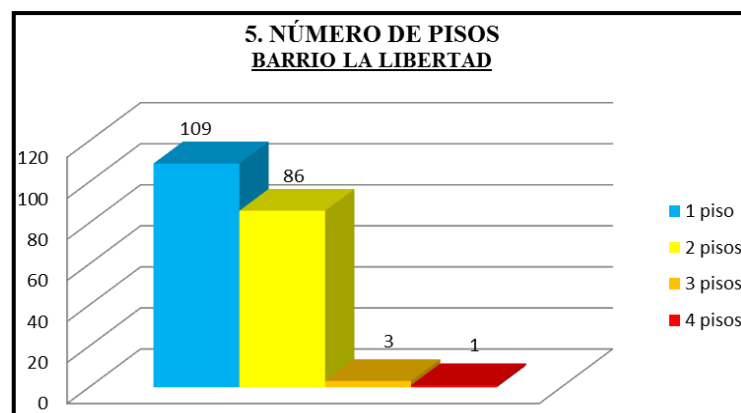


Figura 53. Distribución numérica de viviendas por Número de Pisos.

La figura 54 revela que la mayor parte de las viviendas están construidas de un piso, teniendo el 55% de las edificaciones. Otra gran cantidad de viviendas están construidas de 2 pisos, representando un 43%. Se registraron 3 viviendas están construidas de 3 pisos (lo que equivale al 1.5 %), 1 vivienda de 4 pisos restante representa el 0.5% y es la de mayor altura dentro de la zona en estudio.

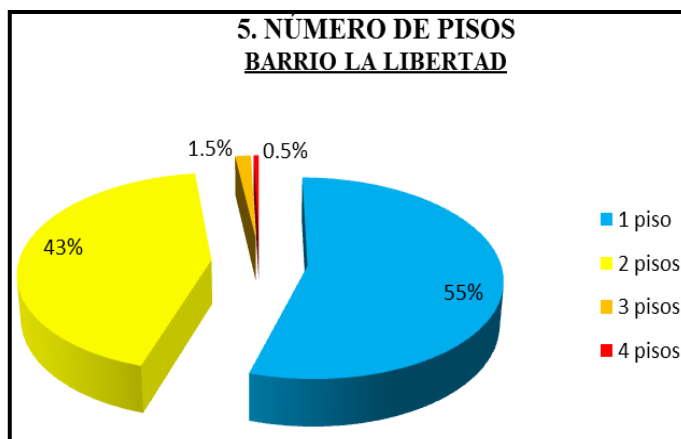


Figura 54. Distribución porcentual de viviendas por Número de Pisos.

3.1.6 Año de Construcción.

En este parámetro se obtiene que:

- 140 de 199 viviendas su calificación es 0 (Figura 55) porque la tipología de la estructura comprende entre los años 1991-2010.
- 43 de 199 viviendas su calificación es 1 (Figura 55) porque la tipología de la estructura comprende entre los años 1981 a 1990.
- 12 de 199 viviendas su calificación es 5 (Figura 55) porque la tipología de la estructura comprende entre los años 1971 a 1980.
- 4 de 199 viviendas su calificación es 10 (Figura 55) porque la tipología de la estructura es de los años antes de 1970.

En la figura 56 se visualiza una importante cantidad de viviendas construidas entre los años 1991-2010, aproximadamente un 70%, se observa otra importante cantidad de edificaciones construidas entre los años 1971-1980, los cuales representan un 22%. Entre los años 1981-1990 fueron construidas el 6% de las viviendas en estudio. Se registraron 4 viviendas construidas antes de 1970 (2 %).

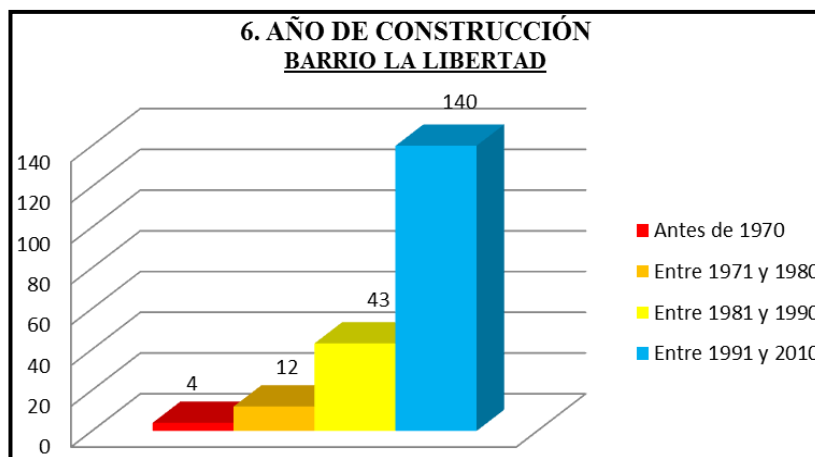


Figura 55. Distribución numérica de viviendas por Año de Construcción.

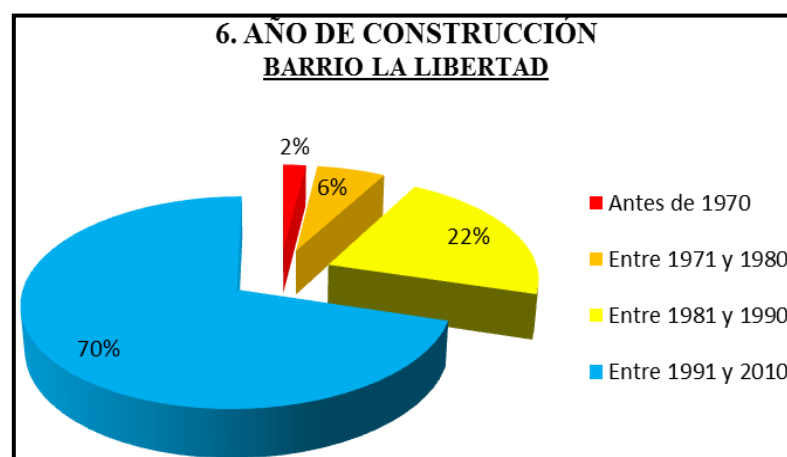


Figura 56. Distribución porcentual de viviendas por Año de Construcción.

3.1.7 Estado de Conservación.

En este parámetro se obtiene que:

- 54 de 199 viviendas su calificación es 1 (Figura 57) porque el estado de conservación de éstas es aceptable.
- 92 de 199 viviendas su calificación es 5 (Figura 57) porque el estado de conservación de éstas es regular.
- 53 de 199 viviendas su calificación es 10 (Figura 57) porque el estado de conservación de éstas es malo.

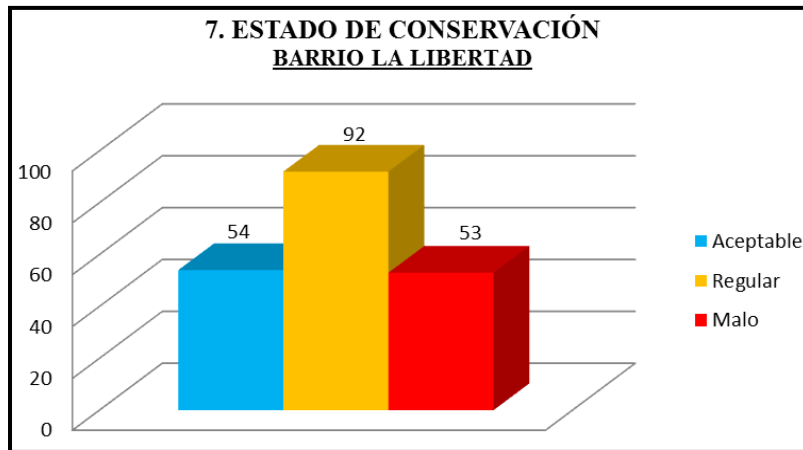


Figura 57. Distribución numérica de viviendas por Estado Conservación.

El estado de conservación predominante fue regular con un 46%. Un 27% de la muestra revela un estado de conservación aceptable y malo (Figura 58).

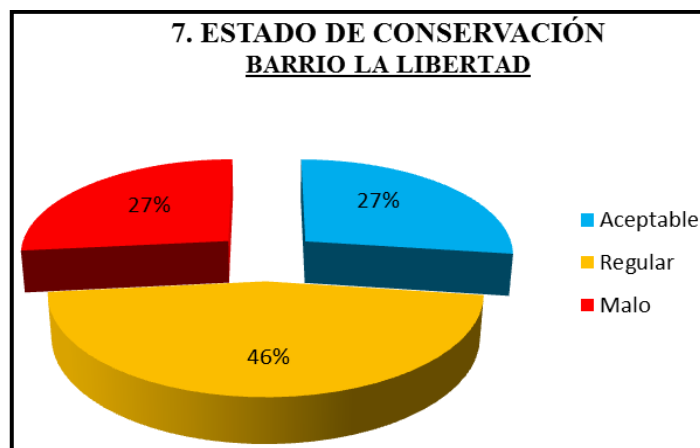


Figura 58. Distribución porcentual de viviendas por Estado de Conservación.

3.1.8 Característica del Suelo.

En este parámetro se obtiene que:

- 199 de 199 viviendas su calificación es 10 (Figura 59) porque las características del suelo bajo la edificación es húmedo, blando, relleno.

Por lo descrito en el apartado 2.5.4, el 100% de las viviendas están cimentadas en un tipo de suelo S3, un suelo blando no favorable para la construcción.

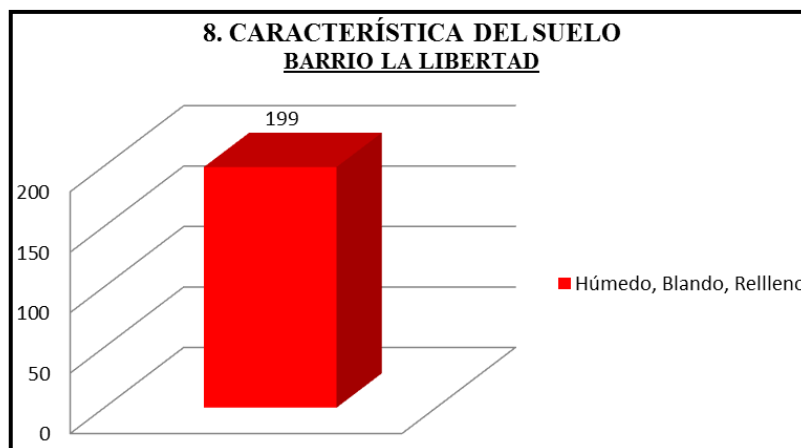


Figura 59. Distribución numérica de viviendas por Característica del Suelo.

3.1.9 Topografía del Sitio.

En este parámetro se obtiene que:

- 188 de 199 viviendas su calificación es 0 (Figura 60) porque la topografía donde se encuentran las viviendas es a nivel, terreno plano.
- 11 de 199 viviendas su calificación es 5 (Figura 60) porque la topografía donde se encuentran las viviendas es bajo nivel de la calzada.

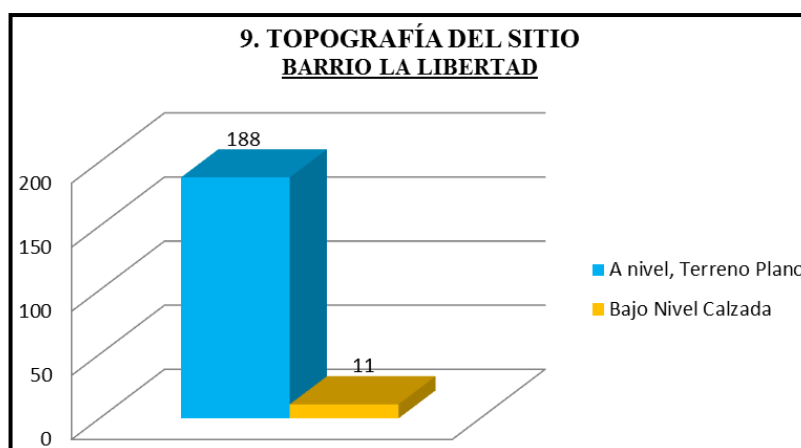


Figura 60. Distribución numérica de viviendas por Topografía del Sitio.

El mayor porcentaje (94%) lo tiene la topografía del sitio correspondiente a nivel, terreno plano. El 6% restante se le puede atribuir a las edificaciones que se encuentran bajo el nivel de calzada (Figura 61).

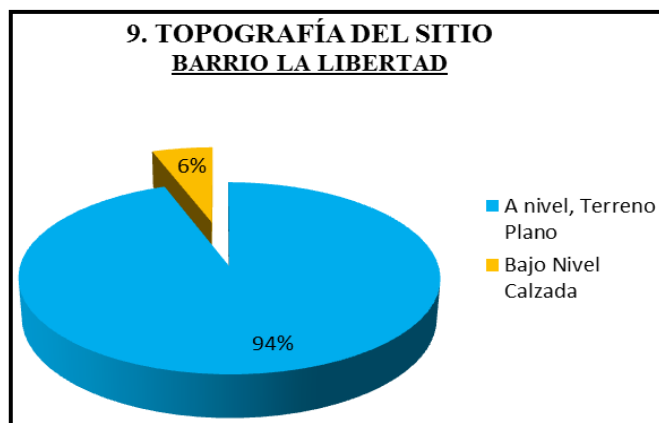


Figura 61. Distribución porcentual de viviendas por Topografía del Sitio.

3.1.10 Forma de Construcción.

En este parámetro se obtiene que:

- 64 de 199 viviendas su calificación es 0 (Figura 62) porque la forma de construcción es regular.
- 100 de 199 viviendas su calificación es 5 (Figura 62) porque la forma de construcción es irregular.
- 35 de 199 viviendas su calificación es 10 (Figura 62) porque la forma de construcción de las viviendas tienen irregularidad severa.

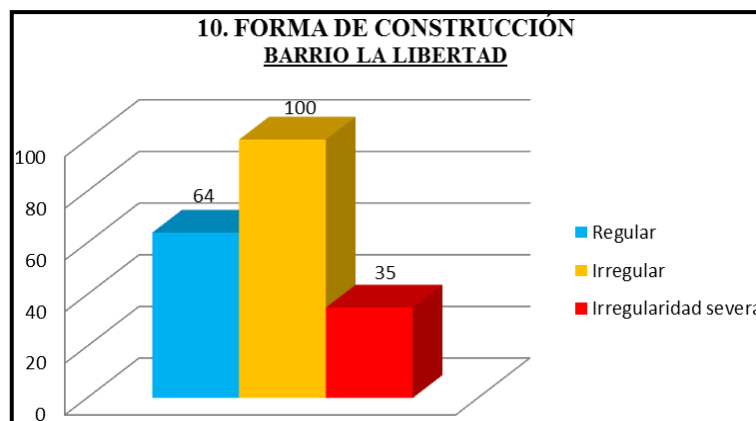


Figura 62. Distribución numérica de viviendas por Forma de la Construcción.

La figura 63, muestra en la distribución porcentual de las viviendas en base a su forma de construcción que el de mayor peso lo tiene la forma irregular con un 50%, lo cual dentro de la muestra estudiada corresponde a 100 viviendas. En segundo lugar tenemos viviendas con un 32%, que presentan una configuración en planta regular.

Las viviendas con forma de construcción con irregularidad severa son los que menos se encuentran dentro de las edificaciones estudiadas, con una participación del 18%.

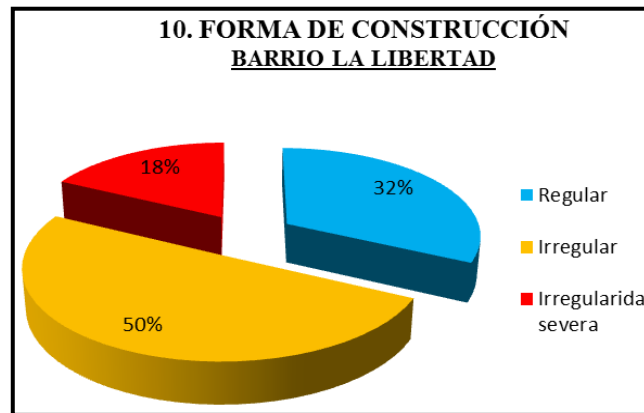


Figura 63. Distribución porcentual de viviendas por Forma de Construcción.

3.2 RESULTADOS OBTENIDOS POR PARÁMETRO – MÉTODO ITALIANO.

El método evalúa 11 parámetros (Tabla 10), calificados de acuerdo a su vulnerabilidad en tres grupos: A, B y C, siendo el más seguro A y la más crítica C, se apoya en cálculos simplificados de estructuras e identifica los parámetros más importantes que controlan el daño en una edificación ante una sollicitación sísmica.

3.2.1 Organización del Sistema Resistente.

En este parámetro se obtiene que:

- 1 de 131 viviendas (1%) es de Clase A (Figura 64 y 65) porque las características del esquema estructural de la vivienda tuvo referencia a normas sismoresistentes, con mampostería confinada y con ventanales que no superan el 30% de la superficie total del panel.
- 102 de 131 viviendas (78%) es de Clase B (Figura 64 y 65) porque la mampostería no es consistente con mortero de mala calidad y grandes ventanales.
- 28 de 131 viviendas (21%) es de Clase C (Figura 64 y 65) por los excesivos ventanales que superan el 60% de la superficie total del panel, con mampostería no confinada constituida con bloques y mortero de mala calidad.

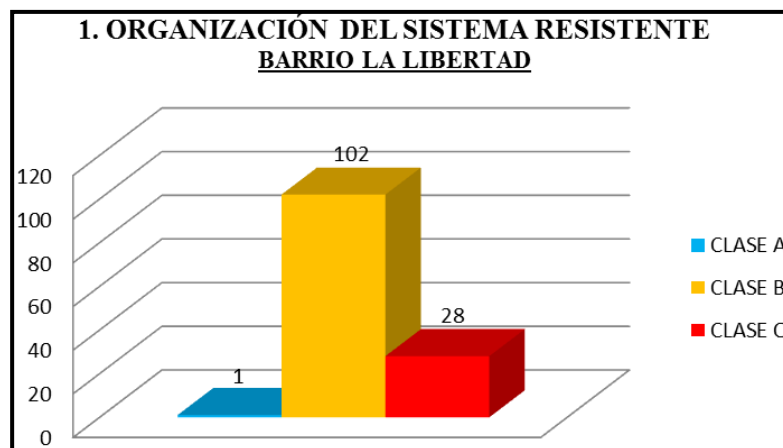


Figura 64. Distribución numérica de viviendas por Organización del Sistema Resistente.

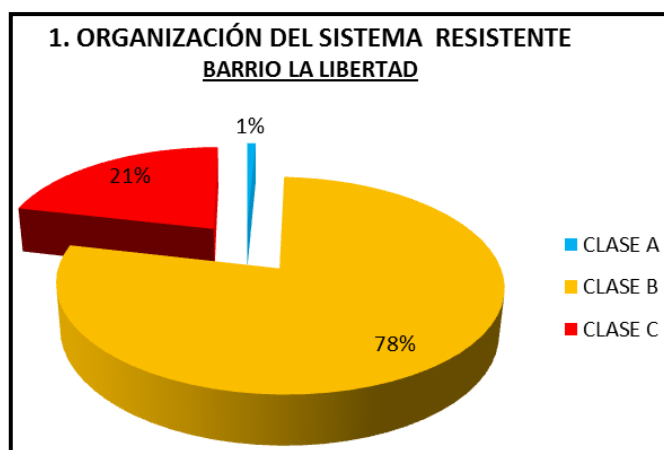


Figura 65. Distribución porcentual de viviendas por Organización del Sistema Resistente.

3.2.2 Calidad del Sistema Resistente.

En este parámetro se obtiene que:

- 0 de 131 viviendas (0%) es de Clase A (Figura 66 y 67), porque el hormigón de los elementos estructurales parece de buena consistencia, con una correcta vibración y la resistencia del hormigón con el esclerómetro se verificó superior a 210 kg/cm², además que cumple con los recubrimientos mínimos en los elementos estructurales.
- 10 de 131 viviendas (8%) es de Clase B (Figura 66 y 67) porque no se encuentran dentro de la categoría tipo A o C.

- 121 de 131 viviendas (92%) es de Clase C (Figura 66 y 67) por la mala calidad de los materiales empleados y deficiente modalidad constructiva, con presencia de zonas de hormiguero, no cumplen con los recubrimientos mínimos; y la resistencia del hormigón con el esclerómetro se verificó inferior a 210 kg/cm².

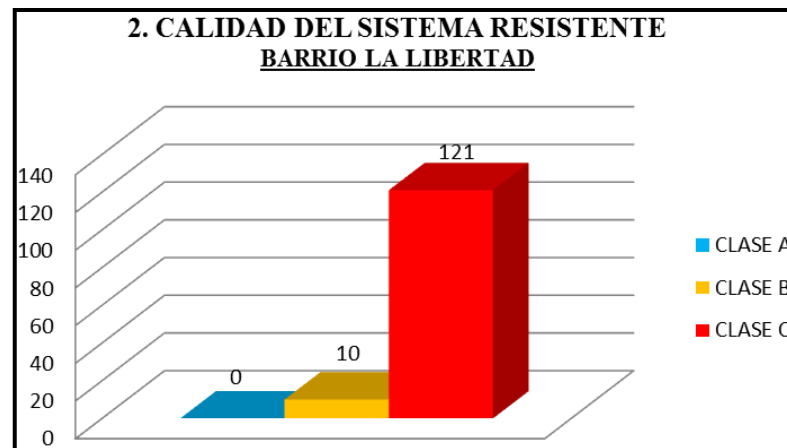


Figura 66. Distribución numérica de viviendas por Calidad del Sistema Resistente.

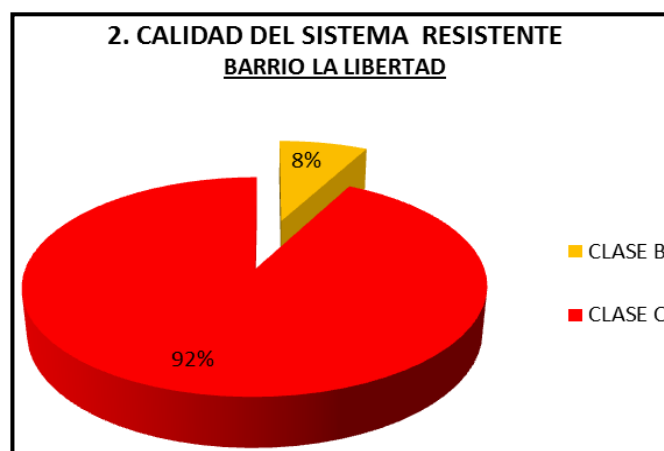


Figura 67. Distribución porcentual de viviendas por Calidad del Sistema Resistente.

3.2.3 Resistencia Convencional.

En este parámetro se obtiene que:

- 15 de 131 (11%) viviendas es de Clase A (Figura 68 y 69) porque fundamentalmente la resistencia del hormigón con el esclerómetro se verificó superior a 210 kg/cm², además la relación entre el cortante

resistente por la estructura y la cortante actuante en la base es superior a 1.5.

- 1 de 131 viviendas (1%) es de Clase B (Figura 68 y 69), porque la resistencia del hormigón con el esclerómetro se verificó superior a 210 kg/cm²; pero la relación entre el cortante resistente por la estructura y la cortante actuante en la base es superior a 0.7 e inferior a 1.5.
- 115 de 131 viviendas (88%) es de Clase C (Figura 68 y 69) porque principalmente la resistencia del hormigón con el esclerómetro se verificó inferior a 210 kg/cm²; además la relación entre el cortante resistente por la estructura y la cortante actuante en la base es inferior a 0.7.

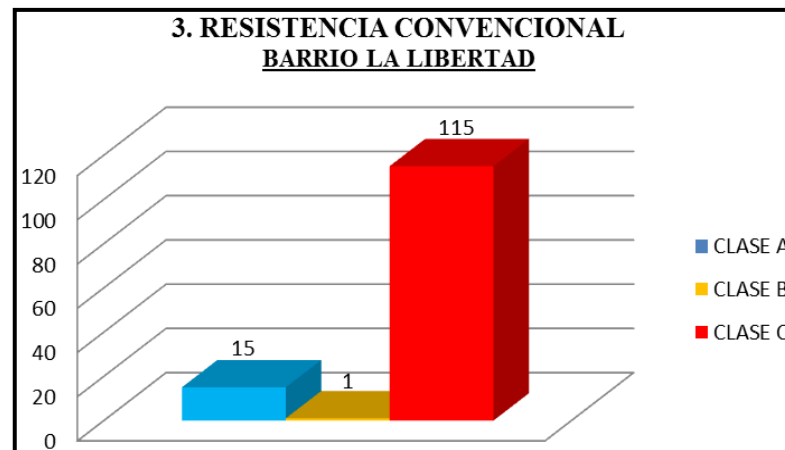


Figura 68. Distribución numérica de viviendas por Resistencia Convencional.



Figura 69. Distribución porcentual de viviendas por Resistencia Convencional.

3.2.4 Posición del Edificio y Cimentación.

En este parámetro se obtiene que:

- 131 de 131 viviendas es de Clase C (Figura 70) porque la posición del edificio y la cimentación de las viviendas del barrio La Libertad de acuerdo a lo descrito en el apartado 2.5.4, están cimentadas en un tipo de suelo S3, un suelo blando no favorable para la construcción.

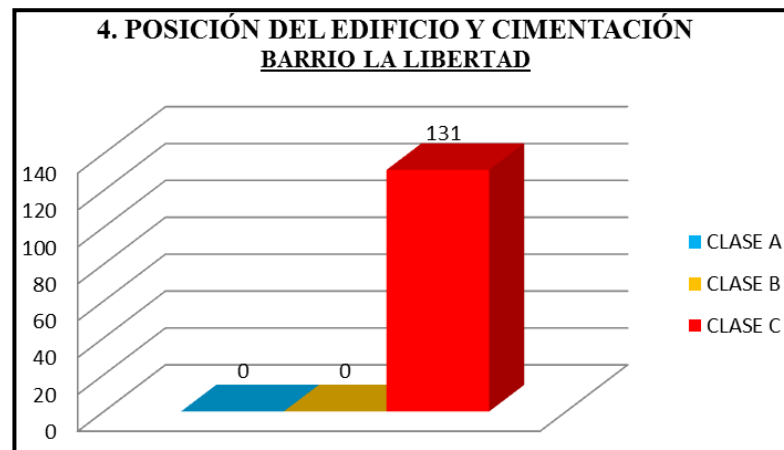


Figura 70. Distribución numérica de viviendas por Posición del Edificio y Cimentación.

3.2.5 Losas.

En este parámetro se obtiene que:

- 27 de 131 viviendas (21%) es de Clase A (Figura 71 y 72) porque las losas de las viviendas son rígidas dado que la resistencia del hormigón con el esclerómetro se verificó superior a 210 kg/cm², con aberturas menores al 30% del área total en planta; y bien conectada a los elementos resistentes verticales.
- 36 de 131 viviendas (27%) es de Clase B (Figura 71 y 72) porque las losas tienen aberturas entre el 30 y el 50% del área total en planta o las losas de las viviendas están mal conectadas a los elementos verticales.
- 68 de 131 viviendas (52%) es de Clase C (Figura 71 y 72) porque las losas de las viviendas son flexibles dado principalmente a que la resistencia del hormigón con el esclerómetro se verificó inferior a 210 kg/cm²; y la mala conexión de las losas con los elementos resistentes verticales.

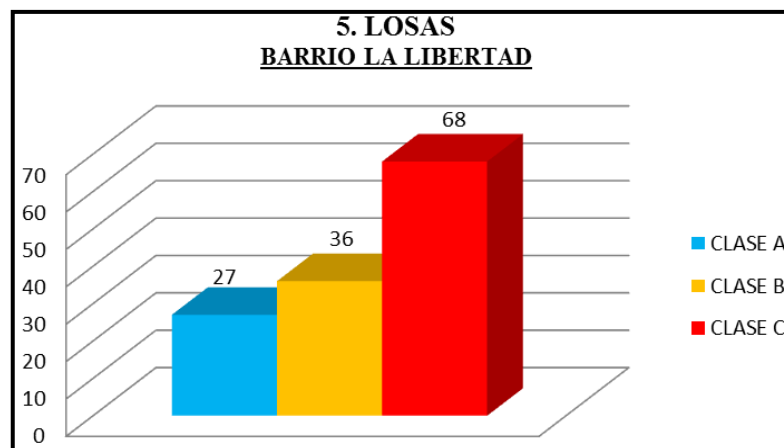


Figura 71. Distribución numérica de viviendas por Losas.

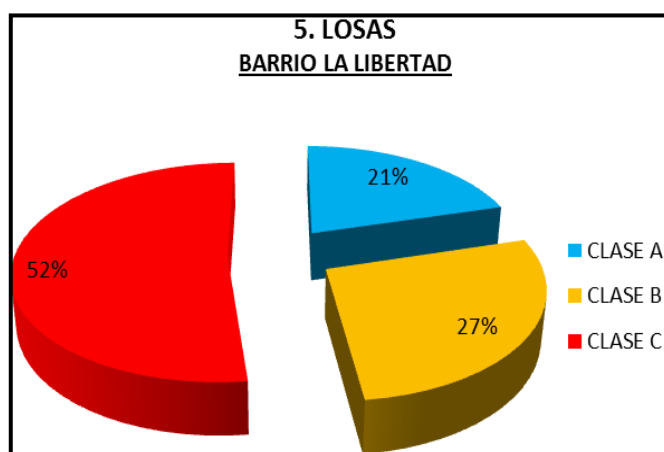


Figura 72. Distribución porcentual de viviendas por Losas.

3.2.6 Configuración en Planta.

En este parámetro se obtiene que:

- 2 de 131 viviendas (1%) es de Clase A (Figura 73 y 74) porque la configuración en planta de las viviendas es regular, y posee voladizos de longitudes cortas.
- 98 de 131 viviendas (75%) es de Clase B (Figura 73 y 74) porque la configuración en planta de las viviendas es irregular, tiene problemas de torsión en una sola dirección y no posee voladizos excesivos.
- 31 de 131 viviendas (24%) es de Clase C (Figura 73 y 74) porque la configuración en planta de las viviendas es irregular o tiene la forma de T,

L, U, etc., sin juntas; tiene problemas de torsión en las dos direcciones y posee voladizos excesivos.

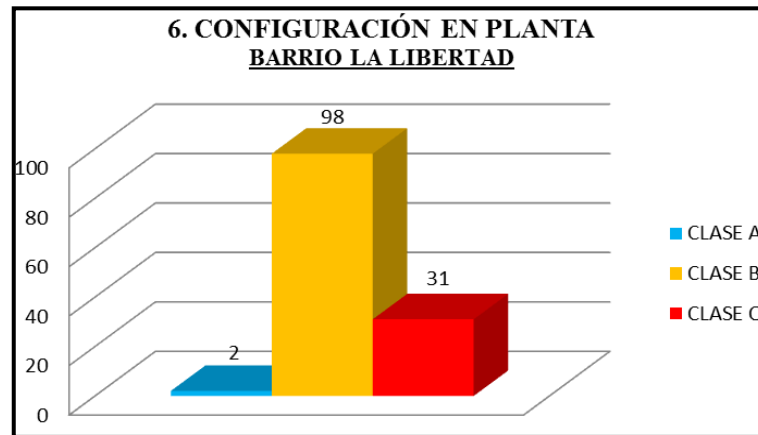


Figura 73. Distribución numérica de viviendas por Configuración en Planta.

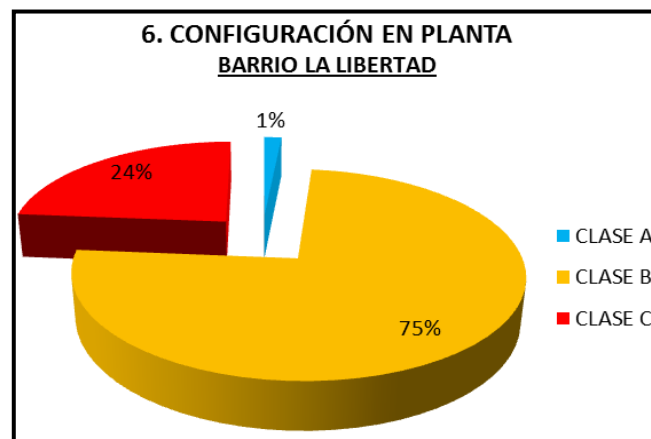


Figura 74. Distribución porcentual de viviendas por Configuración en Planta.

3.2.7 Configuración en Elevación.

En este parámetro se obtiene que

- 5 de 131 viviendas (4%) es de Clase A (Figura 75 y 76) porque las masas van decreciendo entre las plantas sucesivas, el piso inferior es más fuerte que el piso superior y no existe interrupción de elementos verticales.
- 50 de 131 viviendas (38%) es de Clase B (Figura 75 y 76) porque existe variación del sistema resistente, hay aumentos de masa en altura superior al 10% pero menores al 20%.

- 76 de 131 viviendas (58%) es de Clase C (Figura 75 y 76) porque son estructuras con piso blando, el primer piso tiene mayor altura que los pisos superiores. Hay aumentos de masa en altura superior al 20%.

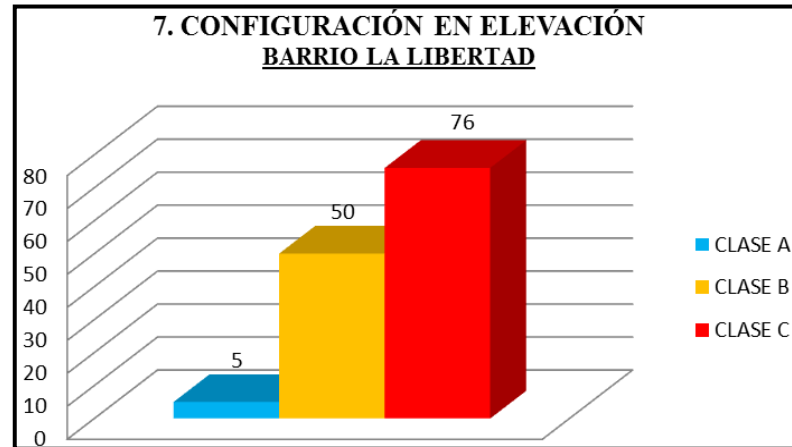


Figura 75. Distribución numérica de viviendas por Configuración en Elevación.



Figura 76. Distribución porcentual de viviendas por Configuración en Elevación.

3.2.8 Conexión Elementos Críticos.

En este parámetro se obtiene que

- 21 de 131 viviendas (16%) es de Clase A (Figura 77 y 78) porque la dimensión mínima de las columnas son mayores a 25cm.
- 67 de 131 viviendas (51%) es de Clase B (Figura 77 y 78) porque una longitud de la columna cumplía con la dimensión mínima de 20 cm y la otra dimensión es superior o igual a 25 cm.

- 43 de 131 viviendas (33%) es de Clase C (Figura 77 y 78) porque se verificó que las columnas de las viviendas no cumplían con la dimensión mínima de 20 cm.

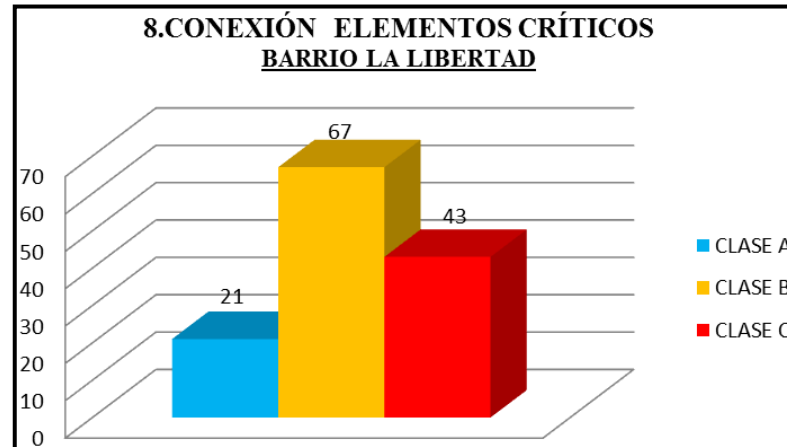


Figura 77. Distribución numérica de viviendas por Conexión Elementos Críticos.

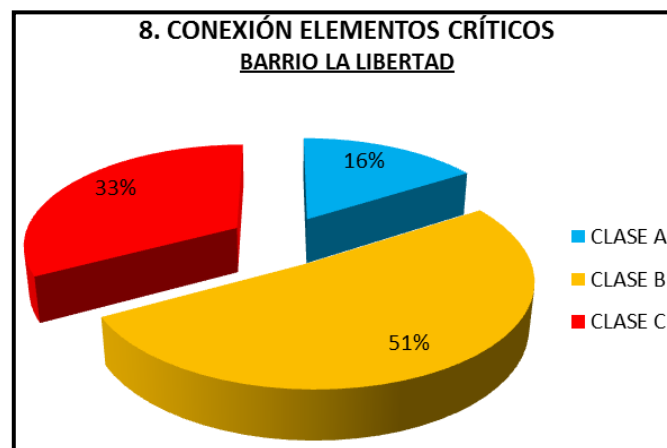


Figura 78. Distribución porcentual de viviendas por Conexión Elementos Críticos

3.2.9 Elementos con Baja Ductilidad.

En este parámetro se obtiene que

- 117 de 131 viviendas (89%) es de Clase A (Figura 79 y 80) porque las estructuras de las viviendas no tienen elementos cortos.
- 10 de 131 viviendas (8%) es de Clase B (Figura 79 y 80) porque las estructuras poseen elementos cortos de baja y elevada ductilidad.

- 4 de 131 viviendas (3%) es de Clase C (Figura 79 y 80) porque las estructuras de las edificaciones poseen elementos cortos de baja ductilidad donde $h < L/4$; y elevada ductilidad donde $h < L/2$.

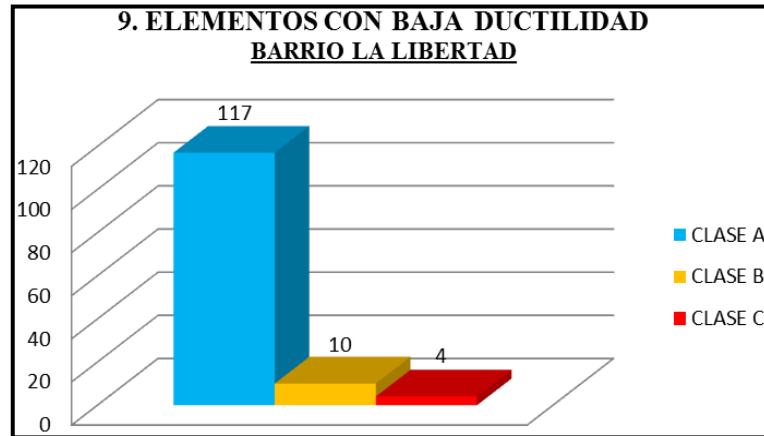


Figura 79. Distribución numérica de viviendas por Elementos con Baja Ductilidad

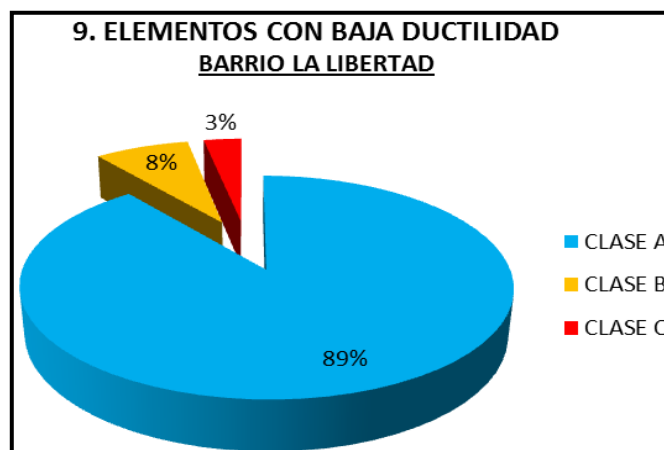


Figura 80. Distribución porcentual de viviendas por Elementos con Baja Ductilidad

3.2.10 Elementos No Estructurales.

En este parámetro se obtiene que

- 66 de 131 viviendas (50%) es de Clase A (Figura 81 y 82) porque tiene elementos externos estables o anclados de manera eficiente.
- 44 de 131 viviendas (34%) es de Clase B (Figura 81 y 82) porque posee elementos externos estables pero con conexiones poco fiables, principalmente tanques elevados de almacenamiento de agua.

- 21 de 131 viviendas (16%) es de Clase C (Figura 81 y 82) porque las viviendas poseen elementos externos inestables y mal conectados.

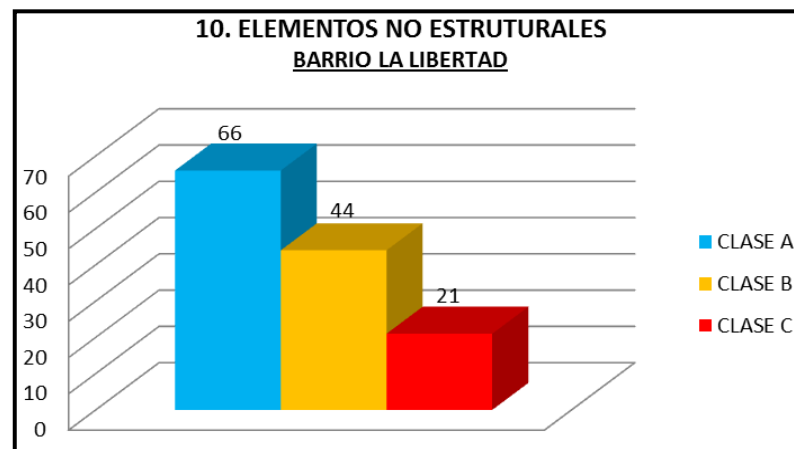


Figura 81. Distribución numérica de viviendas por Elementos no Estructurales



Figura 82. Distribución porcentual de viviendas por Elementos no Estructurales

3.2.11 Estado Conservación.

En este parámetro se obtiene que

- 5 de 131 viviendas (4%) es de Clase A (Figura 83 y 84) porque las vigas, columnas y losas de las viviendas no están fisuradas. No hay rajaduras en paredes que induzcan a pensar en asentamientos del suelo.
- 124 de 131 viviendas (95%) es de Clase B (ver Figura 83 y 84) puesto que son viviendas que no entran en la categoría A o C.

- 2 de 131 viviendas (1%) es de Clase C (Figura 83 y 84) porque los elementos principales presentan más de 30% de fisuras y presentan rajaduras en paredes que inducen a pensar asentamientos del suelo.

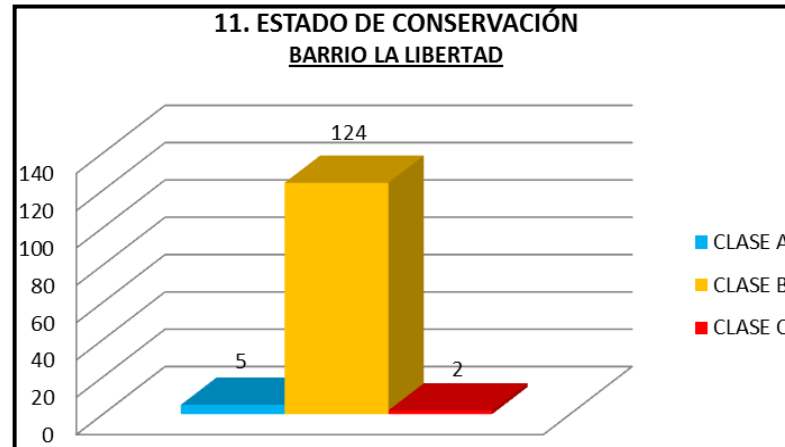


Figura 83. Distribución numérica de viviendas por Estado de Conservación.

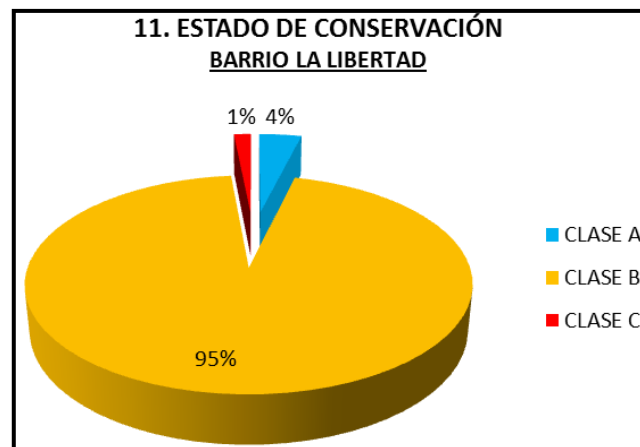


Figura 84. Distribución porcentual de viviendas por Estado de Conservación.

3.3 RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS.

Aplicando los dos métodos antes mencionados con sus diferentes parámetros a las viviendas existentes en el barrio La Libertad se evaluó el total de viviendas levantadas [199 viviendas] por el método de la SNGR y 131 viviendas de hormigón por el método italiano, cuyos resultados se muestran a continuación:

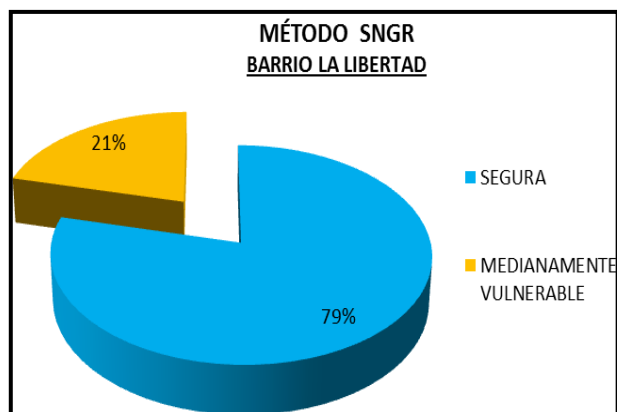


Figura 85. Distribución porcentual del nivel de vulnerabilidad -Método SNGR-.

La mayoría de las edificaciones evaluadas a través de este método presenta la calificación de segura con 79 % del total estudiado, correspondiendo a un total de 157 viviendas. El porcentaje restante presenta una condición de medianamente vulnerable ante un evento sísmico, con un 21 %.

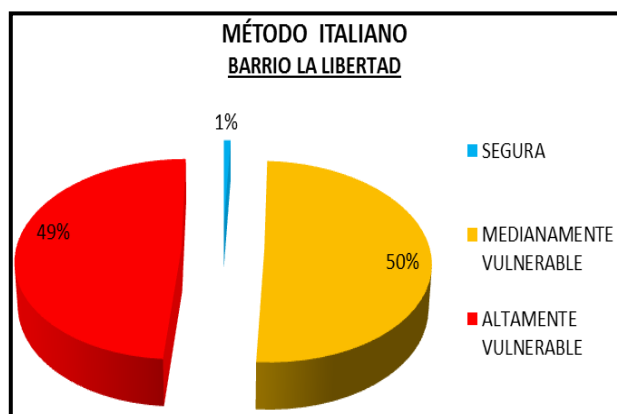


Figura 86. Distribución porcentual del nivel de vulnerabilidad -Método Italiano-.

La mayoría de las edificaciones evaluadas a través de este método presenta la calificación de medianamente vulnerables con 50 % del total estudiado, correspondiendo a un total de 66 viviendas que presenta una condición desfavorable ante un evento sísmico. En una calificación más alarmante se encuentran un total de 64 edificaciones, correspondiendo a un 49 % de viviendas con vulnerabilidad alta, estas construcciones actualmente son potencialmente sensibles a un evento sísmico. Con un menor nivel de vulnerabilidad solo se encuentra 1 % del total evaluado, siendo calificadas por este método como edificaciones seguras.

Una vez obtenidos los resultados de la evaluación del índice de vulnerabilidad en las tipologías estructurales estudiadas, mediante las dos metodologías, se puede realizar mapas de riesgo sísmico.

Los resultados del estudio se presentan mediante mapas obtenidos con el programa de ArcMap, el cual es un programa que utiliza la tecnología SIG, el mismo que incorpora la información obtenida de las edificaciones del barrio La Libertad a un Sistema de información Geográfica (SIG), permitiendo de esta manera tener una base de datos de los índices de vulnerabilidad de las viviendas estudiadas en un entorno georeferenciado.

Estos mapas permiten identificar zonas con riesgo sísmico muy elevados o que ameriten de una atención inmediata e identificación de estructuras con una considerable vulnerabilidad, dando así una idea global del problema y permitiendo dar soluciones al mismo.

El software empleado en esta investigación, corresponde a la versión 10.2 de ArcGIS, esta herramienta ha permitido la elaboración de polígonos georeferenciados referentes a los predios, a estos mismos se les ha asociado la información respectiva que en la base de datos se encuentra.

A cada uno de las viviendas estudiadas se les asignó un identificador abreviado de la edificación, el cual tiene la finalidad de establecer un código en común entre la base de datos obtenida mediante la herramienta Excel y la base de datos cargada en el SIG. De esta manera se permite asociar todos los atributos o características dentro del SIG que a cada edificación corresponde.

Por último se muestran en las gráficas 87 y 88, los Mapas del Índice de Vulnerabilidad Sísmica de las viviendas construidas en el barrio La Libertad de la ciudad de Riobamba, empleando el método propuesto por la SNGR y el método Italiano (Anexos 17 y 18).

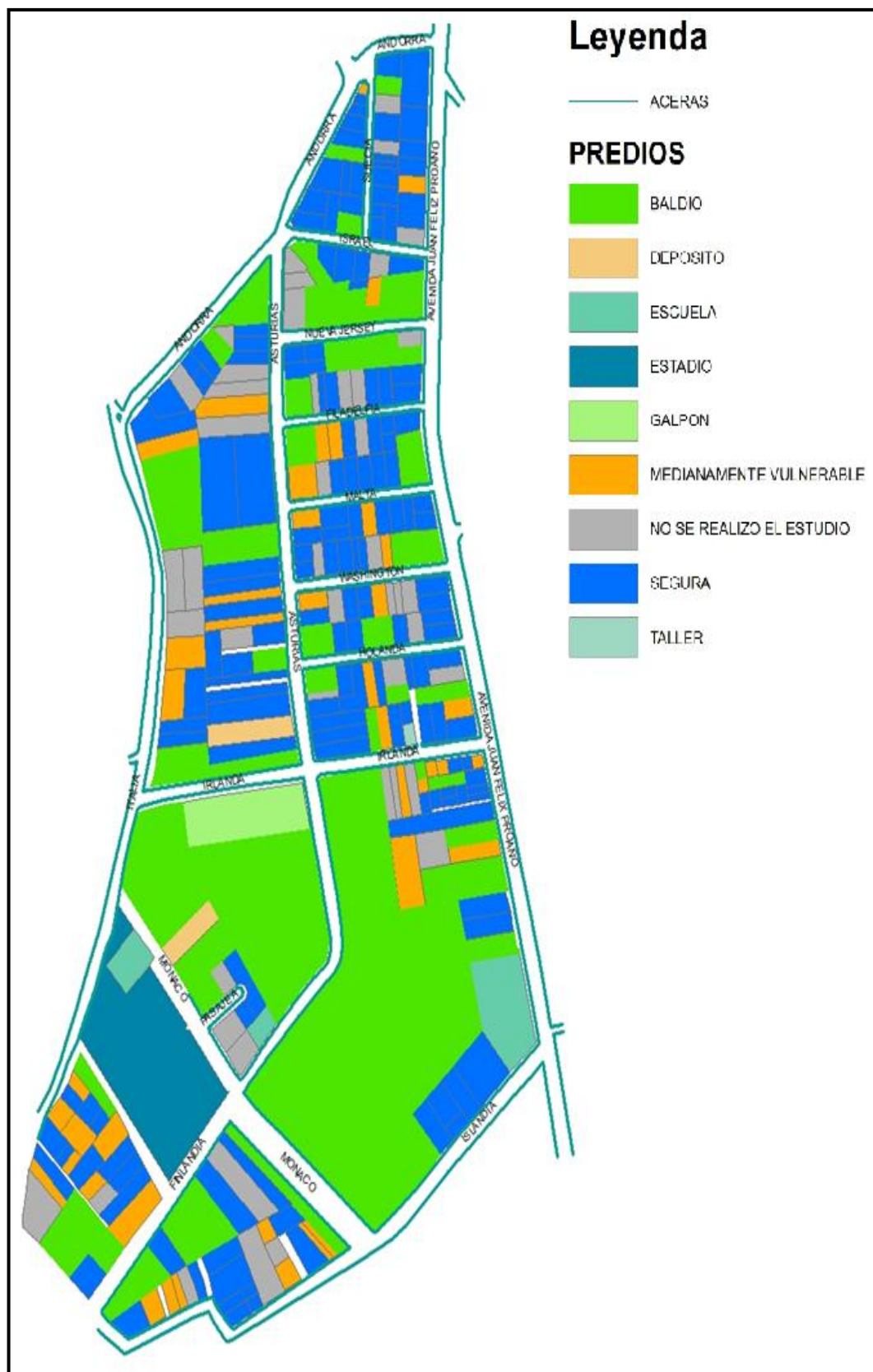


Figura 87. Mapa del Índice de Vulnerabilidad Sísmica. -MÉTODO SNGR-. Barrio La Libertad

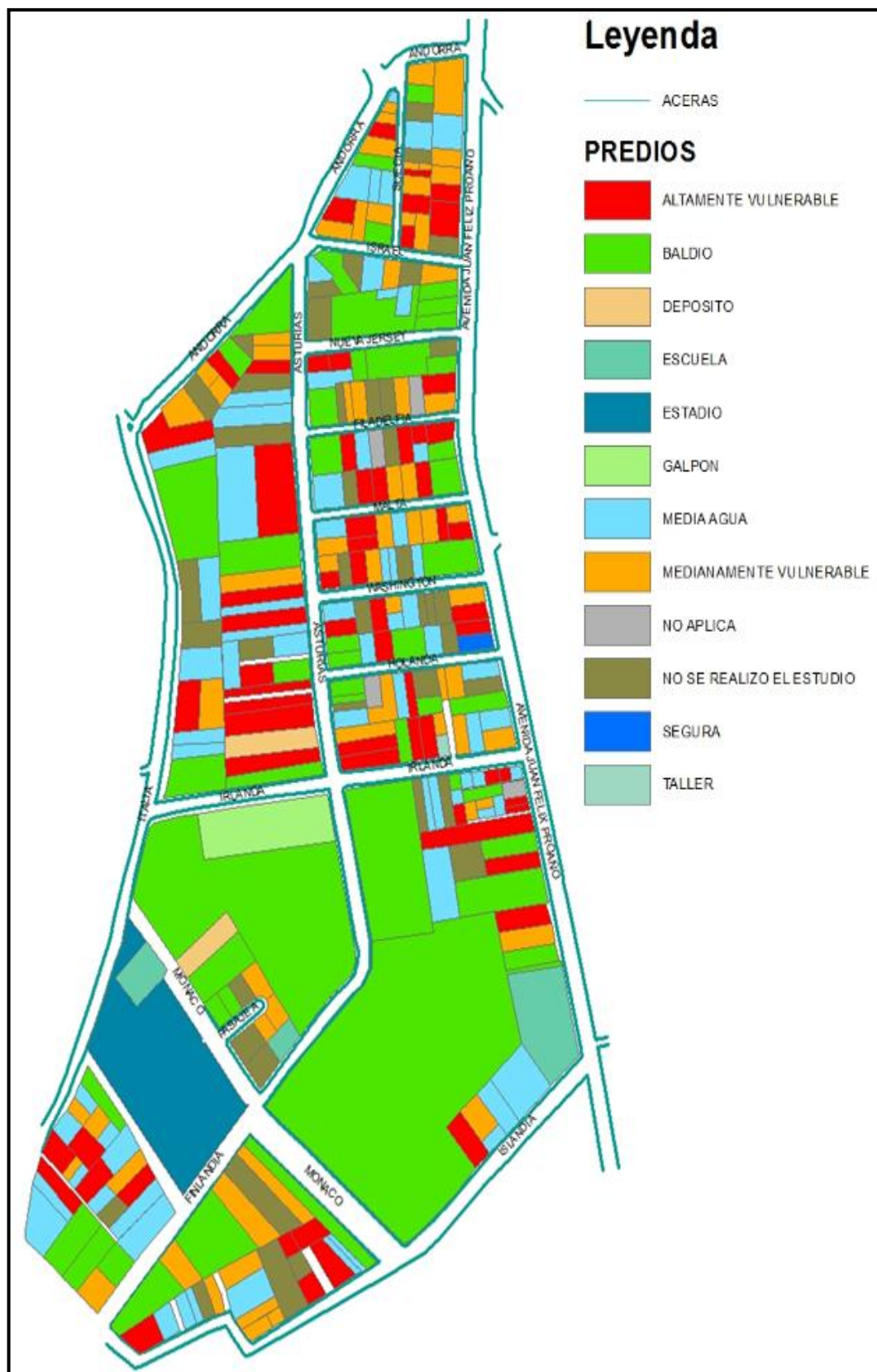


Figura 88. Mapa del Índice de Vulnerabilidad Sísmica. -MÉTODO ITALIANO-. Barrio La Libertad

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

El estudio realizado tiene como objetivo principal obtener mapas del índice de vulnerabilidad sísmica de las vivienda construidas en el barrio La Libertad utilizando dos metodologías, el método de la SNGR y el método Italiano, ambos métodos se desarrollaron en el capítulo II y según los resultados obtenidos en el capítulo III se establecen varias observaciones.

Una de las dificultades en el proceso de la investigación fue la recopilación de datos, la desconfianza y el poco interés de los moradores del sector provocaron que algunas viviendas resultasen sin evaluación.

A diferencia de la metodología propuesta por la SNGR, el método Italiano trata solo dos tipologías estructurales, las de concreto armado y las de mampostería no reforzada.

Para los dos métodos empleados en el estudio de vulnerabilidad sísmica de las viviendas del barrio La Libertad, es evidente que ambos utilizan parámetros de calificación asociados a la calidad sismoresistente de las viviendas, pero por la cantidad y dimensión de análisis de cada parámetro pueden influir en los resultados entre ambas metodologías.

En la figura 89 se presenta los resultados del índice de vulnerabilidad sísmica obtenida por cada método evaluado, se evidencia de forma clara que la mayoría de las viviendas han sido calificadas por el método Italiano como medianamente y altamente vulnerables, en cambio por el método SNGR se observa una tendencia más favorable ya que la mayoría de las viviendas han sido calificadas con una vulnerabilidad baja.

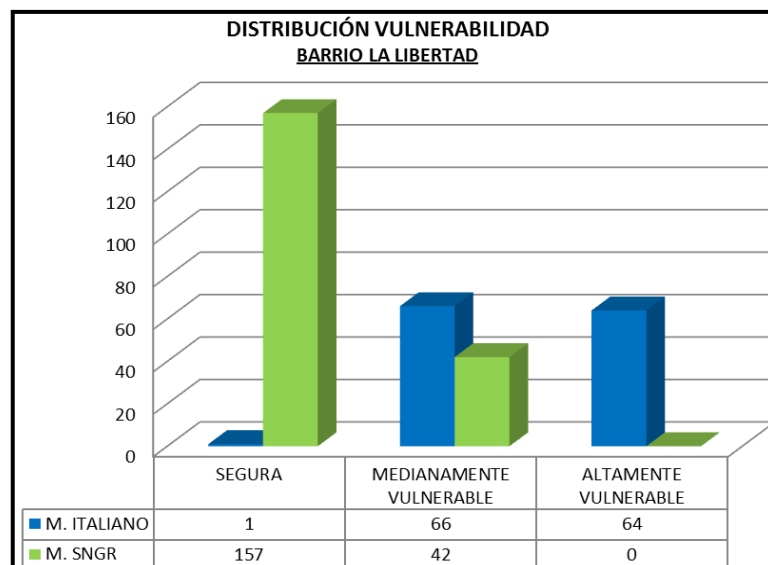


Figura 89. Distribución comparativa de vulnerabilidad sísmica.

El resultado de la evaluación por el método propuesto por la SNGR indica que ninguna vivienda es altamente vulnerable en cambio por el método Italiano resultó un 49 % que representa a 64 viviendas del total de edificaciones levantadas de hormigón armado, con vulnerabilidad alta (Figura 85 y 86).

El porcentaje de viviendas que resultaron medianamente vulnerables según el método de la SNGR es un 21% que representa a 42 viviendas y por el método Italiano resultó un 50 % que corresponde a 66 viviendas (Figura 85 y 86).

De acuerdo al método de la SNGR, 79% que representan a 157 viviendas, corresponden a una vulnerabilidad baja en cambio por el método Italiano solamente resultó un 1% que corresponde a 1 vivienda; datos extremadamente diferentes.

La diferencia entre las dos metodologías utilizadas en esta investigación depende básicamente del nivel de alcance de cada una de ellas, el método de la SNGR evalúa en forma general y asume condiciones favorables de los parámetros, por ejemplo, cuando nos referimos al parámetro sistema estructural, el método indica que el 100% de viviendas de hormigón armado tienen una calificación de “0” es decir son seguras (Figura 90), asumiendo que está construida con requerimientos sismoresistentes, cosa que no es verdad en la mayoría de casos y más cuando se

trata de barrios urbano marginales en donde las viviendas no cuentan con aprobación municipal y por ende de diseños. A diferencia de la metodología propuesta por la SNGR, el método Italiano revela un 92% de viviendas de hormigón con calificación “C” es decir son altamente vulnerables (Figura 90), el cual analiza minuciosamente parámetros importantes como son: calidad del hormigón en elementos estructurales, calidad de la mampostería, calidad de la mano de obra, entre otros, generando una vulnerabilidad acorde a la realidad constructiva de la vivienda.

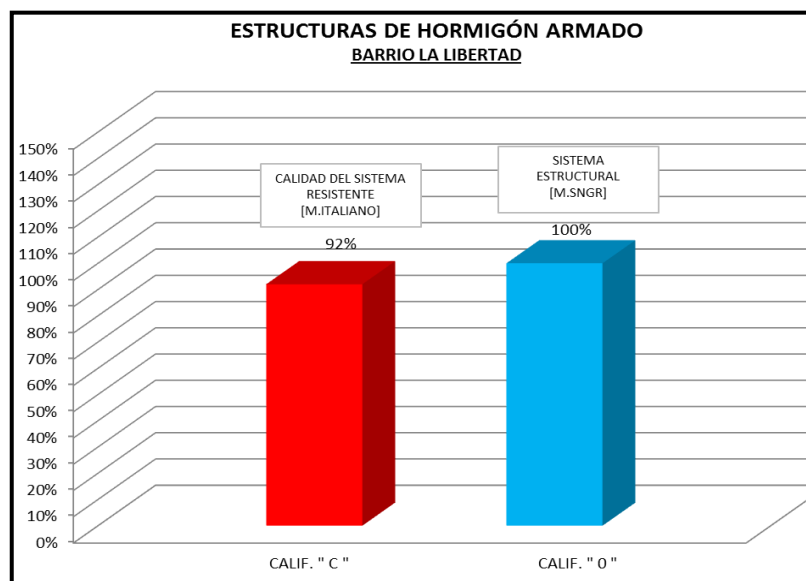


Figura 90. Comparación Porcentual entre los parámetros que consideran al Sistema Estructural en las dos metodologías.

Otro ejemplo que indica la diferencia entre ambas metodologías es el parámetro referente a la losa de hormigón armado, en donde el método Italiano evalúa aspectos como la resistencia del hormigón, rigidez del elemento, área total de aberturas teniendo un 52 % de losas con una calificación C (Figura 91), en cambio la metodología SNGR nos revela un 100 % de losas seguras, considerando solamente que el material es hormigón armado.

El método italiano además toma en cuenta aspectos importantes que pueden provocar daños significativos en la estructura durante un sismo como piso blando, columnas cortas, anclaje y estabilidad de elementos no estructurales, etc.

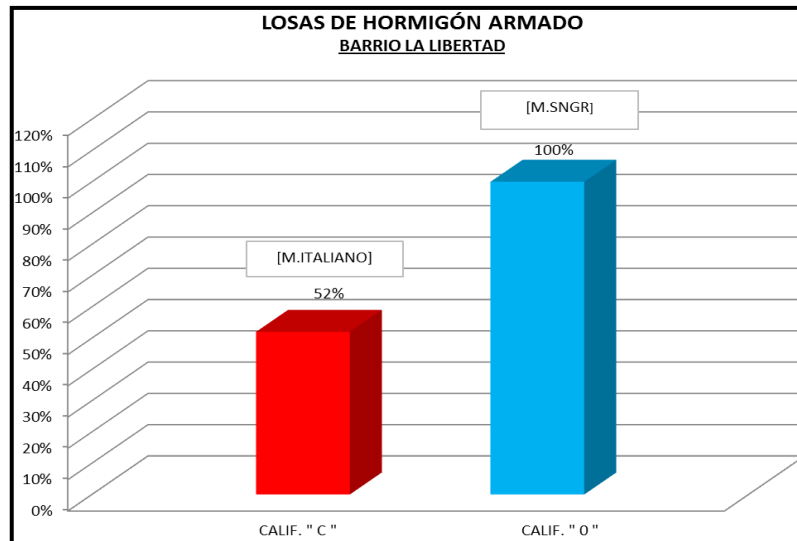


Figura 91. Comparación Porcentual entre los parámetros que consideran las Losas de hormigón armado en las dos metodologías.

Los promedios generales de cada metodología se muestra en la figura 92; donde se indica que la metodología de la SNGR presenta un promedio de 25.07 que corresponde a una vulnerabilidad baja, por otro lado la metodología Italiana presenta un promedio de 58.35 que pertenece a una vulnerabilidad moderada que tiende a ser alta.

Por lo tanto es evidente que la mejor opción de análisis de vulnerabilidad sísmica entre las dos metodologías en estudio es la metodología Italiana, sobre todo si se trata de nuestro medio (Ecuador), porque muestra resultados aproximados en los que se puede confiar y tomarlos en consideración para poderlos utilizar en un futuro próximo.

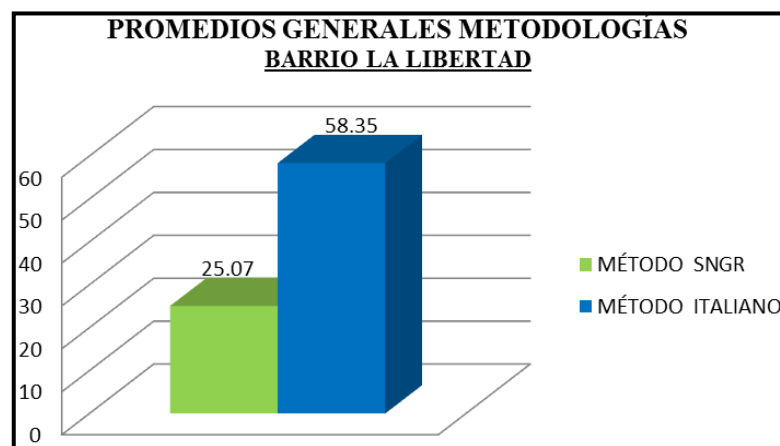


Figura 92. Promedios generales metodologías del índice de vulnerabilidad sísmica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- Se ha logrado en el presente trabajo, la creación de una base de datos que recopila información estructural de 199 viviendas del barrio en estudio, de los datos recopilados se destaca que la tipología más representativa en el barrio con un 67% son las estructuras de hormigón armado y un 98% son de poca altura (1-2 pisos).
- De acuerdo a la evaluación del índice de vulnerabilidad con el método italiano, el 50% y 49 % de las viviendas son mediana y altamente vulnerables, respectivamente, dando un total de 99% de estructuras vulnerables ante un evento sísmico.
- Conforme a la evaluación de las viviendas en el barrio La Libertad se obtuvo que al aplicar el método de la SNGR el 79% de viviendas evaluadas son seguras, dado que el método deduce un adecuado comportamiento sísmico de las características físicas de las viviendas, en tanto que al aplicar el Método Italiano que se apoya en cálculos simplificados de estructuras se obtiene que solo el 1% de viviendas son seguras ante un sismo.
- La metodología de la SNGR presenta un promedio de 25.07 que corresponde a una vulnerabilidad baja, por otro lado la metodología Italiana presenta un promedio de 58.35 que corresponde a viviendas altamente vulnerables
- El método de la SNGR presenta resultados inverosímiles dado que ninguna casa es altamente vulnerable, el inconveniente con este método radica en la forma muy superficial de evaluar a las viviendas por lo que no es recomendable su aplicación.

- Los mapas del índice de vulnerabilidad sísmica de las viviendas del barrio La Libertad, nos permite identificar zonas con alto riesgo sísmico y ubicar viviendas que poseen mayor vulnerabilidad sísmica.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Para minimizar el número de víctimas y pérdidas materiales en caso de un sismo, es necesario mejorar el diseño sísmico en las estructuras nuevas, así como también el comportamiento sísmico de las estructuras de las viviendas existentes del barrio La Libertad.
- Las Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos deben tomar los resultados de este estudio para actualizar sus planes de prevención y mitigación de desastres, tomando como referencia principalmente las zonas que son más vulnerables.
- Se propone, dar continuidad a la aplicación de estos estudios de evaluación de vulnerabilidad sísmica, en otros sectores a fin de caracterizar otros entornos urbanos.
- Concientizar a los propietarios, diseñadores, y constructores en cumplir con los estándares establecidos por los códigos de construcción.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

7.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA

Sistema económico de reforzamiento estructural utilizando marcos contraventeados de madera para viviendas aporticadas de hormigón armado.

7.2 INTRODUCCIÓN

Como se ha mencionado anteriormente nuestro país pertenece a una zona de alto riesgo sísmico, lamentablemente la mayoría de las personas subestima los efectos de un sismo en una estructura porque mantienen una confianza sin fundamento en que no va a ocurrir un sismo en mucho tiempo.

Este es el caso de las viviendas del barrio La Libertad donde se determinó en el presente estudio aplicando la metodología italiana un 99 % de viviendas de hormigón armado vulnerables ante un sismo, para lo cual se propone mejorar el comportamiento de las estructuras existentes de hormigón armado, considerando que es la tipología más representativa con un 67 %, que equivale a 133 viviendas en el barrio en estudio.

En el transcurso de la historia, la madera siempre ha estado ligada a la evolución del hombre, fue probablemente el primer material usado con fines estructurales, logrando satisfacer una amplia gama de necesidades, cuya transformación en material de construcción implica menor consumo de energía y menor contaminación del aire y del agua que los que caracterizan a la fabricación del acero, el cemento, el aluminio y los ladrillos; es el único recurso natural renovable dotado de buenas propiedades estructurales.

Los marcos contraventeados de madera, aparecen como una alternativa viable, debido principalmente al ahorro respecto a otros sistemas de reforzamiento, y los buenos índices de resistencias que la madera, ya que es muy utilizado en la

industria de la construcción en elementos estructurales tales como: techos, pisos, etc.

Como podemos ver en la figura 106, las columnas tienen una resistencia a compresión inferior a las losas y por ende vigas, es necesario e importante entonces, desarrollar un reforzamiento con elementos que rigidicen y ayuden a conservar la estabilidad de las estructuras a través de marcos contraventeados de madera, que sea capaz de resistir carga horizontal considerablemente mayor a la que resisten las estructuras actuales, producida por solicitaciones sísmicas.

En la presente propuesta se utilizará un programa basado en métodos matriciales de estructuras (SAP2000 v.10), para modelar un pórtico de hormigón en combinación con un marco contraventeado de madera frente a solicitaciones de carga tanto vertical como horizontal.

Adicionalmente se realizará los diseños y detalles constructivos de los conectores metálicos y destajes aplicados en el marco contraventeado.

7.3 OBJETIVOS

7.3.1 Objetivo General

- Proponer un sistema de reforzamiento estructural utilizando marcos contraventeados de madera para viviendas aporticadas de hormigón armado.

7.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento del sistema de reforzamiento planteado para viviendas aporticadas de hormigón armado por medio de modelación computacional de un pórtico plano aplicando fuerzas horizontales y verticales.
- Diseñar los conectores metálicos utilizados en el sistema de reforzamiento propuesto y elaborar el detalle de los mismos.
- Realizar el presupuesto del sistema de reforzamiento planteado.

7.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Los edificios aporticados de hormigón armado que presentan un buen desempeño sísmico, se caracterizan por tener la capacidad de evitar el desarrollo inesperado de un mecanismo de colapso durante un movimiento sísmico severo; la distribución del refuerzo longitudinal y transversal y el confinamiento en los elementos del sistema estructural, influyen considerablemente.

No obstante, los daños registrados durante eventos sísmicos severos, han puesto en evidencia procesos constructivos y materiales empleados en este sistema inadecuados. Para lo cual es necesario su reforzamiento introduciendo elementos que ayuden a su estabilidad en el caso de un sismo. Uno de estos elementos son los marcos contraventeados que permiten aumentar la resistencia lateral de la estructura mediante la acertada distribución de elementos rigidizantes.

7.4.1 Marcos Contraventeados

Se define como marcos contraventeados a aquellas estructuras que utilizan elementos diagonales para resistir fuerzas laterales producidas generalmente por sismos, además brindan mayor rigidez y estabilidad a la estructura.

En estructuras de hormigón armado se utilizan marcos contraventeados con diagonales concéntricas. Una diagonal es concéntrica cuando sus dos extremos llegan a las conexiones entre viga y columna del pórtico.

Para lograr un adecuado desempeño del sistema estructural con marcos contraventeados se debe considerar el ángulo de inclinación de las diagonales, cuyo valor se recomienda que se encuentre entre 30 y 60 grados. Además se debe disponer de un número par de diagonales o riostras, con igual sección y ángulo de inclinación para adquirir una respuesta simétrica de la estructura en términos de resistencia y rigidez cuando es sometida a acciones laterales cíclicas.

- **Diagonales simples:**

Se trata de un pórtico dispuesto únicamente con una diagonal, este tipo de pórticos contraventeados no logran un adecuado desempeño del sistema estructural, en la figura 93 se muestra un pórtico con diagonales sencillas.

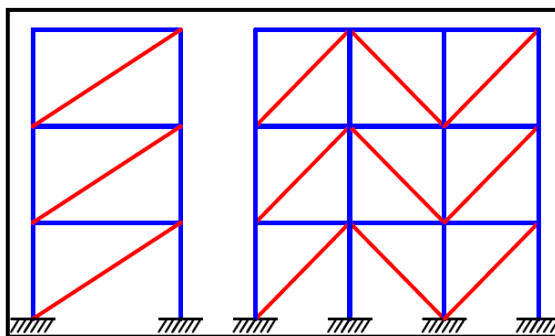


Figura 93. Pórtico con diagonales simples. (Crisafulli, F, 2009).

▪ **Diagonales en cruz**

Consiste en dos diagonales dispuestas en forma de cruz, sus condiciones para diseño cambian ya que necesitan resistir únicamente las fuerzas de tensión producidas por las cargas laterales. Esto es porque la única diagonal que actúa, es la que se encuentra en la dirección de la fuerza lateral y por lo tanto se encuentra bajo esfuerzos de tensión, en la figura 94 se muestra un pórtico con diagonales en cruz.

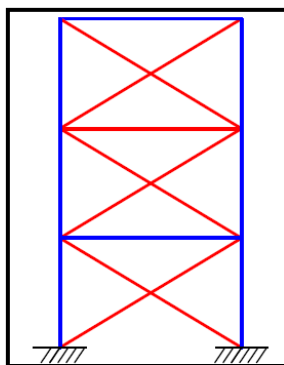


Figura 94. Pórtico con diagonales en cruz. (Crisafulli, F, 2009).

▪ **Diagonales en V y V invertida**

En este tipo de pórticos contraventeados el vértice de las diagonales no coincide con el nudo viga-columna del pórtico, sino más bien se conecta en la parte central de la viga, como muestra la figura 95. En este tipo de marcos contraventeados existen diagonales que por efecto de fuerzas laterales se comprimen y otras se tensionan, por esta deformación que sufren las diagonales, en caso de vigas

débiles se puede formar una rotula plástica en la viga luego de que la riostra comprimida pandea.

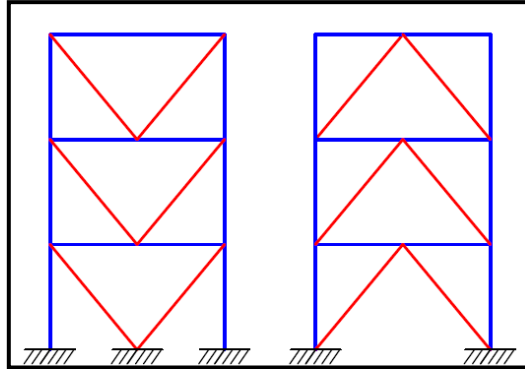


Figura 95. Pórtico con diagonales en v y v invertida. (Crisafulli, F, 2009).

▪ Diagonales en K

Este tipo de diagonales son similares a las anteriores, pero con la diferencia de que el punto de unión de ambas diagonales es en la parte central de la columna como se observa en la figura 96, por lo tanto en dicha zona se formará una fuerza horizontal por el desbalance entre los esfuerzos de tensión y compresión de las diagonales y la consecuente formación de una rotula plástica.

Los tipos de diagonales en V, V invertida y K no son recomendados su utilización cuando se trata de vigas débiles por los efectos graves que se puede producir en la estructura.

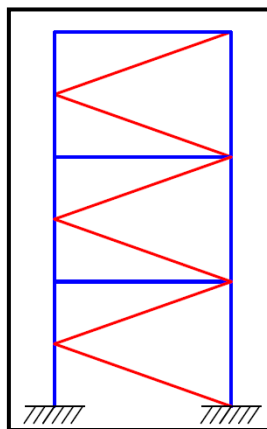


Figura 96. Pórtico con diagonales en K. (Crisafulli, F, 2009).

7.4.2 La Madera como Reforzamiento Estructural

El Ecuador ha utilizado las edificaciones en madera como las más eficaces para resistir los sismos, como ejemplo podemos citar las viviendas en madera de la costa y las de Bahareque en la sierra que históricamente han sido sometidas a un largo listado de terremotos, con buenos resultados, por el bajo peso, flexibilidad en su conjunto, el amortiguamiento y la ductilidad que presentan, ante un sismo, permitiendo una gran disipación de la energía mediante deformaciones que se producen por movimientos locales en uniones clavadas o atornilladas, que permiten aceptar daños en elementos no estructurales, sin afectar mayormente su estructura. Estas características también permiten reparaciones rápidas y fáciles de ejecutarlas, al contrario de otros materiales. (NEC-10, 1996)

En la actualidad se han desarrollado varias investigaciones sobre el reforzamiento de viviendas con madera pero únicamente en viviendas de adobe. Estas investigaciones han dado buenos resultados debido al buen comportamiento que ha presentado la madera frente a la acción de cargas laterales producidas por los sismos.

7.4.2.1 Ventajas de la Madera

Algunas de las ventajas de la madera son las siguientes:

- Es un material muy liviano y por ende fácil de manejar.
- Puede trabajarse fácilmente en diversas formas utilizando herramientas sencillas.
- Diversidad de formas de unión de varias piezas de madera.
- Absorbe choques y vibraciones.
- Las estructuras de madera se pueden montar y desmontar fácilmente.
- La madera es fuerte para su peso y cuando está seca y no tiene defectos, puede compararse peso por peso y muy favorablemente, en resistencia, con el acero y con otros materiales de construcción.

7.4.2.2 Desventajas de la Madera

- Tiene una dureza y resistencia limitadas, sin embargo utilizando piezas de tamaño adecuado, se pueden mejorar estas características.
- La madera, a diferencia de otros materiales de construcción, se pudre y está sujeta a ataques de insectos, sin embargo su duración se puede prolongar utilizando productos preservantes.
- Su contenido de humedad varía con los cambios de humedad atmosférica, estos cambios de humedad atmosférica modifican sus propiedades de solidez y sus dimensiones.

7.4.2.3 Propiedades Elásticas de la Madera

Las características elásticas de un material como la madera, que desde el punto ingenieril se supone homogéneo, se encuentran representadas por los módulos de corte, de elasticidad y de poisson, orientados y definidos según sus tres ejes ortogonales.

- **Módulo de elasticidad:** El módulo de elasticidad es obtenido de manera indirecta por el ensayo de flexión. La madera tiene tres módulos de elasticidad por ser un material ortotrópico.
- **Módulo de Corte:** El módulo de corte es la relación que existe entre las deformaciones y los esfuerzos desarrollados en el elemento, pero por sollicitaciones de cizallamiento o corte. El valor de módulo de corte, después de varios ensayos a nivel mundial, varía entre 1/16 a 1/25 del módulo de elasticidad.
- **Módulo de Poisson:** El módulo de poisson es la relación que existe la deformación lateral y la deformación longitudinal de un elemento. En el caso de maderas existen 6 módulos de Poisson ya que relacionan las deformaciones en las direcciones longitudinal, radial y tangencial.
- **Coeficiente de Dilatación Térmica:** La madera, al igual que muchos materiales, sufre deformaciones mínimas por la variación de la temperatura, además poseen diferentes variaciones según la dirección analizada, por ser un material ortotrópico. La dilatación tangencial y radial

aumentan con la densidad de la madera, siendo la tangencial mayor a la radial. La dilatación longitudinal no depende de la densidad, y varía según la especie.

7.4.2.4 Madera Estructural Eucalipto

En este trabajo de investigación se utilizará el eucalipto como material de reforzamiento para las viviendas de hormigón armado del barrio La Libertad. El eucalipto es un tipo de madera leñosa que se puede obtener fácilmente en el medio ya que existe una gran cantidad de plantaciones distribuidas entre todo el país. Se ha optado por esta madera por su costo económico y su resistencia considerable, ya que de acuerdo al Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1982) dentro de las especies para madera estructural se lo considera dentro del grupo B. Por su gran utilidad en el medio se han realizado varias investigaciones sobre el Eucalipto con el fin de obtener sus propiedades. De acuerdo a los ensayos realizados del Eucalipto en la Escuela Politécnica del Ejército se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 21. Propiedades del Eucalipto

EUCALIPTO (Madera grupo B)		
PROPIEDADES	MAGNITUD	UNIDADES
Masa por unidad de volumen:	0.0825	Ton/m ³
Peso por unidad de volumen:	0.81	Tonf/m ³
Módulo de elasticidad (Longitudinal)	770000	Ton/m ²
Módulo de elasticidad (Tangencial)	650000	Ton/m ²
Módulo de elasticidad (Radial)	650000	Ton/m ²
Coefficiente de Poisson	0.4	s/u
Coefficiente de expansión termal (Longitudinal)	3.50 E-06	C°
Coefficiente de expansión termal (Tangencial)	30.00 E-06	C°
Coefficiente de expansión termal (Radial)	20.00 E-06	C°

Fuente: Tesis de Grado (ESPE), Espinosa A y Salazar A, (2011).

7.4.2.5 Consideraciones Sobre Su Uso

Se debe considerar ciertos aspectos para que la madera tenga el comportamiento esperado:

- Para uso estructural se debe utilizar un Eucalipto maduro, con una edad de 20 años en adelante para que cumplan con los valores de las propiedades descritas en la tabla 21.
- La madera debe estar completamente seca al momento de utilizarlo, caso contrario este tenderá a deformarse con el tiempo.
- Al usar al Eucalipto como madera estructural debemos ser muy cautelosos con el proceso de secado, porque es muy propenso a rajaduras y torceduras. Existen dos formas de secado: natural y artificial, la primera se consigue exponiendo la madera a la acción del medio ambiente, pero sin exponerla directamente al sol y la segunda consiste en el secado de la madera en horno a temperatura gradual de tal forma que se evite distorsiones en la madera.
- La madera como cualquier otro material, tiene sus limitaciones, una de ellas, es la posibilidad de sufrir ataques de insectos y hongos, por lo que es necesario preservarla y esto se logra comúnmente recubriendo a la madera con un preservante como maderol.
- La madera recibida en la obra debe ser protegida de la lluvia y daños adicionales, la madera seca se la debe apilar sin espaciamiento y separadas del suelo por lo menos 15 a 20 cm.
- Para un desempeño adecuado de las estructuras de madera ante un sismo, es recomendable el diseño y detallamiento eficaz de las conexiones entre elementos para proporcionar la capacidad suficiente de transmitir esfuerzos.

7.4.3 Uniones

Las piezas de madera son unidas entre sí para formar componentes. La unión permite la continuidad constructiva y transmite las fuerzas que actúan entre los elementos.

La fuerza y estabilidad de cualquier estructura de madera depende en gran medida de los sistemas de fijación y sus partes conjuntas. Una de las ventajas de la madera como elemento de construcción es la facilidad con que las piezas

estructurales se pueden unir con una amplia gama de clavos, tornillos, pernos, tirafondos, grapas, conectores, entre otros. (Espinosa & Salazar, 2011)

La carga asignada a cada clavo, perno, tornillo o tirafondo es en función de su diámetro y longitud y tiene en cuenta la densidad de las piezas de madera que se unen. La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11. Capítulo7), considera adecuado seguir las recomendaciones que constan en la bibliografía especializada del capítulo 12 del “MANUAL DE DISEÑOS PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO” por estar, en general respaldada en investigaciones sobre el tema.

7.4.3.1 Uniones Tradicionales.

- **Media Madera.**

Es una unión sencilla que consiste en rebajar la mitad de la sección de dos piezas que se encuentran, en una se realiza el entalle en la cara superior y en la otra en la inferior, de modo que al ensamblarse ambas piezas, queden en el mismo plano. En la figura 97 se muestra la unión de dos piezas exactamente iguales, se invierte la posición de una de ellas para ensamblarlas.

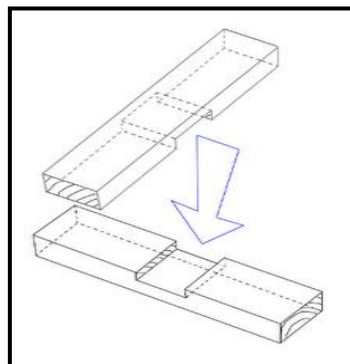


Figura 97. Unión Media Madera. (Tecnología de la Madera. Extraído el 11-03-2014 desde <https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/uniones/ensambles/media-madera.>)

- **Caja y Espiga.**

Se usa para uniones en ángulo recto. Este tipo de unión es común para la construcción de marcos (Figura 98). Para la construcción de la caja y espiga se divide el grueso de la madera en tres partes iguales, para obtener el tamaño de la caja y de la espiga respectivamente.



Figura 98. Unión Caja y Espiga (Manual para el participante de uniones en madera, 2008)

7.4.3.2 Uniones Clavadas.

Las uniones clavadas son las más económicas y de más fácil colocación en obra siempre y cuando la madera no sea muy densa, para madera densa es necesario un pretaladrado. Estas uniones no soportan grandes cargas y se utilizan generalmente para edificaciones pequeñas.

▪ **Clavos**

Es un elemento delgado y alargado con una punta filosa, que se utiliza para unir dos o más elementos. Los clavos son las fijaciones más comunes utilizadas en la construcción de madera. El clavo durante su uso debe resistir cargas de extracción, cargas laterales o una combinación de los dos

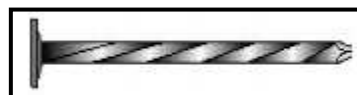
Entre los principales tipos de clavos se tiene: lisos, anillados y helicoidales.



Clavo Liso



Clavo Espina de Pescado



Clavo Helicoidal

Los clavos lisos con aleación de Zinc, son uno de los más comunes, estos clavos se distinguen por su color brillante

7.4.3.3 Uniones Atornilladas.

Se utilizan generalmente para fijar conectores metálicos y cuando se requiere mayor resistencia a la extracción o cuando el uso de pernos es innecesario e impracticable. Su desempeño dentro de la unión es superior a la de un clavo. El tornillo de cabeza plana es el más usado.

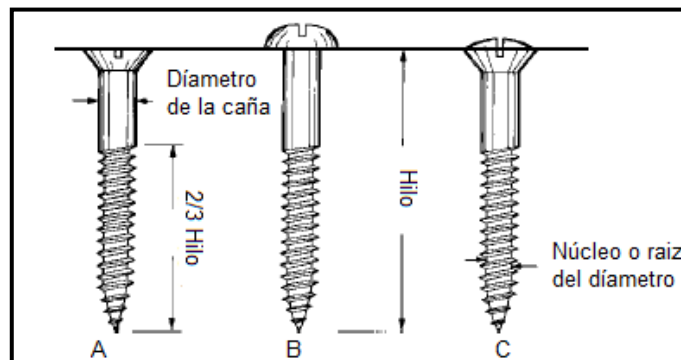


Figura 99. Tipos comunes para madera y sus partes: **A** cabeza plana, **B** cabeza redonda y **C** de cabeza ovalada. (Espinosa & Salazar, 2011)

7.4.3.4 Uniones Empernadas.

- **Pernos.**

Utilizados en estructuras de madera para tomar cargas pesadas y concentradas, tal como es el caso del anclaje de la madera a las fundaciones. Estos elementos de fijación son ineficientes para traspasar fuerzas de un elemento a otro, debido a su excesiva deformación al perno se lo utiliza como un elemento de ensamblado.



Figura 100. Perno Típico (Espinosa & Salazar, 2011)

Los pernos para madera deben estar provistos de arandelas, las cuales deberán ser colocadas entre la rosca-madera y entre tuerca-madera.

7.4.3.5 Uniones con Tirafondos.

- **Tirafondo.**

Es un elemento de unión entre un tornillo y un perno, con una cabeza diseñada para imprimirle un giro con la ayuda de un destornillador o llave fija. El diseño

de su rosca se hace en función del material a penetrar y puede ser rectangular o hexagonal. Generalmente se utiliza cuando es difícil colocar pernos o por estética.

Los tirafondos nunca deben ser martillados o utilizar lubricantes para su instalación.

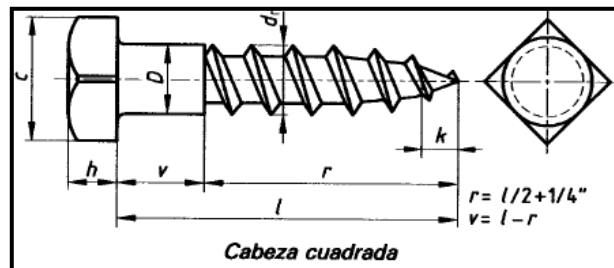


Figura 101. Tirafilete (Espinosa & Salazar, 2011)

En función de la simbología de la figura 101 se presenta las dimensiones comerciales de los tirafiletes en la tabla 22, los cuadros marcados con “x”, significa que existe un tirafilete con esa altura especificada.

Tabla 22. Dimensiones más comunes de Tirafiletes

Dimensiones (mm)	D	6.4	7.9	9.5	12.7	15.9	19.1	22.2	25.4		
		dr	4.4	5.3	6.7	9.4	11.9	14.7	17.3		
Largo (mm)	k	4.8	6.4	6.4	7.9	9.5	11.1	12.7	14.3		
	h	4.4	5.2	6.4	8.3	10.7	12.7	15.1	16.7		
	c	9.5	12.7	14.3	19.1	13.8	28.6	33.3	38.1	r	v
38.1	x	x	x	x	-	-	-	-	-	25	13
50.8	x	x	x	x	-	-	-	-	-	32	19
63.5	x	x	x	x	x	-	-	-	-	38	25
76.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	44	32
88.9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	51	38
101.6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	57	44
114.3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	64	51
127	x	x	x	x	x	x	x	x	x	70	57
139.7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	76	64
152.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	83	70
177.8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	95	83
203.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	108	95

Fuente: Espinosa & Salazar, 2011

7.4.3.6 Conectores Metálicos.

Los conectores de placa metálica, comúnmente llamados placas de metal, transmiten las cargas a través de dientes, agarres, etc. Ejemplos de conectores metálicos se muestra en la figura 102.

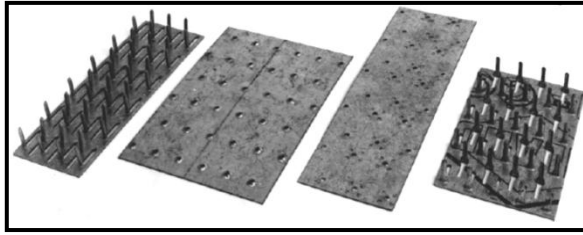


Figura 102. Típicos conectores metálicos. (Espinosa & Salazar, 2011)

Estas placas son hechas generalmente de bajo calibre de acero galvanizado y tienen una superficie y forma necesaria para transmitir las fuerzas sobre la articulación.

Estos elementos se emplean para unir piezas de madera a variados ángulos como se aprecia en la figura 103.

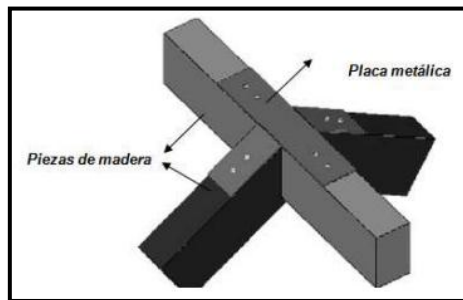


Figura 103. Empleo de una placa metálica en madera. (Espinosa & Salazar, 2011)

El diseño de uniones con placas metálicas exige:

- Que la placa metálica no se deforme durante su instalación.
- Que la madera ubicada bajo la placa metálica no presente arista faltante. (canto muerto), nudos sueltos, agujeros.
- Que las piezas de madera estén en condición seca ($H < 20\%$).
- Que los maderos que se unen en un elemento constructivo tengan el mismo espesor, aceptándose una tolerancia menor o igual que 1 mm en el sector de la unión.
- Que exista un estrecho contacto de las superficies comunes entre las piezas individuales que se unen. Las uniones y empalmes de compresión deben asegurar el traspaso de las fuerzas sólo por medio del contacto directo entre las piezas.

Para su diseño se empleará tirafondos y placas con las siguientes características:

- **Acero en Placas Metálicas.**

Este tipo de acero debe ser al carbono y los principales aceros que cumplen con esta condición son:

Tabla 23. Características de aceros para el uso en placas metálicas

TIPO DE ACERO	TIPO DE ACERO	FORMAS	USOS RECOMENDADOS	ESFUERZOS (kg/cm ²)			
				Fy	Fp	Fu	Fv
A36	Al carbono	Perfiles, barras y placas	Puentes, edificios y otras estructuras atornilladas, soldadas o remachadas	2520	3402	4060	1000
A441	De alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas hasta 25mm	Similar al A36	2950	3982.5	5600	1180
A572	De alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas hasta 200mm	Similar al A36	3500	4725	4570	1400
A242	De alta resistencia y baja aleación resistente a la corrosión	Perfiles, placas hasta 150mm	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas. No para puentes	4200	5670	5270	1680
A588	De alta resistencia y baja aleación resistente a la corrosión	Perfiles, placas hasta 100mm	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas	3160	4266	5000	1264
A514	Templados y revenidos	Placas y barras	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas	3160	4266	5000	1264

Fuente: Espinosa & Salazar, 2011

- **Acero en Tirafondos.**

Este tipo de acero se fabrica de bajo o medio carbono y su clasificación está en función del grado:

Tabla 24. Características de aceros para el uso pernos y tirafondos.

ACERO (GRADO)	TIPO DE ACERO	FORMAS	Fy	Fp	Fu	Fv
0	Usados en tornillos, pernos para metales y maderas y en especial donde el material especificado sea de bajo o de medio carbono y no necesite tratamiento térmico.	Tornillos, clavos, tirafondos y pernos	2280	3078	3500	912
1			2460	3321	3800	984
2			3100	4185	4800	1240
3			5000	6750	7700	2000
5			5500	7425	8500	2200
8			6880	9288	10600	2752

Fuente: Espinosa & Salazar, 2011

▪ **Cargas Admisibles.**

Para la determinación de las cargas admisibles deben considerarse:

- ❖ El grupo estructural (A, B, C) y la condición de la madera utilizada.
- ❖ El diámetro de los pernos.
- ❖ La orientación de las fuerzas en la unión con relación a la dirección del grano en los diversos elementos de madera.
- ❖ Espesor de los elementos de madera.

Tabla 25. Cargas admisibles para uniones empernadas-doble cizallamiento

ℓ cm	d cm	d pulg	ℓ/d	GRUPO A		GRUPO B		GRUPO C	
				P kg	Q kg	P kg	Q kg	P kg	Q kg
2.0	.63	1/4	3.2	195	88	131	58	75	34
	.95	3/8	2.1	297	101	196	67	113	39
	1.27	1/2	1.6	396	117	261	78	151	45
	1.59	5/8	1.3	495	132	326	88	188	51
3.0	.63	1/4	4.8	229	124	179	88	113	51
	.95	3/8	3.2	438	152	294	101	169	59
	1.27	1/2	2.4	594	176	392	117	226	68
	1.59	5/8	1.9	743	198	489	132	282	77
4.0	.63	1/4	6.3	256	144	200	114	128	68
	.95	3/8	4.2	491	201	386	134	226	78
	1.27	1/2	3.1	779	234	522	156	301	91
	1.59	5/8	2.6	990	264	653	175	376	102
	1.90	3/4	2.1	1188	299	783	199	452	116
5.0	.95	3/8	5.3	536	226	420	168	268	98
	1.27	1/2	3.9	851	293	653	195	376	114
	1.59	5/8	3.1	1217	330	816	219	470	128
	1.90	3/4	2.6	1485	374	979	248	564	145
6.5	.95	3/8	6.8	594	260	463	206	297	127
	1.27	1/2	5.1	943	345	739	253	471	148
	1.59	5/8	4.1	1350	428	1061	285	611	166
	1.90	3/4	3.4	1809	486	1273	323	734	188
8.0	.95	3/8	8.4	645	289	501	235	318	156
	1.27	1/2	6.2	1024	385	799	303	511	182
	1.59	5/8	5.0	1465	481	1148	351	731	205
	1.90	3/4	4.2	1963	595	1544	397	903	232
9.0	.95	3/8	9.5	676	308	523	253	329	169
	1.27	1/2	7.1	1072	409	835	326	535	205
	1.59	5/8	5.7	1525	512	1200	395	766	230
	1.90	3/4	4.7	2057	633	1614	447	1016	261
10.0	.95	3/8	10.5	704	325	544	270	339	181
	1.27	1/2	7.9	1118	433	869	348	555	227
	1.59	5/8	6.3	1600	541	1248	426	799	256
	1.90	3/4	5.3	2144	669	1679	497	1070	290

Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1982).

Si la unión es con placas metálicas los valores indicados en la tabla 25 pueden incrementarse en 25 por ciento. En ambos casos, ℓ debe tomarse como el espesor

del elemento de madera. Las platinas metálicas deben tener amplio margen de seguridad contra posibles fallas por corte o aplastamiento. La carga admisible se incrementa de acuerdo al número de tirafondos.

❖ Reducción de la carga admisible por efecto de grupo.

Las fuerzas de la tabla 25 corresponden a uniones con un solo perno. Para uniones con mas pernos la carga admisible debe obtenerse sumando las fuerzas tabuladas o calculadas para cada perno y multiplicando este total con un factor de reducción. Esta reducción es necesaria porque la distribución de fuerzas en los diversos pernos no es uniforme. La tabla 26 indica los factores de reducción que deben utilizarse. Estos son en función del número de pernos por línea paralela a la dirección de la fuerza aplicada y no del número de pernos en la unión.

Tabla 26. Factor de reducción de la carga admisible en función del número de tirafondos por línea paralela a la dirección de la carga aplicada.

Tipo de Elemento Lateral	Número de Pernos por Línea				
	2	3	4	5	6
1. Uniones con elementos laterales de madera	1.00	0.92	0.84	0.76	0.68
2. Uniones con elementos laterales de acero	1.00	0.94	0.87	0.80	0.73

Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1982).

❖ Espesor de la placa metálica

El espesor de las placas debe ser de al menos 1 mm, el espesor depende de la resistencia al corte de los pernos y del aplastamiento de la placa metálica, para determinar con mayor exactitud se debe prever que tipo de acero se empleará.

✓ **Espesor en función de aplastamiento de la placa.**

$$e = \frac{P_{\text{máx}}}{\# \text{pernos} \times d \times \text{planos de cizalle} \times F_p} \geq 1 \text{ mm} \quad (21)$$

✓ **Espesor en función de aplastamiento de los pernos.**

$$e = \frac{P_{\max}}{\# \text{pernos} \times d \times \text{planos de cizalle} \times F_v} \geq 1\text{mm} \quad (22)$$

Donde:

P_{max} = Carga máxima axial a tracción o compresión.

#pernos = Cantidad de pernos en un mismo plano.

d = Diámetro del perno.

planos de cizalle = Planos de cizalle de acuerdo al número de piezas.

F_p = Esfuerzo de ruptura a la tracción de la placa.

F_v = Esfuerzo de ruptura al corte de pernos.

❖ Longitud de penetración del tirafondo.

La longitud de penetración ó longitud mínima del perno ó tirafondo debe ser lo suficiente para evitar fallas de extracción, se considera que una profundidad adecuada del perno debe ser por lo menos a 6 veces el diámetro del mismo.

❖ Espaciamiento mínimos.

El espaciamiento entre pernos y las distancias entre éstos y los bordes de los elementos de madera deben ser suficientes para permitir que cada perno desarrolle toda su capacidad resistente.

✓ Cargas paralelas a la dirección del grano.

En elementos en los que las fuerzas aplicadas siguen la dirección del grano, la distancia entre pernos, separación de filas y las distancias a los bordes y extremos deben ser mayores o iguales que las indicadas en la tabla 27 (Figura 104). Todas estas distancias deben medirse a partir del eje del perno.

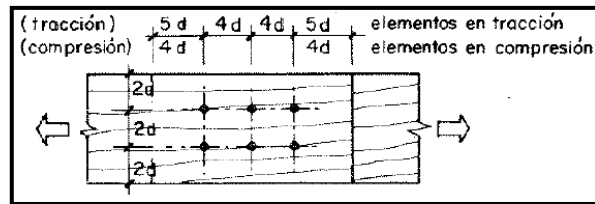


Figura 104. Espaciamiento mínimo entre tirafondos, cargas paralelas al grano. (Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 1982).

✓ Cargas perpendiculares a la dirección del grano.

Para elementos cargados perpendiculares a la dirección del grano, los espaciamientos mínimos, distancias entre filas y a los bordes y extremos se presentan también en la tabla 27 (Figura 105). El espaciamiento es en función de la relación ℓ/d . Para ℓ/d mayor que 2 y menor que 6 se puede hacer una interpolación lineal como se muestra en la figura 105.

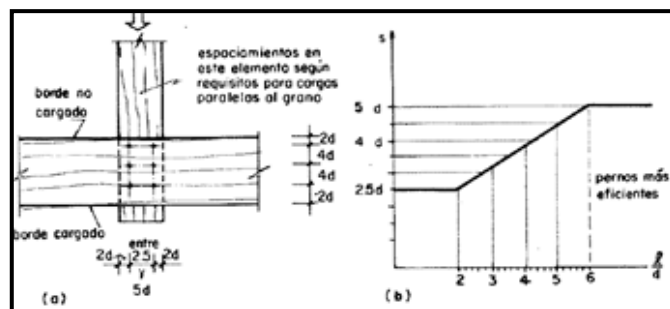


Figura 105. Espaciamiento mínimo entre tirafondos, cargas perpendiculares al grano. (Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 1982).

Tabla 27. Espaciamientos mínimos para tirafondos

Elementos cargados paralelamente al grano (Fig. 12.17)	A lo largo del grano	Espaciamiento entre pernos	4 d
		Distancia al extremo en tracción	5 d
		Distancia al extremo en compresión	4 d
	Perpendicularmente a la dirección del grano	Espaciamiento entre líneas de pernos	2 d*
		Distancia a los bordes	2 d
Elementos cargados perpendicularmente al grano (Fig. 12.18)	A lo largo del grano	Espaciamiento entre líneas de pernos, s:	
		para $\frac{\ell}{d} \leq 2$	$s = 2.5 d$
		para $\frac{\ell}{d} \geq 6$	$s = 5 d$
		para $2 < \frac{\ell}{d} < 6$	$2.5 d \leq s \leq 5 d$
	Perpendicularmente a la dirección del grano	Espaciamiento entre pernos	4 d
		Distancia al borde cargado	4 d
		Distancia al borde no cargado	2 d

Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1982).

7.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.

En el presente trabajo se propone como reforzamiento de las viviendas de hormigón armado del barrio La Libertad a través de marcos contraventeados de madera de eucalipto. El eucalipto es un tipo de madera que se puede obtener fácilmente en el medio, se ha optado por esta madera por su costo económico y su resistencia considerable, ya que de acuerdo al Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1982) dentro de las especies para madera estructural se lo considera dentro del grupo B.

La madera se caracteriza por su bajo peso, flexibilidad en su conjunto, el amortiguamiento y la ductilidad ante un sismo, permitiendo una gran disipación de energía mediante deformaciones que se producen por movimientos locales en uniones clavadas o atornilladas.

Como podemos ver en la figura 106, en base a los resultados de los ensayos con esclerómetro a los elementos estructurales de las viviendas, el 76% de columnas tienen una menor resistencia a compresión con respecto a las losas y por ende vigas por lo cual se ha considerado reforzar las mismas colocando marcos contraventeados de madera en la parte inferior de los pórticos de hormigón armado con el fin de rigidizar, conservar la estabilidad de las estructuras y que sea capaz de resistir carga horizontal mayor a la que resisten las estructuras actuales producida por solicitaciones sísmicas.

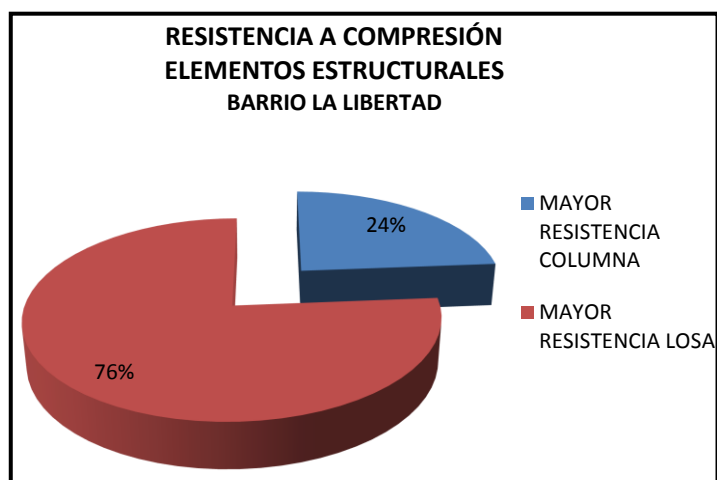


Figura 106. Resistencia a Compresión Elementos Estructurales.

7.5.1 Modelamiento de Pórticos de Hormigón con el Reforzamiento propuesto

En la modelación de la estructura se usó un programa computacional (SAP2000 v10) que permitió representar de manera gráfica el comportamiento de la estructura de hormigón armado con el reforzamiento propuesto.

El modelamiento de pórticos es fundamental, ya que este programa permitirá analizar los desplazamientos de los mismos antes y después de aplicar el reforzamiento planteado.

Para lo cual se modeló dos pórticos, según lo revela la figura 54, las edificaciones de un piso son las más representativas del sector con un 55%, igualmente existe un alto porcentaje de viviendas de dos pisos con un 43%, en base a lo anterior se decidió realizar pórticos de estos pisos.

De igual forma las luces entre columnas de las viviendas en estudio se encuentran entre 3.50 – 4.50 m, y un entrepiso en promedio de 2.40 m, por lo cual se decidió realizar el pórtico A (un piso y un vano) y el pórtico B (dos pisos y dos vanos) como se observa en la figura 107 y 108.

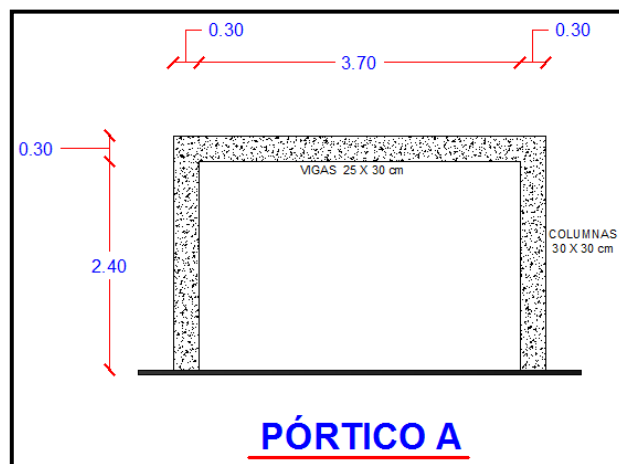


Figura 107. Pórtico A de un piso, un vano.

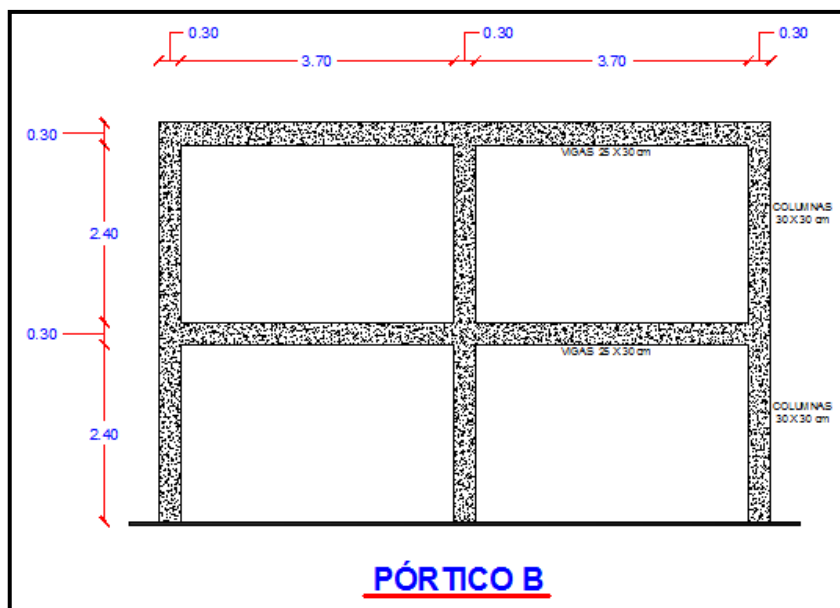


Figura 108. Pórtico B de dos pisos, dos vanos.

7.5.1.1 Definición de materiales.

Para definir el material, o materiales a usar en el modelo, se debe escoger “Define”, y luego “Define Materials”.

Figura 109. Propiedades Material Eucalipto SAP2000.

En este estudio se usa al eucalipto como material, a continuación se debe escoger el tipo de material, en esta versión de SAP 2000, se debe escoger “Other”, además se debe escoger que el tipo de simetría en el eucalipto y otras maderas en general es “Ortotrópico” ya que las características no son similares en todos los sentidos (Figura 109).

El hormigón empleado es de 210 kg/cm², será utilizado en los pórticos y sus propiedades son las siguientes:

Figura 110. Propiedades Material Hormigón 210 kg/cm² SAP2000.

7.5.1.2 Definición de secciones.

Las secciones empleadas son las mínimas en una edificación sismoresistente. En “Define”, “Frame Sections”, se hace clic en “Add New Property”, donde se escogerá los materiales anteriormente creados y la geometría de la sección. Las secciones empleadas son:

Tabla 28. Secciones Empleadas Pórticos

SECCIONES EMPLEADAS		
COLUMNAS	30 x 30	cm
VIGAS	25 x 30	cm
DIAGONALES	6 x 6	cm

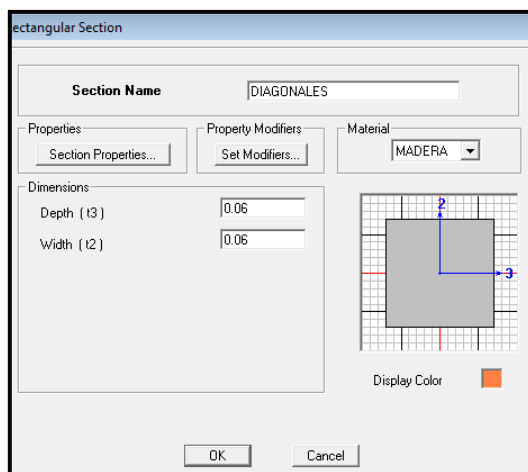


Figura 111. Definición Sección Diagonales Madera.

Este proceso se debe seguir para definir las secciones a colocarse como columnas, vigas y diagonales de madera. Además es necesario considerar la inercia agrietada en vigas el 50% y en columnas el 80% de la inercia gruesa, de esta forma ante un sismo se tiene previsto un mayor daño en las vigas que en las columnas, esto se logra ingresando el factor en Set Modifiers.

7.5.1.3 Asignación de Secciones.

Las secciones antes creadas, se deben ingresar al modelo mediante el icono “Draw Frame”. Cada uno de los elementos se debe dibujar según la sección mediante la ventana que se muestra a continuación:

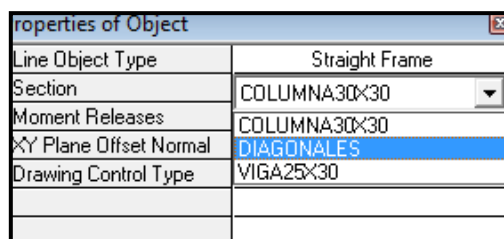


Figura 112. Asignación de secciones.

Después de haber dibujado el modelo completo de la estructura, indicamos las restricciones de los nudos de la cimentación del pórtico en Assign/Joint/Restrains y seleccionamos la condición de empotramiento.

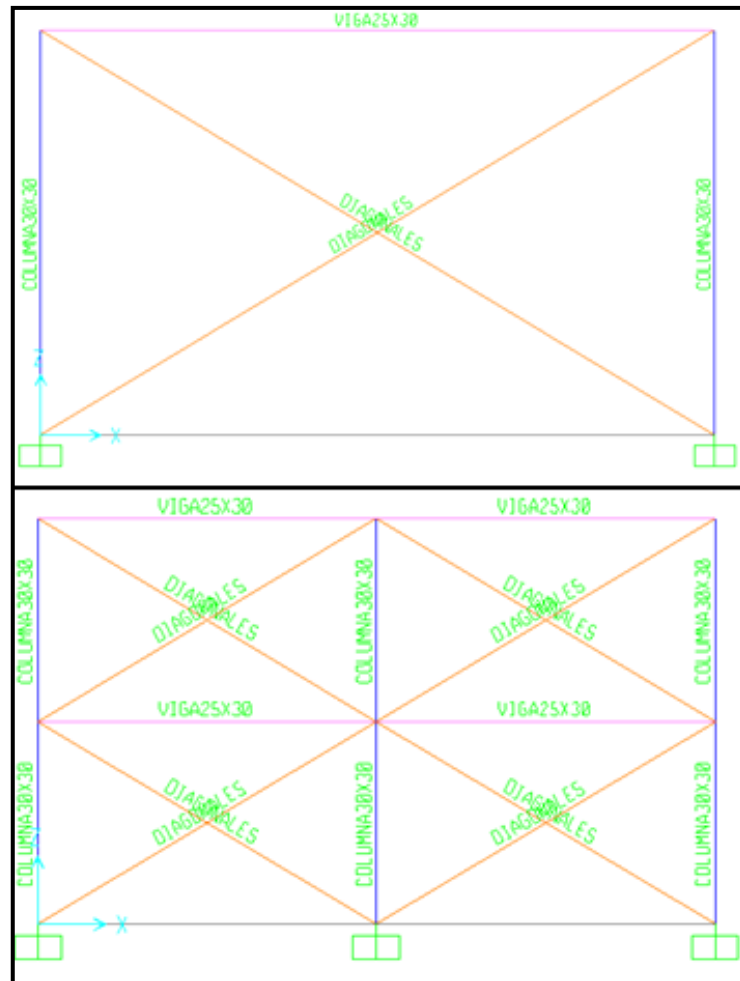


Figura 113. Secciones Pórticos A y B.

Después que el modelo esté listo, se deben asignar las cargas necesarias y son carga viva, muerta y por sismo estático.

7.5.1.4 Estados de carga.

Para esto se debe usar la opción “Define”, “Load Cases” que mostrará la ventana de la figura 114.

Se usa el coeficiente 0 en el caso DEAD porque queremos que no se tome en cuenta el peso propio de cada uno de los elementos. Para nuestro caso ingresaremos como carga distribuida el valor de carga última directamente en los pórticos por lo cual daremos el valor de cero para que ya no se considere en el cálculo el peso propio de la estructura.

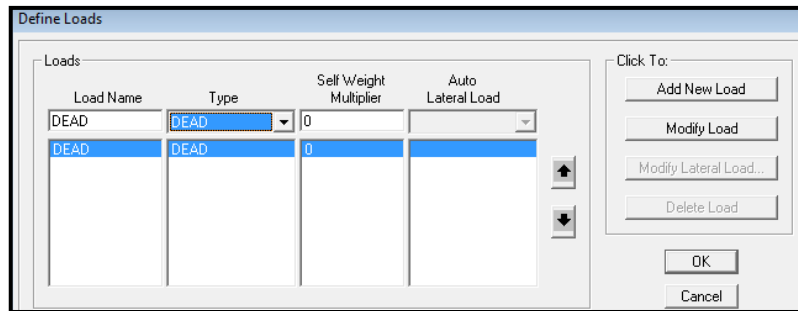


Figura 114. Definición de los casos de carga.

7.5.1.5 Asignación Cargas.

Como se mencionó anteriormente, se ingresó en forma de carga distribuida la carga última: 3.893 T/m en Asing/Frame Loads/Distributed.

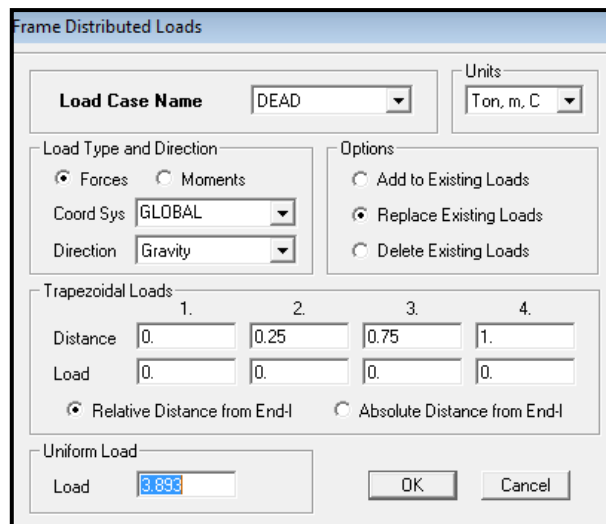


Figura 115. Asignación Carga Última.

Para tomar en cuenta el efecto sísmico, se ingresa el valor de las fuerzas estáticas directamente. Para el cortante basal de diseño y el cálculo de las fuerzas horizontales se procede según lo indica el CPE INEN 5:2001 “Código Ecuatoriano de la Construcción. Requisitos Generales de Diseño. Capítulo 12”. En base a lo detallado en el apartado 1.6.2.3.

$$V_S = \frac{Z * I * C}{R * \phi_P * \phi_E} * W \quad (11)$$

Z=	0.4
I=	1
S=	1.5
R=	10
Φ_P =	1
Φ_E =	1
C=	2.8

1 PISO:

$$V_S = 0.112 * W$$

$$W = 12.80 \text{ T}$$

$$V_S = 1.434 \text{ T}$$

2 PISOS:

$$V_S = 0.112 * W$$

$$W_i = 25.60 \text{ T}$$

$$W = W_i \times \# \text{ pisos} = 51.20 \text{ T}$$

$$V_S = 5.734 \text{ T}$$

	[T]	[m]	[T.m]	[T]	[T]
PISO	W _i	h _i	W _i *h _i	V	F _i
F1	25.6	2.4	61.44	5.734	1.911
F2	25.6	4.8	122.9	5.734	3.823
			184.3		5.734

Para asignar las fuerzas horizontales seleccionamos el o los nudos que están solicitados a carga, utilizando el puntero del mouse, entonces en la ruta “Asing/Joint Loads/Forces” ingresamos el valor de la carga horizontal (Figura 116).

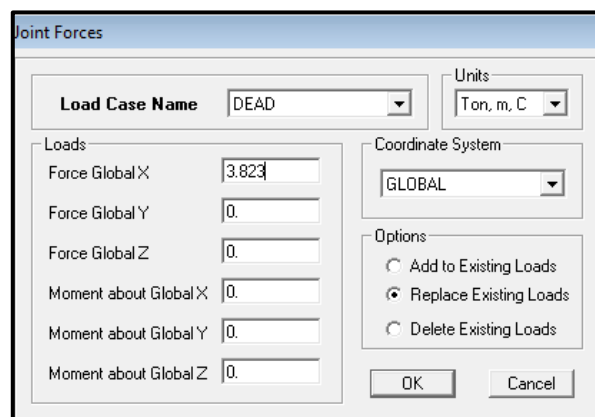


Figura 116. Asignación Carga Horizontal Sismo.

Los pórticos luego de los ingresos de carga vertical y horizontal en la figura 117.

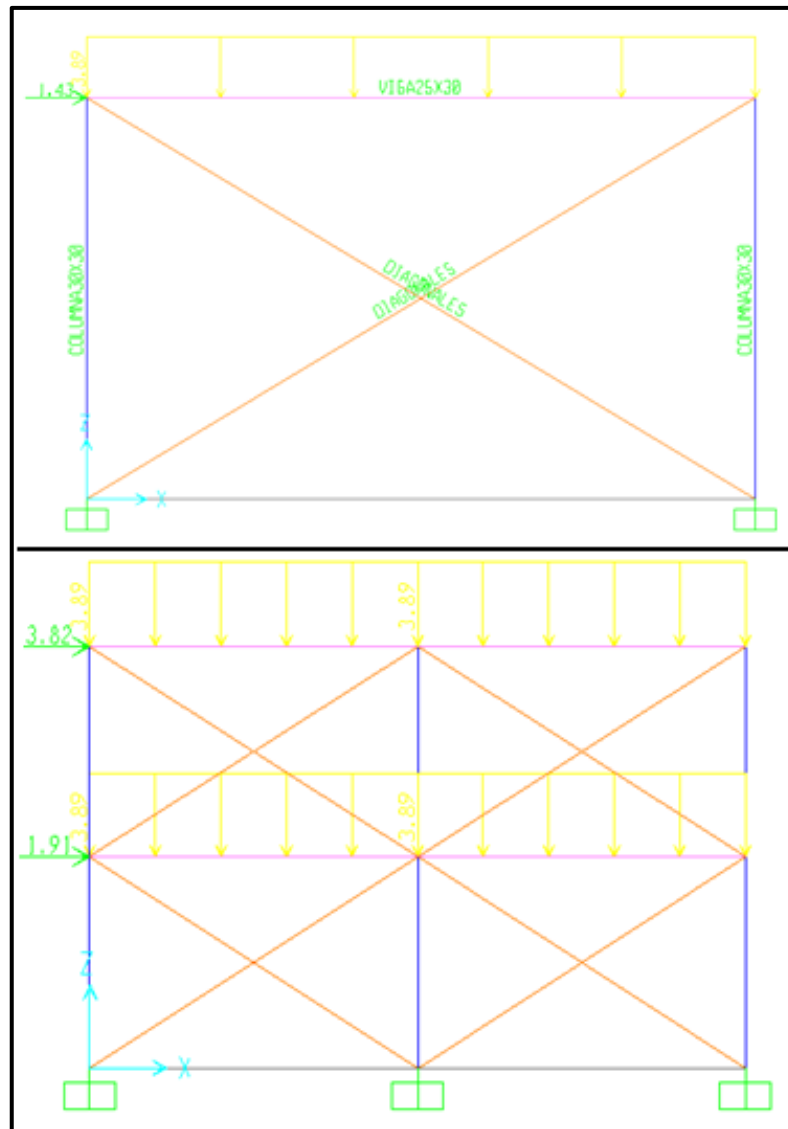


Figura 117. Pórticos A y B con carga vertical y horizontal.

Cuando dos miembros, tales como una viga y columna están conectados en un punto, hay una cierta superposición de las secciones transversales. SAP2000 proporciona la capacidad de definir desplazamientos de los extremos de los elementos del pórtico. Seleccionamos las vigas y por la ruta Asing/Frame/Tendom/End (Length) Offsets en las casillas introducimos el valor de 0.15 (columnas de 0.30 m) para la longitud de la inicio (End I) y final (End J). Rigidizamos los extremos con un valor recomendado en 0.5

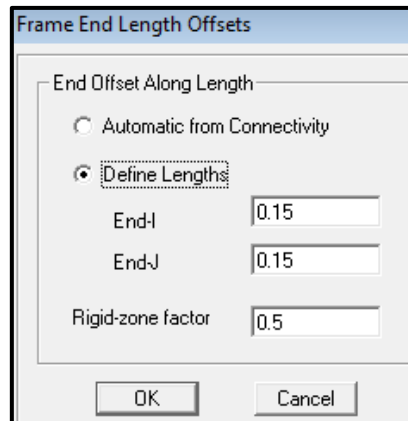


Figura 118. Definición desplazamientos en los extremos del pórtico y factor de rigidez.

Hay que indicarle al programa las diagonales de madera no transmiten momento en Assign/Frame/Releases (Figura 119 y 120).

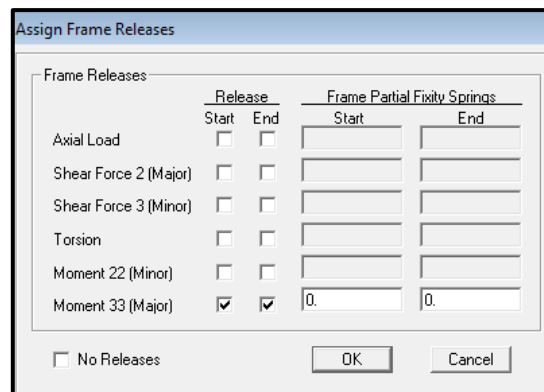


Figura 119. Diagonales de madera no transmiten momento.

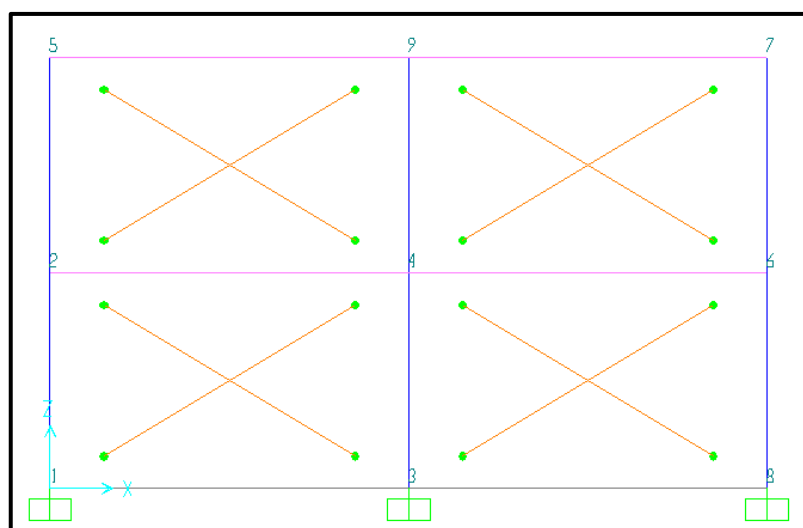


Figura 120. Liberación de fuerzas en los extremos de las diagonales.

Finalmente por la ruta Analize/Run Analysis o presionando F5 del teclado, pulsamos “Run Now”.

Por la ruta Display/Show Tables/Joint Output/Displacements para obtener los desplazamientos de todos los nudos.

▪ PÓRTICO A: SIN REFORZAMIENTO

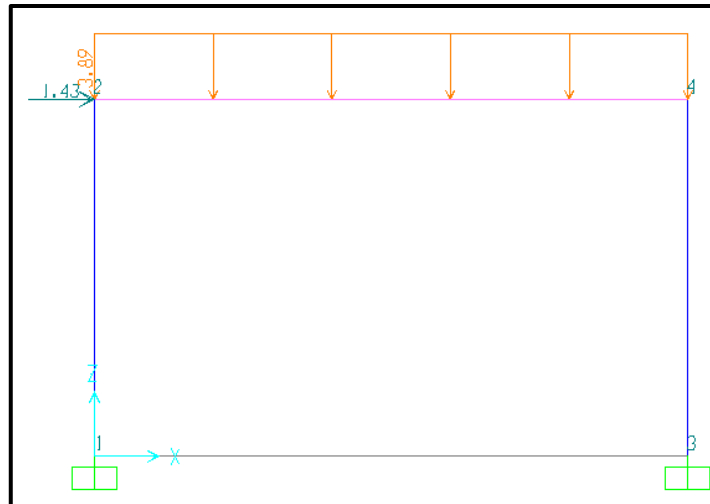


Tabla 29. Desplazamientos de los nudos pórtico A sin reforzamiento

Joint Displacements										
File View Options Format										
Units: As Noted							Joint Displacements			
	Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 cm	U2 cm	U3 cm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians	
▶	1	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0	
	2	DEAD	LinStatic	0.145851	0	-0.009196	0	0.003016	0	
	3	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0	
	4	DEAD	LinStatic	0.137119	0	-0.009909	0	-0.001873	0	

▪ PÓRTICO A: CON REFORZAMIENTO.

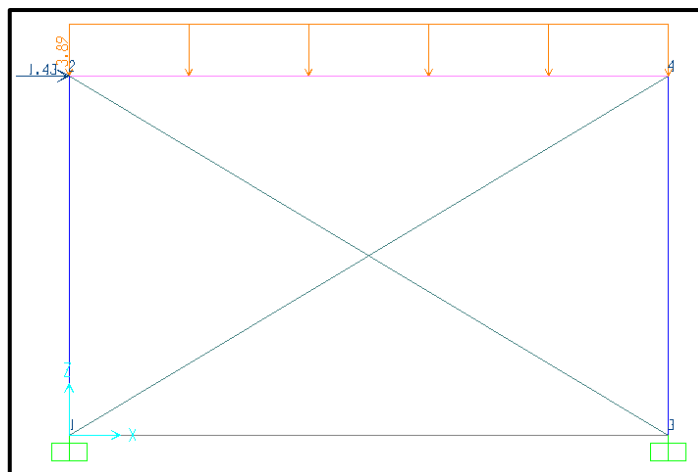


Tabla 30. Desplazamientos de los nudos pórtico A con reforzamiento.

Joint Displacements									
File View Options Format									
Units: As Noted							Joint Displacements		
	Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 cm	U2 cm	U3 cm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
▶	1	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	2	DEAD	LinStatic	0.080463	0	-0.009085	0	0.002752	0
	3	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	4	DEAD	LinStatic	0.071838	0	-0.009956	0	-0.002136	0

Se confirma que la propuesta con marcos contraventeados de madera disminuye los desplazamientos en el pórtico modelado, en la tabla 29 podemos ver desplazamientos de 0.146 y 0.137 cm en el pórtico sin reforzamiento, en cambio en el pórtico modelado con el reforzamiento propuesto se observa desplazamientos de 0.08 y 0.072 cm (Tabla 30) en los mismos nudos respectivamente, la reducción de los desplazamientos está alrededor de un 45 %.

▪ PÓRTICO B: SIN REFORZAMIENTO

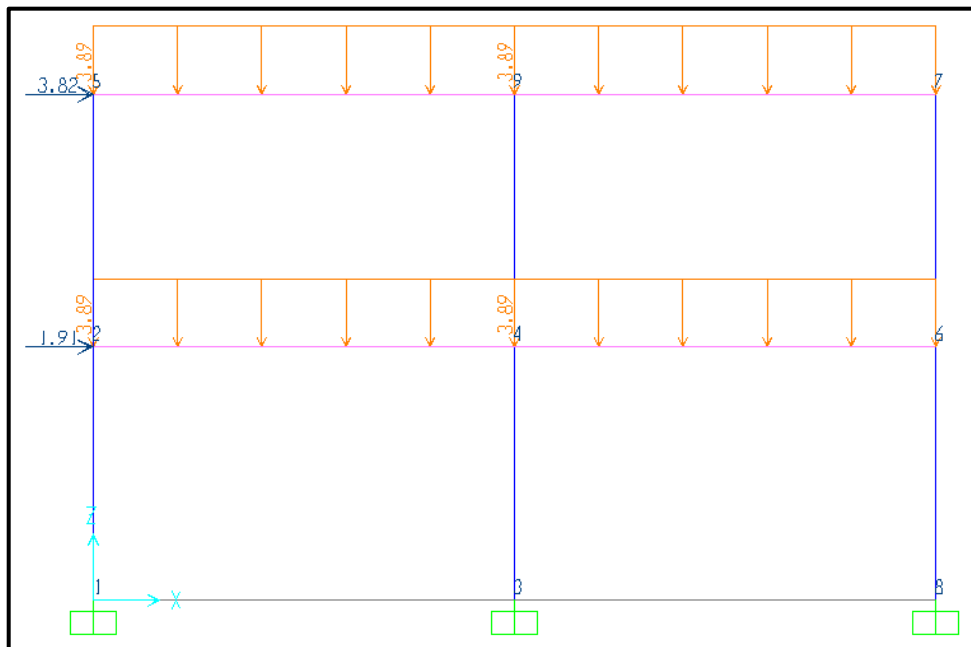


Tabla 31. Desplazamientos de los nudos pórtico B sin reforzamiento.

Joint Displacements									
File View Options Format									
Units: As Noted						Joint Displacements			
	Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 cm	U2 cm	U3 cm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
▶	1	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	2	DEAD	LinStatic	0.427933	0	-0.016312	0	0.002946	0
	3	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	4	DEAD	LinStatic	0.430243	0	-0.039751	0	0.001725	0
	5	DEAD	LinStatic	0.978048	0	-0.024496	0	0.003435	0
	6	DEAD	LinStatic	0.4333	0	-0.020351	0	0.001233	0
	7	DEAD	LinStatic	0.953524	0	-0.030194	0	-0.000331	0
	8	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	9	DEAD	LinStatic	0.963466	0	-0.059931	0	0.001116	0

- **PÓRTICO B: CON REFORZAMIENTO**

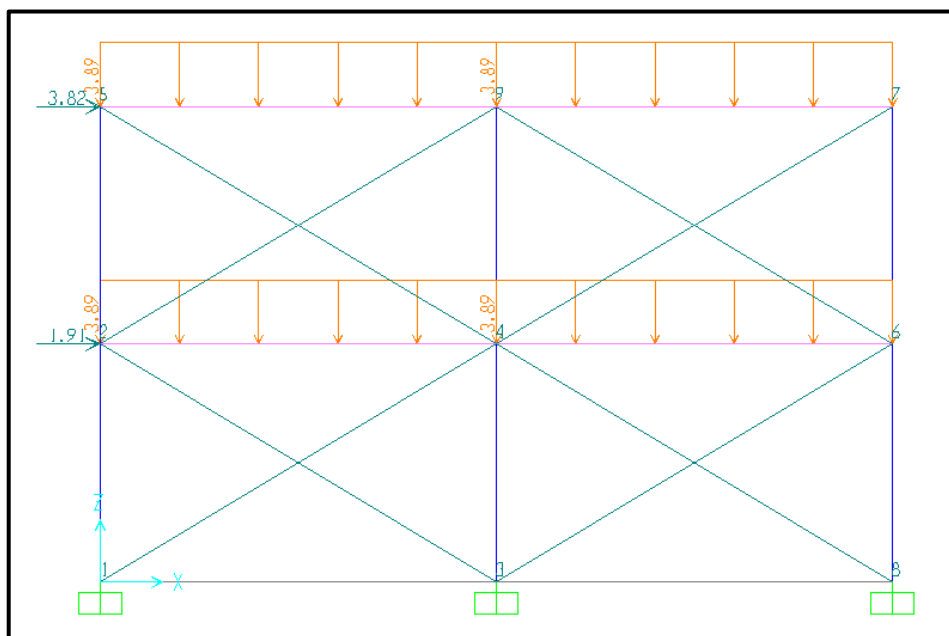


Tabla 32. Desplazamientos de los nudos pórtico B con reforzamiento.

Joint Displacements									
File View Options Format									
Units: As Noted					Joint Displacements				
	Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 cm	U2 cm	U3 cm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
▶	1	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	2	DEAD	LinStatic	0.173757	0	-0.016059	0	0.001623	0
	3	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	4	DEAD	LinStatic	0.176046	0	-0.039493	0	0.000622	0
	5	DEAD	LinStatic	0.356796	0	-0.024279	0	0.002335	0
	6	DEAD	LinStatic	0.179741	0	-0.020658	0	-0.000088	0
	7	DEAD	LinStatic	0.332387	0	-0.030431	0	-0.001433	0
	8	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	9	DEAD	LinStatic	0.342212	0	-0.059535	0	0.000334	0

De igual forma en la tabla 31 podemos ver desplazamientos de 0.978, 0.954 y 0.963 cm en los nudos del segundo piso del pórtico sin reforzamiento, en cambio en el pórtico modelado con el reforzamiento propuesto se observa desplazamientos de 0.357, 0.332 y 0.342 cm (Tabla 32) en los mismos nudos respectivamente, la reducción de los desplazamientos está alrededor de un 64 %, en cambio en los nudos del primer piso la disminución es de un 58%, en promedio en toda la estructura la reducción de los desplazamientos en los nudos es del 60%.

Además se analizó en el pórtico de dos pisos colocando los marcos contraventeados solo en el primer piso.

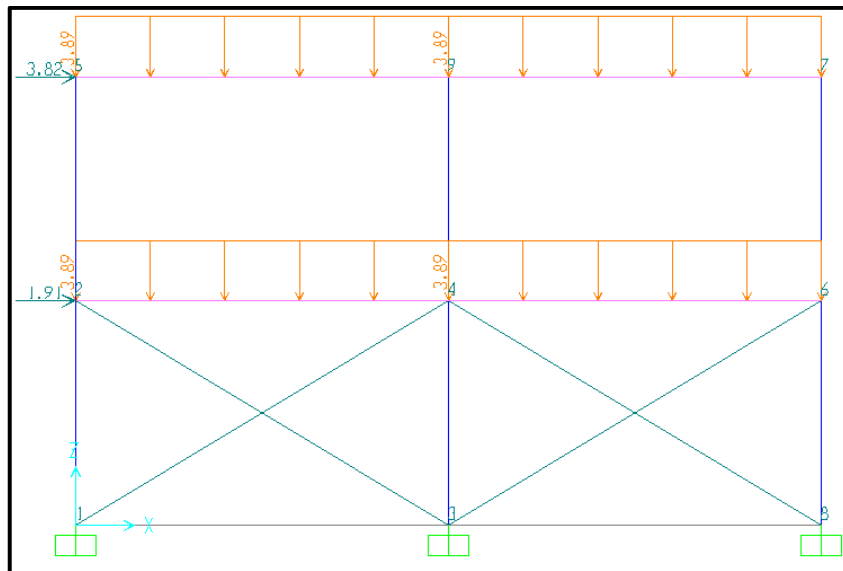


Tabla 33. Desplazamientos de los nudos pórtico B con reforzamiento solo en el primer piso.

Units: As Noted				Joint Displacements					
	Joint Text	Output Case Text	Case Type Text	U1 cm	U2 cm	U3 cm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
▶	1	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	2	DEAD	LinStatic	0.215306	0	-0.016127	0	0.00219	0
	3	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	4	DEAD	LinStatic	0.216917	0	-0.039599	0	0.001126	0
	5	DEAD	LinStatic	0.658184	0	-0.024427	0	0.003239	0
	6	DEAD	LinStatic	0.220843	0	-0.020482	0	0.000478	0
	7	DEAD	LinStatic	0.633664	0	-0.030209	0	-0.000528	0
	8	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	9	DEAD	LinStatic	0.643769	0	-0.059779	0	0.000943	0

La reducción de los desplazamientos de los nudos en promedio en toda la estructura es del 40%. Podemos concluir que la colocación de los marcos contraventeados de madera en el segundo piso es eficaz en un 50%

7.5.2 Diseño de los conectores metálicos utilizados en el sistema de reforzamiento propuesto

7.5.2.1 Cálculo Placas Metálicas y Tirafondos.

❖ Pórtico A.

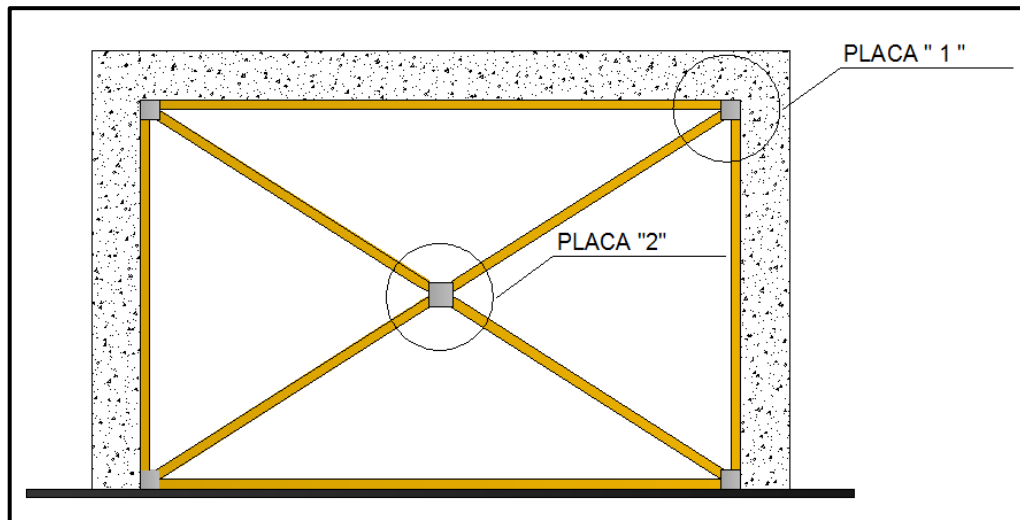


Figura 121. Pórtico A con el marco contraventeado de madera.

Luego del análisis en la modelación por la ruta Show Element Forces/Stresses/Frames podemos ver los diagramas de Axial de las diagonales.

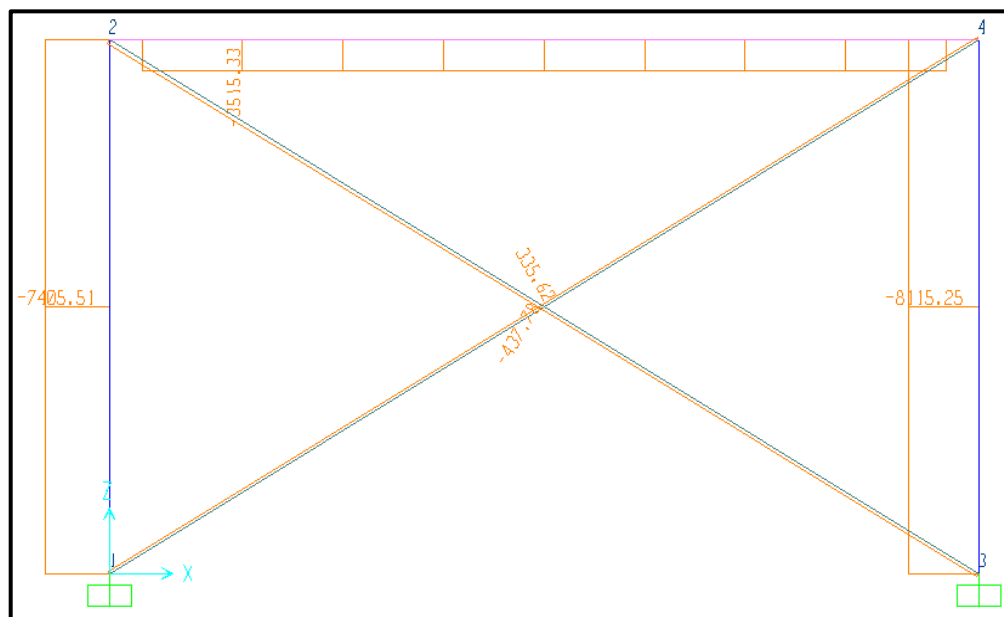
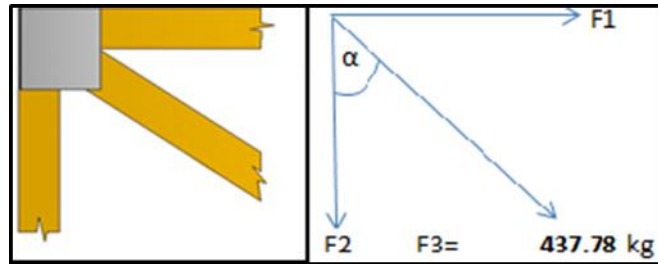


Figura 122. Pórtico A con reforzamiento. Cargas axiales.

✓ **Diseño Placa “1”.**

1. Bases de Cálculo.

- a) Se utilizará madera del grupo B (Eucalipto)
- b) Cargas actuantes: Carga máxima axial a compresión: 437.78 Kg perpendicular al grano de un elemento.



$$F1 = 437.78 \text{ kg} \cdot \text{seno } 59.04^\circ = 375.40 \text{ Kg}$$

$$F2 = 437.78 \text{ kg} \cdot \text{coseno } 59.04^\circ = 225.24 \text{ Kg}$$

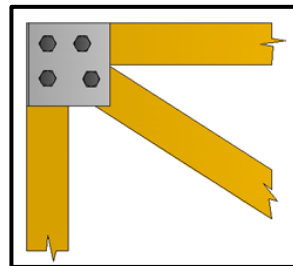
- c) Diámetro de los tirafondos: 9.50 mm.

2. Carga Admisible por tirafondo.

- a) Longitud del tirafondo $\ell = 50.8 \text{ mm}$.
- b) Para $\ell = 5 \text{ cm}$, $d = 0.95 \text{ cm}$, $\ell/d = 5.30$, Grupo B
- c) De la tabla 25 → $Q = 168 \text{ Kg}$; Unión con placa metálica $Q = 168 \cdot 1.25 = 210 \text{ Kg}$

3. Número de pernos.

- a) No. de pernos = $F1/Q \approx 2$
- b) No. de pernos = $F2/Q \approx 2$
- c) No. de pernos = $F3/Q \approx 2$



No será necesario reducir la carga admisible por efecto de grupo según lo indicado en la tabla 26.

4. Ubicación de pernos.

En base a lo mencionado en el apartado 7.4.3.6, espaciamientos mínimos, se los ubica como se observa en la figura 123.

a) $2d = 0.95 \times 2 = 1.90 \text{ cm}$

b) $4d = 0.95 \times 4 = 3.80 \text{ cm}$

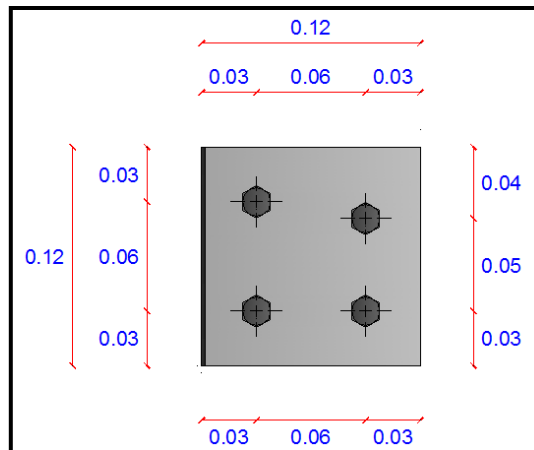


Figura 123. Placa Metálica de 120x50x120x2mm. Pórtico A.

5. Longitud de penetración del tirafondo.

a) Longitud de penetración $5.1 \text{ cm} \approx 5.6 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$

6. Espesor Placa Metálica.

Espesor en función de aplastamiento de la placa.

a) $P_{\text{máx}} = 437.78 \text{ Kg.}$

b) $\# \text{ pernos} = 2$

c) Diámetro del perno = 0.95 cm

d) Planos de cizalle = 2

e) $F_p = 3402 \text{ kg}$

$$e = \frac{P_{\text{máx}}}{\# \text{pernos} \times d \times \text{planos de cizalle} \times F_p} \geq 1 \text{ mm} \quad (21)$$

$$e = 1.00 \text{ mm}$$

Espesor en función de aplastamiento del perno.

- a) $P_{\max} = 437.78 \text{ Kg}$.
- b) # pernos = 2
- c) Diámetro del perno = 0.95 cm
- d) Planos de cizalle = 2
- e) $F_v = 912 \text{ kg}$

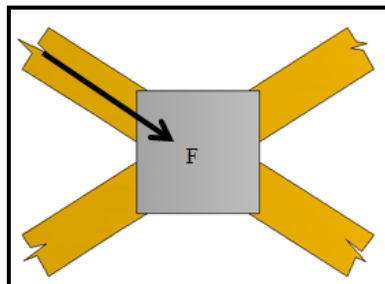
$$e = \frac{P_{\max}}{\# \text{pernos} \times d \times \text{planos de cizalle} \times F_v} \geq 1 \text{ mm} \quad (22)$$

$e = 1.26 \text{ mm}$, se asume 2 mm

✓ **Diseño Placa “2”.**

7. Bases de Cálculo.

- a) Se utilizará madera del grupo B (Eucalipto)
- b) Cargas actuantes: Carga máxima axial a compresión: $F = 437.78 \text{ Kg}$ perpendicular al grano de un elemento.



- c) Diámetro de los tirafondos: 9.50 mm.

8. Carga Admisible por tirafondo.

- d) Longitud del tirafondo $\ell = 50.8 \text{ mm}$.
- e) Para $\ell = 5 \text{ cm}$, $d = 0.95 \text{ cm}$, $\ell/d = 5.30$, Grupo B
- f) De la tabla 25 $\rightarrow Q = 168 \text{ Kg}$; Unión con placa metálica $Q = 168 \times 1.25 = 210 \text{ Kg}$

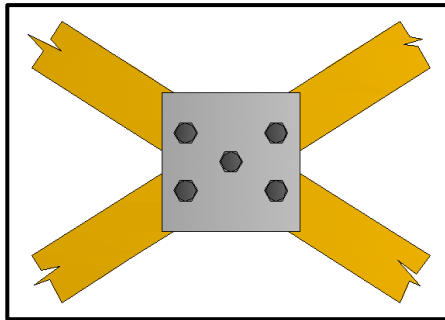
9. Número de pernos.

a) No. de pernos= $F/Q = 2.1 \approx 3$

Será necesario reducir la carga admisible por efecto de grupo.

- a) De la tabla 26 el factor de reducción para 3 pernos por línea es 0.94 para uniones con elementos laterales de acero
- b) La nueva carga admisible por perno es $0.94 \times 210 \text{ Kg} = 197.40 \text{ Kg}$.

No. de pernos= $437.78/197.40 \approx 3$.



10. Ubicación de pernos.

En base a lo mencionado en el apartado 7.4.3.6, espaciamientos mínimos, se los ubica como se observa en la figura 124.

- c) $2d = 0.95 \times 2 = 1.90 \text{ cm}$
- d) $4d = 0.95 \times 4 = 3.80 \text{ cm}$

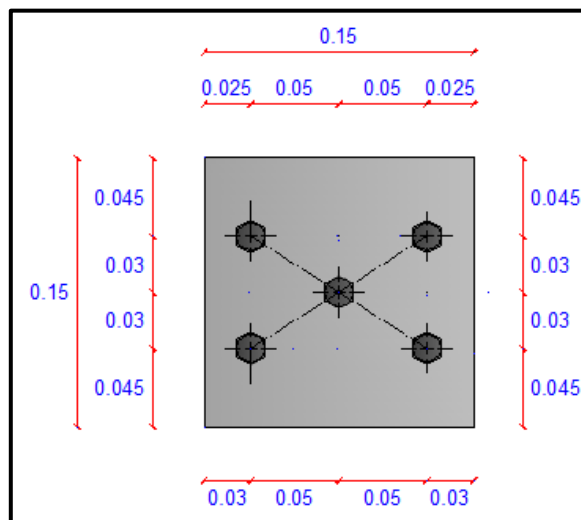


Figura 124. Placa Metálica de 150x150x2mm. Pórtico A.

11. Longitud de penetración del tirafondo.

b) Longitud de penetración 5.1 cm $\approx$ 5.6 cm $\rightarrow$ ok

12. Espesor Placa Metálica.

Espesor en función de aplastamiento de la placa.

f) $P_{\max} = 437.78$ Kg.

g) # pernos= 3

h) Diámetro del perno= 0.95 cm

i) Planos de cizalle= 1

j) $F_p = 3402$ kg

$$e = \frac{P_{\max}}{\# \text{pernos} \times d \times \text{planos de cizalle} \times F_p} \geq 1 \text{ mm} \quad (21)$$

$e = 1.00$ mm.

Espesor en función de aplastamiento del perno.

f) $P_{\max} = 437.78$ Kg.

g) # pernos= 3

h) Diámetro del perno= 0.95 cm

i) Planos de cizalle= 1

j) $F_v = 912$ kg

$$e = \frac{P_{\max}}{\# \text{pernos} \times d \times \text{planos de cizalle} \times F_v} \geq 1 \text{ mm} \quad (22)$$

$e = 1.70$ mm, **se asume 2 mm**

❖ Pórtico B.

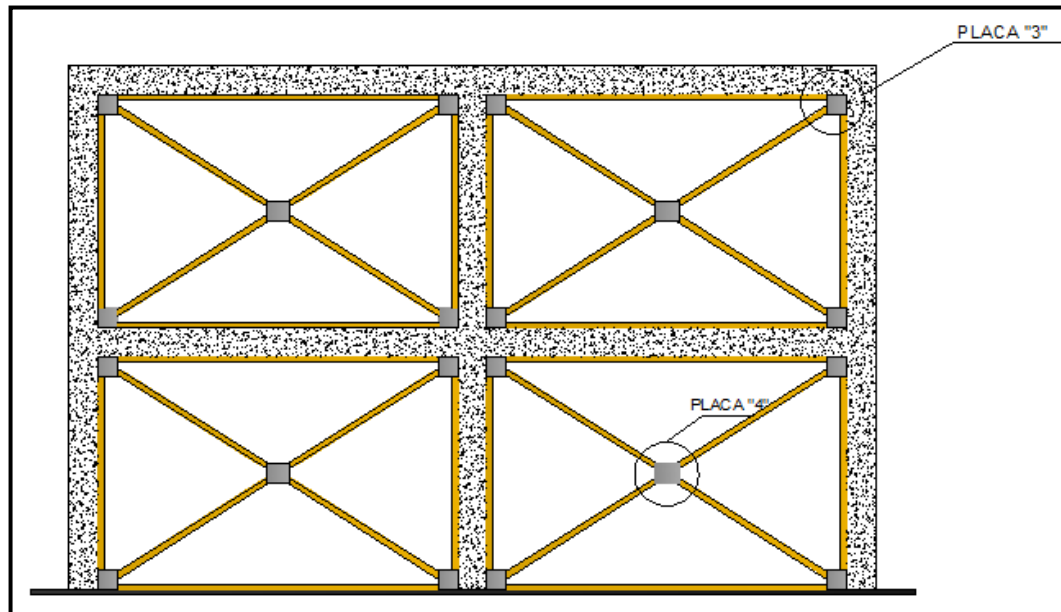


Figura 125. Pórtico B con el marco contraventeado de madera.

Luego del análisis en la modelación por la ruta Show Element Forces/Stresses/Frames podemos ver los diagramas de axial de las diagonales.

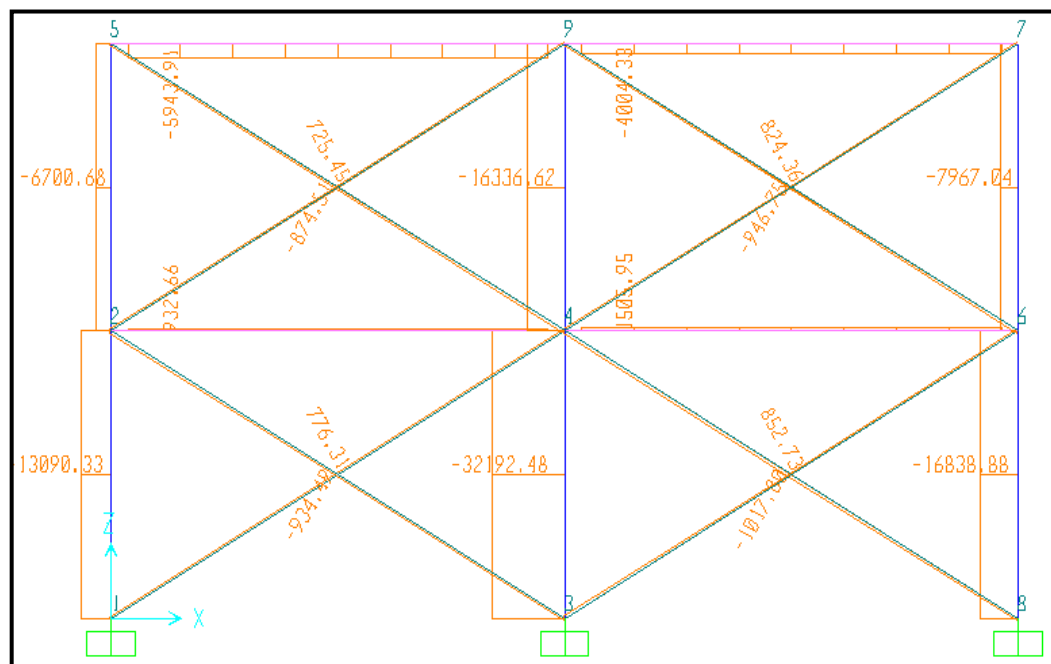
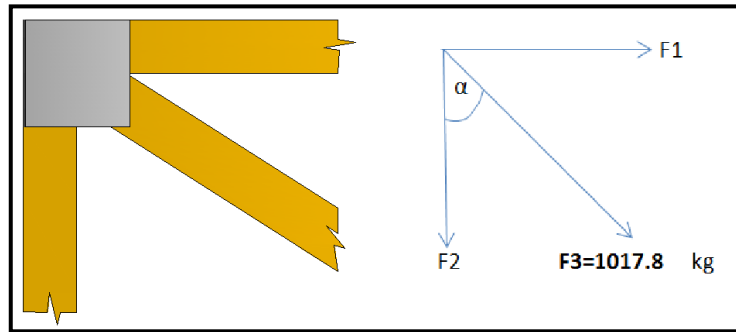


Figura 126. Pórtico B con reforzamiento. Cargas axiales.

✓ **Diseño Placa “3”.**

1. Bases de Cálculo.

- a) Se utilizará madera del grupo B (Eucalipto)
- b) Cargas actuantes: Carga máxima axial a compresión: 1017.80 Kg perpendicular al grano de un elemento.



$$F1 = 1017.80 \text{ kg} \cdot \text{seno } 59.04^\circ = 872.76 \text{ Kg}$$

$$F2 = 1017.80 \text{ kg} \cdot \text{coseno } 59.04^\circ = 523.65 \text{ Kg}$$

- c) Diámetro de los tirafondos: 12.70 mm.

2. Carga Admisible por tirafondo.

- a) Longitud del tirafondo $\ell = 50.8 \text{ mm}$.
- b) Para $\ell = 5 \text{ cm}$, $d = 1.27 \text{ cm}$, $\ell/d = 3.90$, Grupo B
- c) De la tabla 25 $\rightarrow Q = 168 \text{ Kg}$; Unión con placa metálica $Q = 195 \cdot 1.25 = 243.75 \text{ Kg}$

3. Número de pernos.

- a) No. de pernos $= F1/Q \approx 4$
- b) No. de pernos $= F2/Q \approx 3$
- c) No. de pernos $= F3/Q \approx 4$

Será necesario reducir la carga admisible por efecto de grupo según lo indicado en la tabla 26. De la tabla 26 el factor de reducción para 3 pernos por línea es 0.94 y 4 pernos por línea es 0.88 para uniones con elementos laterales de acero

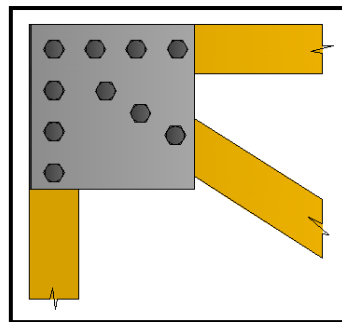
d) La nueva carga admisible por perno para F1 es $0.88 \times 243.75 \text{ Kg} = 214.50 \text{ Kg}$.

$$\text{No. de pernos} = 872.76 / 214.50 \approx 4.$$

e) La nueva carga admisible por perno para F2 es $0.94 \times 243.75 \text{ Kg} = 229.125 \text{ Kg}$.

$$\text{No. de pernos} = 523.65 / 229.125 \approx 3.$$

Sin embargo se asume igualmente 4 tirafondos, debido a que este lado se conectará a la columna (Detalle 3).



4. Ubicación de pernos.

En base a lo mencionado en el apartado 7.4.3.6, espaciamientos mínimos, se los ubica como se observa en la figura 123.

a) $2d = 1.27 \times 2 = 2.5 \text{ cm}$

b) $4d = 1.27 \times 4 = 5.0 \text{ cm}$

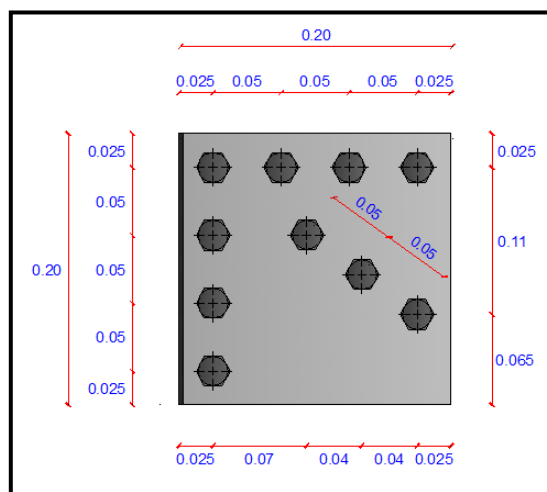


Figura 127. Placa Metálica de 200x50x200x2mm. Pórtico B

5. Longitud de penetración del tirafondo.

- a) Longitud de penetración 5.1 cm $\approx$ 5.6 cm $\rightarrow$ ok

6. Espesor Placa Metálica.

Espesor en función de aplastamiento de la placa.

- a) $P_{\max} = 1017.80$ Kg.
- b) # pernos = 4
- c) Diámetro del perno = 1.27 cm
- d) Planos de cizalle = 2
- e) $F_p = 3402$ kg

$$e = \frac{P_{\max}}{\# \text{pernos} \times d \times \text{planos de cizalle} \times F_p} \geq 1 \text{ mm} \quad (21)$$

$$e = 1.0 \text{ mm}$$

Espesor en función de aplastamiento del perno.

- a) $P_{\max} = 1017.80$ Kg.
- b) # pernos = 4
- c) Diámetro del perno = 1.27 cm
- d) Planos de cizalle = 2
- e) $F_v = 912$ kg

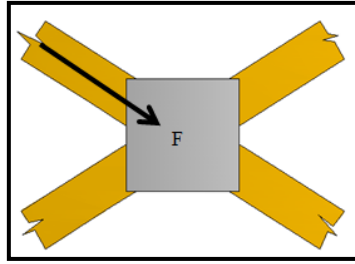
$$e = \frac{P_{\max}}{\# \text{pernos} \times d \times \text{planos de cizalle} \times F_v} \geq 1 \text{ mm} \quad (22)$$

$$e = 1.20 \text{ mm, se asume } 2 \text{ mm}$$

✓ Diseño Placa “4”.

1. Bases de Cálculo.

- a) Se utilizará madera del grupo B (Eucalipto)
- b) Cargas actuantes: Carga máxima axial a compresión: $F = 1017.80$ Kg perpendicular al grano de un elemento.



c) Diámetro de los tirafondos: 1.27 cm.

2. Carga Admisible por tirafondo.

a) Longitud del tirafondo $\ell = 50.8 \text{ mm}$.

b) Para $\ell = 5 \text{ cm}$, $d = 1.27 \text{ cm}$, $\ell/d = 3.90$, Grupo B

c) De la tabla 25 $\rightarrow Q = 168 \text{ Kg}$; Unión con placa metálica $Q = 195 \times 1.25 = 243.75 \text{ Kg}$

3. Número de pernos.

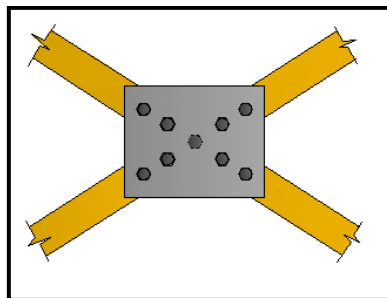
a) No. de pernos $= F/Q = 4.17$

Será necesario reducir la carga admisible por efecto de grupo.

a) De la tabla 26 el factor de reducción para 5 pernos por línea es 0.80 para uniones con elementos laterales de acero

b) La nueva carga admisible por perno es $0.82 \times 243.75 \text{ Kg} = 199.88 \text{ Kg}$.

No. de pernos $= 1017.80/199.88 \approx 5$.



4. Ubicación de pernos.

En base a lo mencionado en el apartado 7.4.3.6, espaciamientos mínimos, se los ubica como se observa en la figura 124.

a) $2d = 1.27 \times 2 = 2.5 \text{ cm}$

b) $4d = 1.27 \times 4 = 5.0 \text{ cm}$

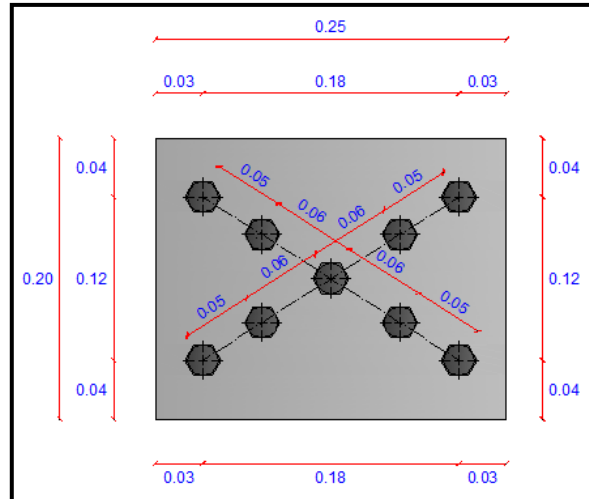


Figura 128. Placa Metálica de 250x200x2mm. Pórtico B.

5. Longitud de penetración del tirafondo.

- a) Longitud de penetración 5.1 cm $\approx$ 5.6 cm $\rightarrow$ ok

6. Espesor Placa Metálica.

Espesor en función de aplastamiento de la placa.

- a) $P_{\max} = 1017.80$ Kg.
- b) # pernos= 5
- c) Diámetro del perno= 1.27 cm
- d) Planos de cizalle= 1
- e) $F_p = 3402$ kg

$$e = \frac{P_{\max}}{\# \text{pernos} \times d \times \text{planos de cizalle} \times F_p} \geq 1 \text{ mm} \quad (21)$$

$$e = 1.00 \text{ mm.}$$

Espesor en función de aplastamiento del perno.

- a) $P_{\max} = 1017.80$ Kg.
- b) # pernos= 5
- c) Diámetro del perno= 1.27 cm
- d) Planos de cizalle= 1
- e) $F_v = 912$ kg

$$e = \frac{P_{\text{máx}}}{\# \text{pernos} \times d \times \text{planos de cizalle} \times F_v} \geq 1 \text{ mm} \quad (22)$$

$e = 1.80 \text{ mm}$, se asume **2 mm**

7.5.2.2 Detalles Constructivos Sistema de Reforzamiento Propuesto.

En los anexos 19 y 20 se adjuntan los detalles constructivos de los marcos contraventeados de madera de eucalipto de los pórticos A y B.

7.5.2.3 Recomendaciones Generales del Sistema de Reforzamiento.

- Ubicar simétricamente los marcos contraventeados en los diferentes pórticos de la vivienda.
- En el caso de viviendas de dos plantas situar los marcos contraventeados de madera de eucalipto simétricamente en los dos pisos.
- Realizar ensayos del eucalipto para comprobar los valores enunciados en el apartado 7.4.2.4 de las propiedades utilizadas en la modelación.
- La madera debe estar completamente seca al momento de utilizarla para evitar que se deforme con el tiempo.
- Recubrir el eucalipto con un preservante como maderol para prevenir el ataque de polilla, insectos, hongos, etc.

7.5.3 Presupuesto del Sistema de Reforzamiento Planteado.

Uno de los impedimentos para que la ciudadanía no opte por el reforzamiento de su vivienda es el alto costo que esto implica, utilizando materiales como acero, fibras de carbono o de vidrio, aunque estos materiales son muy ventajosos en el comportamiento estructural su costo es relativamente alto.

En cambio el sistema de reforzamiento propuesto con marcos contraventeados de madera de eucalipto tiene las ventajas de ser económico, resistencia considerable de la madera y su fácil instalación.

En la figura 129, se muestra un análisis tentativo del costo aproximado que conllevaría realizar un marco contraventeado. Para el pórtico B (dos pisos) modelado en el presente trabajo, el marco contraventeado de madera de eucalipto tiene un valor de 100.98 dólares que es bajo con respecto a otros sistemas de reforzamiento.

El valor va depender básicamente de variables como: distancia entre columnas, altura de entrepiso, número de pisos, propiedades del hormigón, dimensiones de los elementos estructurales y a las cargas que está sometida la estructura.

El costo de los marcos contraventeados de madera será diferente en cada vivienda porque cada una tiene distintas características estructurales y se determinará luego del análisis estructural que se realice a las mismas.

En el anexo 21 del trabajo se presenta el análisis de precios unitarios de cada rubro, cada una incluye materiales, mano de obra, y herramientas. Los costos más representativos en cuanto a materiales es la madera y la placa metálica, esta última dependerá del diseño previo.

PRESUPUESTO TOTAL MARCO CONTRAVENTEADO DE MADERA (EUCALIPTO)				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
Suministro y Instalación de Alfajías de madera de Eucalipto	m	21	3.13	65.63
Suministro de placas metálicas (Tol de 2mm)	m2	0.25	76.09	19.02
Instalación -Tirafondo 12.7 x 50.8 mm	U	44	0.13	5.75
Instalación -Pernos expansivos 12.7 x 69.8 mm	U	16	0.66	10.58
			TOTAL=	\$ 100.98

Figura 129. Costo Marco Contraventeado de Madera-Pórtico B.

El plan de acción que se seguirá para cumplir los objetivos es el siguiente:

PLAN DE ACCIÓN				
FASES	METAS	ACTIVIDADES	RECURSOS	RESULTADOS
Análisis estructural de pórticos con marcos contraventeados de madera	Seguridad en las estructuras	Modelación en el programa SAP 2000, definiendo secciones, propiedades de los materiales, cargas que actúan sobre la edificación y condiciones de su comportamiento estructural	Tecnológicos Humanos	Estructuras mas rígidas y estables.
Diseño de conectores metálicos	Conexión rígida entre elementos de madera.	Definir el tipo y dimensiones de los conectores metálicos. Dibujo de detalles constructivos de las conexiones del marco contraventeados de madera	Tecnológicos Humanos	Sistemas de reforzamientos nada complejos de realizar
Elaboración del presupuesto	Costo económico del sistema de reforzamiento con marcos contraventeados	Elaboración del presupuesto del sistema de reforzamiento del pórtico A y B	Tecnológicos Humanos	Sistema de reforzamiento económico

Figura 130. Plan de acción de la Propuesta.

El tiempo estimado para el reforzamiento de las viviendas de hormigón armado vulnerables en el barrio La Libertad es de 1 año aproximadamente iniciando con las 64 viviendas más vulnerables (49%), seguidamente de las 66 viviendas medianamente vulnerables (50%).

7.6 DISEÑO ORGANIZACIONAL.

El sistema de reforzamiento desarrollado en esta investigación se podrá llevar a cabo con la colaboración de tres entidades públicas, la primera la Universidad Nacional de Chimborazo con datos de vulnerabilidad sísmica del barrio, la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo tendrá la responsabilidad de socializar con la ciudadanía para la apertura del proyecto y con la ayuda del Departamento de Planificación de la Municipalidad de Riobamba se podrá realizar planes de reforzamiento estructural de las viviendas vulnerables del barrio La Libertad ante movimientos sísmicos.

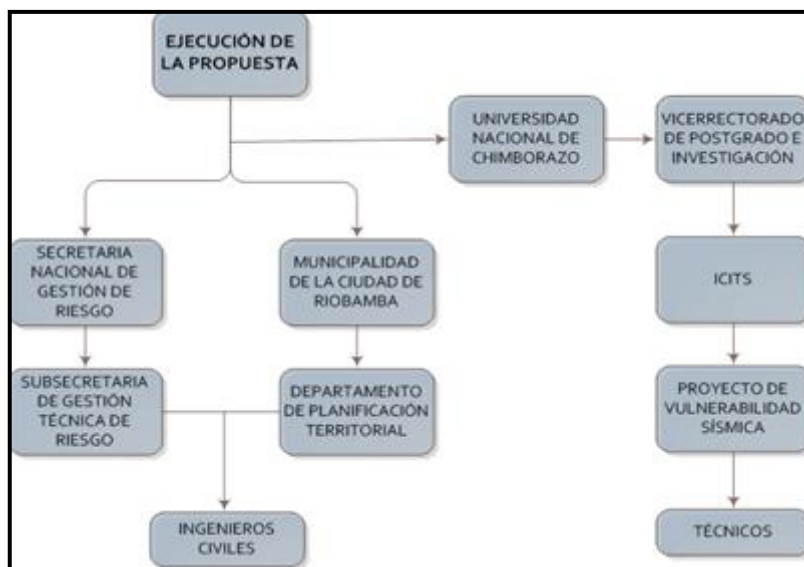


Figura 131. Diseño organizacional de desarrollo de la propuesta.

7.7 MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.

Tabla 34. Monitoreo y Evaluación de la Propuesta

MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	
PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
¿Qué evaluar?	Los desplazamientos laterales.
¿Por qué evaluar?	Porque es necesario conocer los desplazamientos generados por las dos estructuras, tanto el modelo con reforzamiento con marco contraventeados de madera como la estructura que no lo tiene.
¿Para qué evaluar?	Para identificar y comparar resultados obtenidos en los desplazamientos de las estructuras y que a través de estos resultados se elija la mejor opción.
¿Quién evalúa?	La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos junto con la municipalidad de la ciudad con la asesoría técnica de la Universidad Nacional de Chimborazo.
¿Cuáles son los problemas?	El poco conocimiento de los moradores ante el peligro sísmico inminente en el que se encuentran y de sistemas de reforzamiento de estructuras vulnerables.
¿Cómo se pueden enfrentar?	Mediante charlas sobre la importancia del reforzamiento estructural y ventajas del reforzamiento con marcos contraventeados de madera
¿Cuáles son los logros?	Mejorar el comportamiento sísmico de las viviendas y a su vez lograr salvaguardar la vida de las personas ante un evento sísmico
¿Cómo se puede consolidar?	Creando estrategias óptimas para que la mayoría de personas accedan a este sistema de reforzamiento.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- 1) AGUIAR Roberto, BOLAÑOS Danilo. (2006), “Evaluación Rápida de la vulnerabilidad sísmica en edificios de Hormigón Armado”, XIX Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural. Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador.
- 2) AGUIAR Roberto, BARBAT Alex, y HANGANU., (1997), “Análisis y clasificación de los Índices de Daño Sísmico en estructuras de Hormigón Armado”, Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 2(2), 93-122, Quito, Ecuador.
- 3) BARAHONA Diego (2009), Tesis: “Requisitos mínimos de cálculos para diseño sismo-resistente de estructuras de edificación de concreto reforzado en la ciudad de Riobamba”. Ambato-Ecuador.
- 4) BARONA Marcelo (2010), Tesis: “Vulnerabilidad sísmica del centro histórico de Sangolquí” Quito-Ecuador.
- 5) CHAUCA Diego, TENELEMA Blanca (2011), Tesis: “Evaluación Aproximada de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones residenciales de Hormigón Armado del barrio El Esfuerzo del Cantón Riobamba”. Riobamba-Ecuador.
- 6) CPE INEN 5:2001 “Código Ecuatoriano de la Construcción. Requisitos Generales de Diseño. Capítulo 12”.
- 7) PAGUAY José, TRUJILLO Manuel (2010), Tesis: “Evaluación de la construcción informal de edificaciones en zonas urbano marginales de la ciudad de Riobamba”. Riobamba- Ecuador.
- 8) PADT (1982). Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.
- 9) QUINTERO Nayriuka, ROJAS Jonathan (2011), Tesis: “ Niveles de vulnerabilidad y riesgo sísmico en edificaciones de la parroquia Catedral de Caracas”
- 10) SECRETARÍA NACIONAL DE GESTION DE RIESGOS (2012), Propuesta Metodológica “Análisis de Vulnerabilidades a Nivel Municipal”.

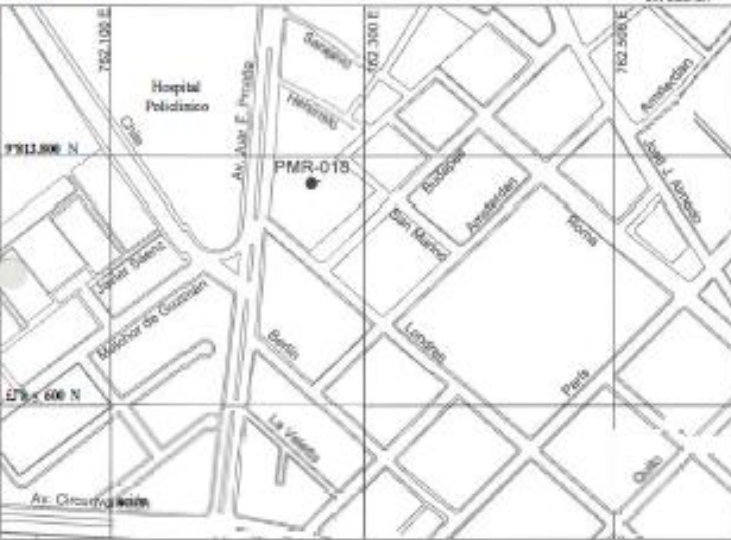
CAPÍTULO VIII

ANEXOS

8.1 Anexo 1. Placa EMAPAR PMR-019

ESTUDIOS DE LOS PLANES MAESTROS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA		
MONOGRAFÍA DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL		
PROYECTO:	FECHA:	VERTICE:
ESTUDIOS DE LOS PLANES MAESTROS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA	MAY.-2008	PMR-019
PROVINCIA:	CANTÓN:	PARROQUIA:
CHIMBORAZO	RIOBAMBA	VELOS
COORDENADAS UTM		DATUM: SGS-84
NORTE: 9'813.517,944	ESTE: 761.902,701	ELEVACIÓN: 2744.490 m. (G)
COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
LATITUD: 1° 41' 08.60731"S	LONGITUD: 78° 38' 45.60056"W	
DESCRIPCIÓN:		
Placa de bronce con la siguiente inscripción: EMAPAR-ACSAM PMR-019 2008		
UBICACIÓN:		FOTOGRAFÍAS
		PLANTA: 
REFERENCIAS DE UBICACIÓN: Partiendo del redondeo donde se encuentra ubicado el monumento a Mercedes de Jesús Molina Ayala (Av. Juan F. Proaño y Av. 9 de Octubre), se sigue por la Av. 9 de Octubre una distancia de 279 m hacia el oeste, en donde se encuentra ubicada la placa.		PANORÁMICA: 
OBSERVACIONES: La placa se encuentra empotrada en la vereda de la Av. 9 de Octubre.		
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	FISCALIZADOR:
ACSAM CONSULTORES	EMAPAR	PRINCON

8.2 Anexo 2. Placa EMAPAR PMR-018

 ESTUDIOS DE LOS PLANES MAESTROS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA 		
MONOGRAFÍA DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL		
PROYECTO:	FECHA:	VERTICE:
ESTUDIOS DE LOS PLANES MAESTROS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA	HAY.-2008	P1-R-018
PROVINCIA:	CANTÓN:	PARROQUIA:
CHIMBORAZO	RIOBAMBA	VELOZ
COORDENADAS UTM		DATUM: WGS-84
NORTE 9'813,778,325	ESTE 762.258,098	ELEVACIÓN 2.749,318 m. (G)
COORDENADAS GEOGRAFICAS		
LATITUD:	LONGITUD:	
1°41'00.11992"S	78°38'34.11768"W	
DESCRIPCIÓN:		
Placa de bronce con la siguiente inscripción: EMAPAR-ACSAM PMR-018 2008		
UBICACIÓN:		
		FOTOGRAFÍAS PLANTA:  PANORÁMICA: 
REFERENCIAS DE UBICACIÓN:		
La placa se encuentra en el edificio de la EMAPAR ubicado en la calle Londres y Av. Juan Félix Proaño.		
OBSERVACIONES:		
La placa se encuentra empotrada en la losa de la terraza del edificio de EMAPAR.		
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	FISCALIZADOR:
ACSAM CONSULTORES	EMAPAR	PRINCON

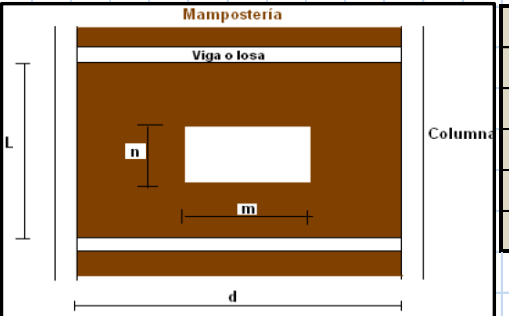
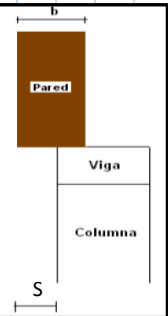
8.3 Anexo 3. Puntos Levantamiento Topográfico (Medio Magnético)

8.4 Anexo 4. Levantamiento Planimétrico y Predial. Barrio La Libertad

8.5 Anexo 5. Ficha de Observación Metodología SNGR.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO 		
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS EN BARRIOS URBANO-MARGINALES DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA	HOJA: 1 / 1
FICHA DE CAMPO METODOLOGÍA SNGR		
VARIABLE DE VULNERABILIDAD	INDICADORES CONSIDERADOS	[x]
Sistema Estructural	Hormigón Armado	
	Estructura Metálica	
	Estructura de Madera	
	Estructura de Caña	
	Estructura de Pared Portante	
	Mixta madera/ Hormigón	
	Mixta metálica/ Hormigón	
Tipo de Material en Paredes	Pared de Ladrillo	
	Pared de Bloque	
	Pared de Piedra	
	Pared de Adobe	
	Pared de Tapial / Bahareque / Madera	
Tipo de Cubierta	Cubierta Metálica	
	Losa de Hormigón Armado	
	Viga de Madera y Zinc	
	Caña y Zinc	
	Viga de Madera y Teja	
Sistema de Entrepiso	Losa de Hormigón Armado	
	Vigas y Entramado de Madera	
	Entramado Madera/ Caña	
	Entramado Metálico	
	Entramado Hormigón, Metálico	
Número de Pisos	1 piso	
	2 pisos	
	3 pisos	
	4 pisos	
	5 pisos o más	
Año de Construcción	Antes de 1970	
	Entre 1971 y 1980	
	Entre 1981 y 1990	
	Entre 1991 y 2010	
Estado de Conservación	Buena	
	Aceptable	
	Regular	
	Malo	
Características de suelo bajo la edificación	Firme, Seco	
	Inundable	
	Ciénaga	
	Húmedo, Blando, Relleno	
Topografía del Sitio	A nivel, Terreno Plano	
	Bajo Nivel Calzada	
	Sobre Nivel Calzada	
	Escarpe Positivo o Negativo	
Forma de construcción	Regular	
	Irregular	
	Irregularidad Severa	
BARRIO:		FECHA:
DIRECCIÓN:		CÓDIGO:

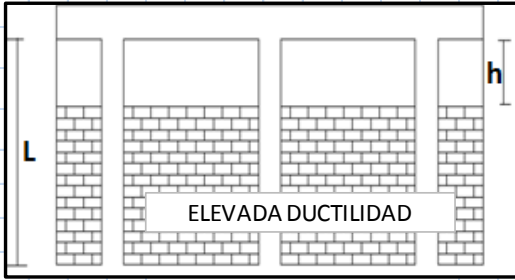
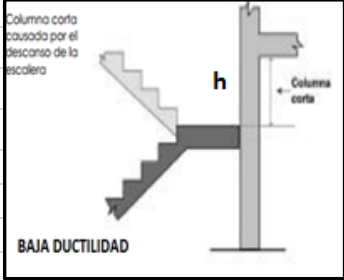
8.6 Anexo 6. Ficha de Observación Metodología Italiana.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO 																		
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS EN BARRIOS URBANO-MARGINALES DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA	HOJA: 1/2																
FICHA DE CAMPO METODOLOGÍA ITALIANA																		
1. ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE:																		
		[m]																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">MAMPOSTERÍA</th> </tr> <tr> <td>LADRILLO</td> <td>BLOQUE</td> <td>OTRO</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Calidad del Elemento</td> <td>REGULAR</td> <td>BUENA</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Calidad Mortero</td> <td>REGULAR</td> <td>BUENA</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>		MAMPOSTERÍA			LADRILLO	BLOQUE	OTRO	Calidad del Elemento	REGULAR	BUENA			Calidad Mortero	REGULAR	BUENA			
MAMPOSTERÍA																		
LADRILLO	BLOQUE	OTRO																
Calidad del Elemento	REGULAR	BUENA																
Calidad Mortero	REGULAR	BUENA																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="3">Distancia entre la mampostería en su parte superior y la viga.</td> <td>≤ 1 cm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>≤ 3 cm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>> 3 cm</td> <td></td> </tr> </table>		Distancia entre la mampostería en su parte superior y la viga.	≤ 1 cm		≤ 3 cm		> 3 cm											
Distancia entre la mampostería en su parte superior y la viga.	≤ 1 cm																	
	≤ 3 cm																	
	> 3 cm																	
2. CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE:																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2">EXISTE ZONAS DE HORMIGUERO?</td> <td>SI</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td></td> </tr> </table>	EXISTE ZONAS DE HORMIGUERO?	SI		NO		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2">ACERO DE REFUERZO CORRUGADO?</td> <td>SI</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td></td> </tr> </table>	ACERO DE REFUERZO CORRUGADO?	SI		NO		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2">ACERO DE REFUERZO VISIBLE OXIDADO?</td> <td>SI</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td></td> </tr> </table>	ACERO DE REFUERZO VISIBLE OXIDADO?	SI		NO		
EXISTE ZONAS DE HORMIGUERO?		SI																
	NO																	
ACERO DE REFUERZO CORRUGADO?	SI																	
	NO																	
ACERO DE REFUERZO VISIBLE OXIDADO?	SI																	
	NO																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2">MODALIDAD CONSTRUCTIVA</td> <td>FORMAL</td> <td></td> </tr> <tr> <td>INFORMAL</td> <td></td> </tr> </table>		MODALIDAD CONSTRUCTIVA	FORMAL		INFORMAL		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2">JUNTAS CONTRUCCIÓN MAL EJECUTADAS?</td> <td>SI</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td></td> </tr> </table>	JUNTAS CONTRUCCIÓN MAL EJECUTADAS?	SI		NO							
MODALIDAD CONSTRUCTIVA	FORMAL																	
	INFORMAL																	
JUNTAS CONTRUCCIÓN MAL EJECUTADAS?	SI																	
	NO																	
4. POSICIÓN DEL EDIFICIO Y CIMENTACIÓN:																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>PENDIENTE TERRENO</td> <td><15%</td> <td><30%</td> <td>> 30%</td> <td>> 60%</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	PENDIENTE TERRENO	<15%	<30%	> 30%	> 60%						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>VIVIENDA PRÓXIMO A COLINA?</td> <td>SI</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>NO</td> <td></td> </tr> </table>		VIVIENDA PRÓXIMO A COLINA?	SI			NO	
PENDIENTE TERRENO	<15%	<30%	> 30%	> 60%														
VIVIENDA PRÓXIMO A COLINA?	SI																	
	NO																	
5. LOSAS																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>BIEN CONECTADA A ELEMENTOS VERTICALES</td> <td>SI</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>NO</td> <td></td> </tr> </table>		BIEN CONECTADA A ELEMENTOS VERTICALES	SI			NO												
BIEN CONECTADA A ELEMENTOS VERTICALES	SI																	
	NO																	
BARRIO:		FECHA:																
DIRECCIÓN:		CÓDIGO:																



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS EN BARRIOS URBANO-MARGINALES DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA		HOJA:	2/2
	FICHA DE CAMPO METODOLOGÍA ITALIANA			
7. CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN:				
PISO INFERIOR ES MÁS FUERTE QUE EL PISO SUPERIOR EN TODOS LOS PISOS?		SI		
		NO		
PRIMER PISO TIENE MAYOR ALTURA QUE LOS SUPERIORES?		SI		
		NO		
INTERRUPCIÓN DE COLUMNAS?		SI		
		NO		
VARIACIÓN PISO INFERIOR MENOS RÍGIDO A PISOS SUPERIORES MÁS RÍGIDOS?		SI		
		NO		
8. CONEXIÓN ELEMENTOS CRÍTICOS:				
CALIDAD DE LA UNIÓN VIGA-COLUMNA		BUENA	MEDIOCRE	DEFICIENTE
9. ELEMENTOS CON BAJA DUCTILIDAD:				
				
		[m]		
L=				
h=				
10. ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES:				
ELEMENTOS EXTERNOS SON ESTABLES?		SI		
		NO		
ELEMENTOS EXTERNOS CON ANCLAJES O CONEXIONES EFICIENTES?		SI		
		NO		
11. ESTADO CONSERVACIÓN:				
COLUMNAS, VIGAS, LOSAS Y MAMPOSTERÍAS SE ENCUENTRAN FISURADAS?		SI		
		NO		
MÁS DEL 30% DE ELEMENTOS PRINCIPALES SE ENCUENTRAN FISURADOS?		SI		
		NO		
OBSERVACIÓN:				

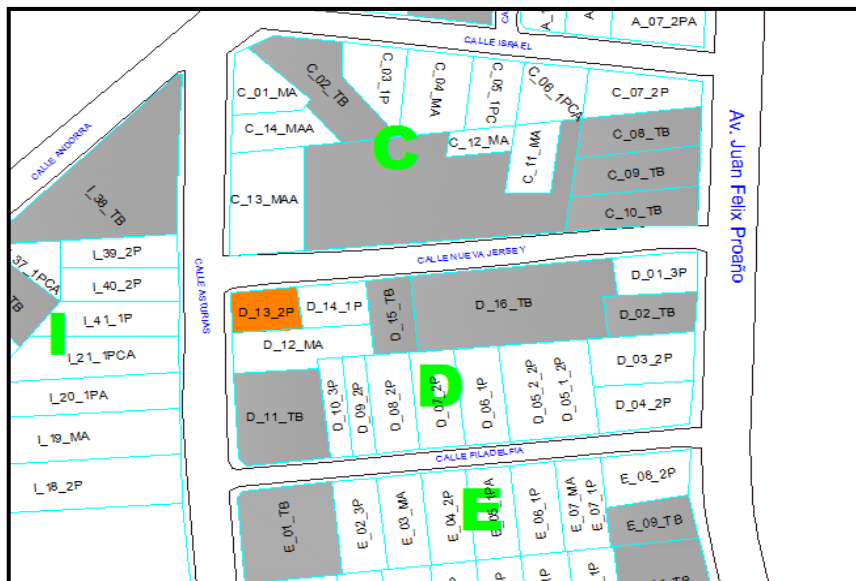
8.7 Anexo 7. Ficha de Campo Geometría de Vivienda.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO 											
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS EN BARRIOS URBANO-MARGINALES DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA										HOJA: 1/1
ELEMENTO	[cm]	DATOS DE LECTURA ENSAYO CON ESCLERÓMETRO									
LOSA:											
COLUMNA:											
GEOMETRÍA VIVIENDA											
OBSERVACIÓN:											
BARRIO:								FECHA:			
DIRECCIÓN:								CÓDIGO:			

8.8 Anexo 8. Geometría vivienda D_13_2P.

8.9 Anexo 9. Ficha de Ubicación vivienda D_13_2P.

CROQUIS:



OBSERVACIONES:

El propietario brindo la facilidad para el levantamiento de información y realización del ensayo con el esclerómetro en los elementos estructurales.

ANEXOS:

1. FOTOGRAFÍAS DE LA VIVIENDA.



FACHADA PRINCIPAL



FACHADA LATERAL-PRINCIPAL

FOTOS DE DETALLES SOBRESALIENTES DE LA VIVIENDA.



Terraza de la vivienda



Hormiguno, acero sin recubrimiento y separación entre mampostería –viga.

8.10 Anexo 10. Ficha de Ensayo de esclerómetro vivienda D_13_2P.

INSTITUCION:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO				
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS EN BARRIOS URBANO MARGINALES DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA				
RESPONSABLE	LUIS BUÑAY FLOR TENELEMA EDITH CÁCERES	NORMAS:	ASTM C805-08		
		ELEMENTO DE ENSAYO	Losa	ANGULO DE DISPARO:	α -90°
			Columna		0°
UBICACIÓN:	CALLE NUEVA JERSEY Y ASTURIAS		NUMERO DE DATOS:		10.00
			CÓDIGO	D_13_2P	
BARRIO:	LA LIBERTAD	PROPIETARIO:		RAFAEL TIXI	
No	DATO DE LECTURA				
	COLUMNA (20x25) cm		LOSA (20) cm		
1	28		26		
2	28		24		
3	27		24		
4	26		26		
5	25		26		
6	26		25		
7	28		24		
8	27		23		
9	26		25		
10	27		24		
PROMEDIO	26.80		24.70		
RESISTENCIA fc (kg/cm2)	163.60		177.00		

8.11 Anexo 11. Resultados del Índice de Vulnerabilidad Sísmica aplicando la metodología de la SNGR.

