



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

**GUÍA DE APUNTALAMIENTO EN MADERA PARA EDIFICACIONES DE
HORMIGÓN ARMADO ORIENTADA A SITUACIONES DE EMERGENCIA
POST-TERREMOTOS EN ECUADOR**

**AUTORES: PROAÑO MANOSALVAS, ERICK DAVID
YÁNEZ GAMBOA, FRANCISCO JESÚS**

DIRECTORA: ING. HARO BÁEZ, ANA GABRIELA PhD.

SANGOLQUÍ

2020



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“GUÍA DE APUNTALAMIENTO EN MADERA PARA EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO ORIENTADA A SITUACIONES DE EMERGENCIA POST-TERREMOTOS EN ECUADOR”*** fue realizado por los señores ***Proaño Manosalvas, Erick David y Yánez Gamboa, Francisco Jesús*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de enero de 2020

Atentamente,

Ing. Haro Báez, Ana Gabriela PhD.

C.C. 1713500302



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Proaño Manosalvas, Erick David* y *Yáñez Gamboa, Francisco Jesús*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "*Guía de apuntalamiento en madera para edificaciones de hormigón armado orientada a situaciones de emergencia post-terremotos en Ecuador*" es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 10 de enero de 2020

Proaño Manosalvas, Erick David
C.C. 1715507776

Yáñez Gamboa, Francisco Jesús
C.C. 1804308201



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

*Nosotros, Proaño Manosalvas, Erick David y Yánez Gamboa, Francisco Jesús, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Guía de apuntalamiento en madera para edificaciones de hormigón armado orientada a situaciones de emergencia post-terremotos en Ecuador en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.***

Sangolquí, 10 de enero de 2020

Proaño Manosalvas, Erick David
C.C. 1715507776

Yánez Gamboa, Francisco Jesús
C.C. 1804308201

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado principalmente a Dios por ser el pilar fundamental de lo que soy hoy por hoy; por su palabra y cuidado; nunca me cansaré de agradecerle por todo. A mis padres por su amor, sacrificio y esfuerzo realizado para que culmine con este objetivo personal, por la confianza plena puesta en mi y porque jamás me faltó su comprensión, cariño y amor. A mis abuelitos Jorge y Cecilia por el cuidado y desinteresado favor para velar por mi cuando no tuve cerca a mis padres, por sus consejos, por el alimento brindado y por la estadía durante mi carrera universitaria. A mis hermanas y mis sobrinas por ser mi motivo de lucha y darles el ejemplo vivo, que para llegar a culminar objetivos se necesita pasión, fuerza, dedicación y responsabilidad. A todos mis seres queridos y amados que han sido partícipes de este extraordinario camino, en especial a mi enamorada Vanessa Flores por su confianza, lealtad y amor. A mis compañeros y amigos, quienes de manera desinteresada compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas durante estos años apoyándome y logrando que este sueño se haga realidad.

Proaño Manosalvas, Erick David

A mi familia: Mario, Ruth, Vicky, Fanny, Wai, Alejandro, Andrés e Isabella, este trabajo ha sido posible gracias a todo el amor y el apoyo que cada día recibo de esta hermosa familia, sin el cual no sería el hombre que soy ahora ni el profesional en el que estoy a un paso de convertirme...

Yáñez Gamboa, Francisco Jesús

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a mi Dios por la vida, la salud y la sabiduría para permitirme culminar un logro más de los tantos que me ha concedido; extendiendo mis más sinceros agradecimientos, a mi amada Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, a mi tutora Dra. Anita Haro y al Ing. Estuardo Peñaherrera, quienes fueron la guía fundamental para la elaboración de este trabajo. Agradezco a mis padres y abuelitos por su amor y apoyo incondicional; a mi enamorada y todos mis seres queridos que han sido parte de este largo camino del cual me llevo muy lindos recuerdos; a mi primo Cristian Pazmiño por su colaboración en cuanto al diseño gráfico; a mis amigos/as, en especial a mis mejores amigos David, Rashid, Pablo y Andrés que me brindaron su amistad sincera y honesta durante toda mi carrera universitaria.

Proaño Manosalvas, Erick David

Agradezco en primer lugar a toda mi familia, en especial a mis tíos Ruth y Mario que me han apoyado durante toda mi vida llenándola de amor y valores; a mi padre, por cuidarme desde el cielo y a mis demás familiares por entenderme y apoyarme en los momentos más difíciles; en segundo lugar, a mis docentes, principalmente a la Dra. Anita Haro y al Ing. Estuardo Peñaherrera por todo el apoyo y guía durante este trabajo, en tercer lugar a mis amigos que siempre han estado, ya sea para llamarme la atención cuando hago algo mal o darme una mano en un momento de necesidad y por último pero no menos importante a todas y cada una de las personas que han dejado una marca en mi camino, buena o mala, me han convertido en el hombre que soy el día de hoy.

Yáñez Gamboa, Francisco Jesús

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación e importancia	4
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 Metas del proyecto	7

1.6	Alcance del proyecto	8
1.7	Área de estudio e influencia.....	8
1.8	Descripción de los capítulos	9
CAPÍTULO II		10
MARCO TEÓRICO		10
2.1	Riesgo Sísmico.....	10
2.2	Peligrosidad Sísmica	11
2.3	Vulnerabilidad Sísmica	12
2.4	Sismos.....	13
2.5	Réplicas.....	14
2.6	Mitigación de Riesgos.....	15
2.7	Edificaciones de Hormigón Armado.....	15
2.8	Sistema Estructural Aporticado.....	16
2.9	Estabilidad Estructural	17
2.10	Daños en Edificaciones de Hormigón Armado	17
2.11	Daño en Elementos Estructurales	18
2.11.1	Daño en Columnas	19
2.11.2	Daño en Vigas	24
2.11.3	Daño en Muros de Hormigón Armado	25
2.11.4	Daño en Muros de Mampostería	28
2.11.5	Daño en Uniones (Viga-Columna).....	29
2.11.6	Daño en Losas.....	30
2.12	Irregularidades en Edificaciones de Hormigón Armado.....	32

2.12.1	Piso Blando.....	32
2.12.2	Columna Corta.....	33
2.12.3	Golpeteo entre edificaciones	34
2.12.4	Torsión en la Edificación.....	35
2.13	Apuntalamientos	36
2.13.1	Funciones de los Apuntalamientos	39
2.13.2	Tipos de Apuntalamientos	39
2.13.3	Apuntalamiento Vertical	39
2.13.4	Apuntalamiento Horizontal.....	40
2.13.5	Apuntalamiento Inclinado.....	40
2.14	Madera Estructural en Ecuador	40
2.15	Resumen del Capítulo	42
CAPÍTULO III		43
SELECCIÓN DE APUNTALAMIENTOS Y MADERA ESTRUCTURAL		43
3.1	Selección de Apuntalamientos.....	43
3.1.1	Apuntalamientos Verticales	44
3.1.1.1	Apuntalamiento Vertical tipo Caja.....	44
3.1.1.2	Apuntalamiento Vertical en T	47
3.1.2	Apuntalamientos Inclizados	47
3.1.2.1	Apuntalamiento tipo Zapata Mural (refuerzo inclizado fijo).....	48
3.1.2.2	Apuntalamiento Inclizado Simple.....	49
3.1.2.3	Apuntalamiento inclizado a fricción (aéreo).....	49
3.1.3	Apuntalamientos Horizontales	50

3.1.3.1	Apuntalamiento Horizontal de 2 Postes	51
3.1.3.2	Apuntalamiento Horizontal de codales (tornapuntas)	51
3.2	Selección de Madera	52
3.2.1	Antecedentes.....	52
3.2.2	Marco Normativo y Referencia	53
3.2.3	Especies estudiadas por el Manual para Maderas del Grupo Andino	54
3.2.4	Especies estudiadas por el Catálogo de Madera Estructural en el Ecuador ..	57
3.2.5	Madera como material estructural	58
3.2.6	Madera y su manejo sustentable	59
3.2.7	Madera de uso estructural de acuerdo a su resistencia	60
3.2.8	Selección de la madera estructural.....	63
3.2.9	Selección de la madera de acuerdo a su costo y lugar de cultivo	65
3.2.10	Secciones preferenciales en la selección de la madera	68
3.2.11	Esfuerzos admisibles de las especies seleccionadas.....	69
3.2.12	Propiedades elásticas de las especies seleccionadas	69
3.3	Resumen del Capítulo	70
CAPÍTULO IV		71
GENERACIÓN DE LA GUÍA DE APUNTALAMIENTO		71
4.1	Introducción	71
4.2	Contenido de la guía.....	72
4.3	Criterios de aplicación de la guía.....	73
4.4	Madera utilizada en la guía.....	76
4.5	Modelamiento de los apuntalamientos	79

4.5.1	Parámetros iniciales	79
4.5.2	Dimensionamiento de los sistemas de apuntalamiento	80
4.5.2.1	Apuntalamientos Verticales	80
4.5.2.1.1	Apuntalamiento Vertical en T	80
4.5.2.1.2	Apuntalamiento Vertical tipo Caja	81
4.5.2.2	Apuntalamientos Inclinaados	82
4.5.2.2.1	Apuntalamiento Inclinado Simple.....	82
4.5.2.2.2	Apuntalamiento Inclinado tipo Zapata Mural.....	82
4.5.2.2.3	Apuntalamiento Inclinado a Fricción	83
4.5.2.3	Apuntalamientos Horizontales	84
4.5.2.3.1	Apuntalamiento Horizontal de Dos Postes.....	84
4.5.2.3.2	Apuntalamiento Horizontal de Codales.....	84
4.5.3	Diseño por esfuerzos admisibles	85
4.5.3.1	Cálculo del esfuerzo de Compresión Paralela	86
4.5.3.2	Cálculo del esfuerzo de Compresión Perpendicular	87
4.5.3.3	Cálculo del esfuerzo de Corte.....	88
4.5.3.4	Carga admisible y esfuerzos de cada apuntalamiento	88
4.5.4	Prueba de Carga en Sistemas de Apuntalamiento	92
4.5.4.1	Apuntalamientos Verticales	93
4.5.4.1.1	Apuntalamiento en T.....	93
4.5.4.1.2	Apuntalamiento Vertical tipo Caja	95
4.5.4.2	Apuntalamientos Inclinaados	97
4.5.4.2.1	Apuntalamiento Inclinado Simple.....	97

4.5.4.2.2 Apuntalamiento Inclinado tipo Zapata Mural.....	99
4.5.4.2.3 Apuntalamiento Inclinado a Fricción	101
4.5.4.3 Apuntalamientos Horizontales	103
4.5.4.3.1 Apuntalamiento Horizontal de Dos Postes.....	103
4.5.4.3.2 Apuntalamiento Horizontal de Codales.....	105
4.6 Uniones.....	107
4.7 Diseño de la guía.....	111
CAPÍTULO V.....	119
VALIDACIÓN DE LA GUÍA DE APUNTALAMIENTO	119
5.1 Introducción	119
5.2 Selección de la edificación de hormigón armado.....	120
5.3 Aplicación de la Guía de Apuntalamiento	125
5.4 Datos para el modelamiento de la estructura seleccionada	129
5.4.1 Estructura de Hormigón Armado	129
5.4.1.1 Descripción General	129
5.4.1.2 Concepción Arquitectónica	130
5.4.1.3 Materiales y Elementos Estructurales.....	138
5.4.2 Espectro Sísmico.....	139
5.4.3 Cortante Basal.....	140
5.4.4 Acelerograma	143
5.5 Consideraciones generales para el modelamiento de la estructura	144
5.6 Modelamiento de la estructura sin apuntalamiento.....	147
5.7 Modelamiento de la estructura con apuntalamiento	148

5.7.1	Secciones utilizadas en los apuntalamientos seleccionados	149
5.8	Análisis del comportamiento de la estructura sin apuntalamiento	150
5.8.1	Comportamiento de la estructura con apuntalamiento	157
5.9	Comparación de resultados del modelamiento	160
5.9.1	Análisis Estático No Lineal (Pushover)	160
5.9.2	Análisis de la respuesta en el tiempo	164
CAPÍTULO VI.....		169
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		169
6.1	Conclusiones	169
6.2	Recomendaciones	171
BIBLIOGRAFÍA.....		174

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Maderas del Ecuador estudiadas por el Manual del Grupo Andino</i>	41
Tabla 2 <i>Lista de Especies de madera del Ecuador estudiadas en el PADT-REFORT.</i> 55	
Tabla 3 <i>Lista de Especies del Catálogo de Madera Estructural del Ecuador</i>	57
Tabla 4 <i>Grupos de Madera Estructural estudiadas en el PADT-REFORT</i>	61
Tabla 5 <i>Selección de especies de madera estructural para la GA-MD-HA</i>	64
Tabla 6 <i>Selección de especies de madera en función a su costo en el mercado</i>	66
Tabla 7 <i>Selección de especies de madera de acuerdo al lugar de cultivo en el país</i> ...	67
Tabla 8 <i>Esfuerzos máximos admisibles (kg/cm²)</i>	69
Tabla 9 <i>Módulos de Elasticidad (kg/cm²)</i>	70
Tabla 10 <i>Costo de las especies de madera que incluye la GA-MD-HA</i>	77
Tabla 11 <i>Propiedades de las especies de madera que incluye la GA-MD-HA</i>	78
Tabla 12 <i>Características de los grupos estructurales de madera a analizarse</i>	79
Tabla 13 <i>Condiciones de esbeltez</i>	86
Tabla 14 <i>Fórmulas para determinar carga admisible en columnas</i>	87
Tabla 15 <i>Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento Vertical en T</i>	89
Tabla 16 <i>Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento Vertical tipo Caja</i>	89
Tabla 17 <i>Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento Inclinado Simple</i>	90
Tabla 18 <i>Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento tipo Zapata Mural</i>	90
Tabla 19 <i>Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento Inclinado a Fricción</i>	91
Tabla 20 <i>Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento de dos postes</i>	91
Tabla 21 <i>Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento Horizontal de Cordales</i>	92

Tabla 22 <i>Deflexiones del Apuntalamiento Vertical en T para cada carga admisible</i>	95
Tabla 23 <i>Deflexiones del Apuntalamiento tipo Caja para cada carga admisible</i>	97
Tabla 24 <i>Deflexiones del Apuntalamiento Inclinado Simple para la carga admisible</i>	99
Tabla 25 <i>Deflexiones del Apuntalamiento tipo Zapata Mural para la carga admisible</i>	101
Tabla 26 <i>Deflexiones del Apuntalamiento a Fricción para cada carga admisible</i>	103
Tabla 27 <i>Deflexiones del Apuntalamiento de Dos Postes para cada carga admisible</i>	105
Tabla 28 <i>Deflexiones del Apuntalamiento de Codales para cada carga admisible</i>	107
Tabla 29 <i>Secciones propuestas para el uso en las uniones de los apuntalamientos.</i>	108
Tabla 30 <i>Dimensiones utilizadas en el modelamiento</i>	139
Tabla 31 <i>Tasa de Participación de la Masa para la estructura de estudio</i>	141
Tabla 32 <i>Área y Peso de la estructura de estudio por piso</i>	142
Tabla 33 <i>Patrón de cargas laterales por piso aplicado en la estructura</i>	143
Tabla 34 <i>Porcentajes para el caso “Cargas Gravitacionales no Lineales”</i>	144
Tabla 35 <i>Porcentajes de cargas para el caso “Cargas Gravitacionales no Lineales”</i> .	146
Tabla 36 <i>Curva de Capacidad Pushover para Estructura sin Apuntalamiento</i>	152
Tabla 37 <i>Curva de Capacidad Pushover para Estructura con Apuntalamiento</i>	157
Tabla 38 <i>Resultados de la comparación de los modelamientos al límite de LS</i>	163
Tabla 39 <i>Resultados de la comparación de los modelamientos al límite de LS</i>	167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Edificación mal apuntalada	5
Figura 2. Mapa de zonificación sísmica del Ecuador	12
Figura 3. Falla de columna por compresión.....	19
Figura 4. Falla de columna por flexión	20
Figura 5. Falla de columna por flexo compresión	21
Figura 6. Falla de columna por cortante	22
Figura 7. Pérdida de recubrimiento.....	23
Figura 8. Falla por cortante en viga	24
Figura 9. Falla por flexión en viga.....	25
Figura 10. Falla en muro por deslizamiento de base	26
Figura 11. Falla en muro por tensión diagonal.....	27
Figura 12. Falla en muro por flexión	28
Figura 13. Falla en muro debido a tensión diagonal por cortante	29
Figura 14. Falla en uniones viga-columna	30
Figura 15. Falla en losa por punzonamiento.....	31
Figura 16. Edificaciones con piso blando	33
Figura 17. Falla por columna corta	34
Figura 18. Golpeteo entre edificaciones	35
Figura 19. Configuraciones en planta de edificaciones	36
Figura 20. Apuntalamiento Vertical tipo Caja.....	45

Figura 21. Prueba de carga	46
Figura 22. Apuntalamiento Vertical en T.....	47
Figura 23. Apuntalamiento tipo Zapata Mural.....	48
Figura 24. Apuntalamiento Inclinado Simple.....	49
Figura 25. Apuntalamiento Inclinado a fricción	50
Figura 26. Apuntalamiento Horizontal de 2 postes	51
Figura 27. Apuntalamiento Horizontal de codales	52
Figura 28. Flujograma de Evaluación Previa	74
Figura 29. Flujograma de Intervención a la estructura.....	75
Figura 30. Dimensiones del apuntalamiento en T.....	81
Figura 31. Dimensiones del apuntalamiento vertical tipo Caja	81
Figura 32. Dimensiones del apuntalamiento inclinado simple	82
Figura 33. Dimensiones del apuntalamiento tipo Zapata Mural.....	83
Figura 34. Dimensiones del apuntalamiento inclinado a fricción	83
Figura 35. Dimensiones del apuntalamiento horizontal de dos postes	84
Figura 36. Dimensiones del apuntalamiento de codales	85
Figura 37. Modelamiento del apuntalamiento vertical en T.....	93
Figura 38. Deflexiones generadas en el apuntalamiento vertical en T	94
Figura 39. Modelamiento del apuntalamiento tipo Caja.....	96
Figura 40. Deflexiones generadas en el apuntalamiento vertical tipo caja	96
Figura 41. Modelamiento del apuntalamiento inclinado simple.....	98
Figura 42. Deflexiones generadas en el apuntalamiento inclinado simple	98
Figura 43. Modelamiento del apuntalamiento inclinado tipo zapata mural	100

Figura 44. Deflexiones generadas en el apuntalamiento tipo zapata mural	100
Figura 45. Modelamiento del apuntalamiento inclinado a fricción.....	102
Figura 46. Deflexiones generadas en el apuntalamiento inclinado a fricción	102
Figura 47. Modelamiento del apuntalamiento horizontal de dos postes	104
Figura 48. Deflexiones generadas en el apuntalamiento horizontal de dos postes	104
Figura 49. Modelamiento del apuntalamiento horizontal de codales	106
Figura 50. Deflexiones generadas en el apuntalamiento horizontal de codales	106
Figura 51. Patrón estándar de clavado.....	108
Figura 52. Unión tipo 1	109
Figura 53. Unión tipo 2	109
Figura 54. Unión tipo 3	110
Figura 55. Unión tipo 4	110
Figura 56. Portada.....	112
Figura 57. Índice	112
Figura 58. Capítulo de Evaluación Inicial.....	113
Figura 59. Sección de Dibujo Explicativo.....	113
Figura 60. Sección de Evaluación Previa	114
Figura 61. Sección de Intervención	114
Figura 62. Capítulo de Madera Estructural	115
Figura 63. Ficha de Madera Estructural en el Ecuador (modelo).....	115
Figura 64. Capítulo de Apuntalamientos.....	116
Figura 65. Ficha de Apuntalamiento en Madera (modelo).....	116
Figura 66. Sección de uniones (Información)	117

Figura 67. Sección de uniones (Detalle).....	117
Figura 68. Sección de Herramientas Básicas.....	118
Figura 69. Contraportada.....	118
Figura 70. Estructura CR en Portoviejo	121
Figura 71. Edificaciones evaluadas por la SNGR del Ecuador.....	122
Figura 72. Edificación CR seleccionado para el estudio.....	123
Figura 73. Fallo de columna (parte delantera).....	123
Figura 74. Fallo en la conexión viga-columna.....	124
Figura 75. Apuntalamiento improvisado con acero y bambú	125
Figura 76. Criterios de selección de la especie de madera	126
Figura 77. Criterios de selección del tipo de apuntalamiento para losas.....	127
Figura 78. Criterios de selección del tipo de apuntalamiento para volados.....	128
Figura 79. Ubicación de la estructura CR – Portoviejo, Ecuador.....	130
Figura 80. Ubicaciones de las columnas de la estructura CR.....	131
Figura 81. Vista en planta del piso 1.....	132
Figura 82. Vista en planta de los pisos 2 y 3	133
Figura 83. Vista en planta de la terraza inaccesible	134
Figura 84. Dimensiones y secciones del pórtico A y D.....	135
Figura 85. Dimensiones y secciones del pórtico B	136
Figura 86. Dimensiones y secciones de los pórticos C y 2.....	137
Figura 87. Dimensiones y secciones de los pórticos 3, 4, 5 y 6.....	138
Figura 88. Espectro de respuesta registrado en Portoviejo	140
Figura 89. Acelerograma sentido N-S registrado en Portoviejo.....	144

Figura 90. Punto de monitoreo para el análisis estático no lineal	146
Figura 91. Estructura modelada sin apuntalamiento.....	147
Figura 92. Estructura modelada con apuntalamiento	150
Figura 93. Daño en rótulas al límite (LS), dirección X (izq) y dirección Y (der).....	151
Figura 94. Curva de Capacidad (Dirección X) de la estructura sin apuntalamiento....	153
Figura 95. Curva de Capacidad (Dirección Y) de la estructura sin apuntalamiento....	154
Figura 96. Rótulas plásticas cuando fallan, dirección X (izq) y dirección Y (der).....	155
Figura 97. Daño estructurales del pórtico frontal	156
Figura 98. Momento de falla del pórtico frontal, dirección X (der) y dirección Y (izq) .	156
Figura 99. Curva de Capacidad (Dirección X) de la estructura con apuntalamiento...	159
Figura 100. Curva de Capacidad (Dirección Y) de la estructura con apuntalamiento.	159
Figura 101. Curvas de Capacidad Cortante vs Desplazamiento (Dirección X).....	160
Figura 102. Curvas de Capacidad Cortante vs Desplazamiento (Dirección Y).....	161
Figura 103. Curvas de Capacidad por Rango de Daños (Dirección X).....	162
Figura 104. Curvas de Capacidad por Rango de Daños (Dirección Y).....	162
Figura 105. Respuesta en el tiempo de la estructura sin apuntalar (Dirección X)	165
Figura 106. Respuesta en el tiempo de la estructura apuntalada (Dirección X)	166
Figura 107. Respuesta en el tiempo de la estructura sin apuntalar (Dirección Y)	166
Figura 108. Respuesta en el tiempo de la estructura apuntalada (Dirección Y)	167

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo la generación de una guía práctica, cuyo propósito radica en brindar una serie de lineamientos orientada a la aplicación de sistemas de apuntalamiento en madera para edificaciones de hormigón armado afectadas por sismos. Todo esto con el fin de aportar estabilidad a las mismas, facilitando la intervención de unidades de rescate y previniendo el aumento de daños materiales y pérdidas humanas debido al colapso de dichas edificaciones bajo situaciones de emergencia post-sismo.

El trabajo se realizó en distintas etapas: primero, recopilación de información referente a manuales y guías similares. En segunda instancia, se seleccionaron los sistemas de apuntalamiento adaptados a los tipos de fallas presentes en las edificaciones de hormigón armado. Posteriormente, se procedió a la selección de las especies de madera estructural disponibles en el Ecuador para la construcción de los apuntalamientos. Adicionalmente, se realiza la verificación del comportamiento estructural de los apuntalamientos a través del uso de software especializado. Por último, se desarrolló la guía y se procedió con su validación, aplicándola en un modelo computacional de una edificación afectada por el sismo de Muisne del 2016.

PALABRAS CLAVES:

- **APUNTALAMIENTO EN MADERA**
- **EMERGENCIAS POST-TERREMOTOS**
- **GUÍA DE APUNTALAMIENTO**

ABSTRACT

This investigation has as an objective the creation of a practical guide, which consists in bringing a series of guidelines oriented to the application of shoring systems in wood for reinforced concrete structures affected by seismic activity. All of these with the goal of providing stability to them, facilitating the intervention of rescue units and preventing the increase in material damages and human losses due to the collapse of these structures under situations of emergency post-earthquake.

The work was performed under different phases: first, the compilation of information from manuals and similar guides. Secondly, the selection of the shoring systems adapted to the type of flaws present in the reinforced concrete structures. After that, the selection of the types of structured wood available in Ecuador for the construction of shoring. Additionally, the verification of structural behavior of the shoring using specialized software. Lastly, a guide is created and evaluated, applying a computer model of a structure affected with a similar earthquake as the one reported in Muisne on 2016.

KEYWORDS:

- **SHORING IN WOOD**
- **POST-EARTHQUAKE EMERGENCIES**
- **SHORING GUIDE**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

A lo largo de la historia, el territorio ecuatoriano se ha visto afectado por sismos de grandes magnitudes debido a que se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, mismo que se caracteriza por abarcar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que origina una intensa actividad sísmica y volcánica.

Estas condiciones han propiciado la proliferación de un conjunto de eventos adversos que van desde deslizamiento de lodos y avalanchas de rocas ocasionadas por el sismo de El Reventador en 1987 hasta, la gran cantidad de pérdidas humanas e impactos económicos correspondientes a los sismos producidos en Bahía de Caráquez en 1998 y Muisne en 2016, por citar los eventos sísmicos más importantes que dejaron huella sobre el país; cuya secuela común se evidenció en la afectación estructural de las edificaciones ubicadas en el epicentro y alrededores de estos siniestros (IG, 2013).

El conocimiento de los efectos y consecuencias que producen los eventos sísmicos a las edificaciones, han permitido el desarrollo y mejora de los códigos de construcción para cada país como medida para minimizar los daños ocurridos por dichos sucesos; existen países que además de las normas de construcción han generado guías post-terremotos para actuar ante este tipo de situaciones de emergencia. Por el contrario, en

el Ecuador se ha dejado de lado los efectos secundarios ocasionados por las réplicas subsecuentes al sismo principal, mismas que pueden incrementar el daño inicial, ocasionando el colapso parcial o total de las edificaciones ya afectadas, aumentando de esta manera las pérdidas materiales y en el peor de los casos las pérdidas humanas.

El presente proyecto se basa en la propuesta de una guía de apuntalamiento en madera para edificaciones de hormigón armado que pueda ser aplicada en situaciones de emergencia post-terremotos en el Ecuador, ofreciendo al lector un conjunto de lineamientos prácticos cuyo objetivo principal será el de proporcionar estabilidad y seguridad a las edificaciones afectadas.

1.2 Antecedentes

En los últimos años a nivel mundial se ha priorizado el desarrollo y mejora de códigos y normativas que garanticen el correcto diseño estructural y un adecuado comportamiento sismo resistente de las edificaciones, basándose tanto en experiencias propias de cada país o de otros aledaños. Ciertos países han incursionado en áreas relacionadas al ámbito de post emergencia como planes de intervención y rescate hasta la implementación de manuales o guías de mitigación y prevención ante desastres naturales.

Los primeros indicios de investigaciones relacionadas al tema propuesto, lo encontramos en la Guía de Operaciones de Apuntalamiento (GOA) desarrollada por el Subgrupo de Estructuras de Búsqueda y Rescate Urbano de la Agencia Federal para el

Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés) en cooperación con la Oficina de Programa de Búsqueda y Rescate Urbano del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en el 2013; cuyo uso está orientado como consulta práctica para personal calificado durante las acciones de rescate (US&R, 2013).

Por otro lado, se tiene el Manual Técnico para Obras Provisionales de Apuntalamientos desarrollado en Lima-Perú en Marzo del 2011, bajo el contexto del Proyecto de Preparación ante Desastre Sísmico y/o Tsunami y Recuperación Temprana en Lima y Callao a cargo de la institución Cooperazione Internazionale (COOPI); el contenido de este manual recopila soluciones de diseño más comunes que garantizan la seguridad de los componentes de edificaciones perjudicadas por un sismo (COOPI, 2011).

A nivel nacional no se han podido encontrar referentes que antecedan a nuestra investigación; actualmente el código que normaliza el diseño y construcción de edificaciones en el Ecuador es la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), la cual se enfoca en regular temas como: seguridad estructural de las edificaciones, habitabilidad, salud y servicios básicos, anexando guías prácticas de diseño de conformidad con la norma antes mencionada.

Sin embargo, no se ha realizado una guía o manual técnico que oriente su uso a situaciones de emergencia como planes de acción en cuanto a mitigación y prevención ante colapsos de edificaciones durante un evento sísmico.

1.3 Justificación e importancia

El 16 de abril del 2016 las costas noroccidentales ecuatorianas fueron sacudidas por un terremoto de 7.8 grados en la escala de Richter, afectando principalmente a las provincias de Manabí y Esmeraldas por su cercanía al epicentro; el alcance de este suceso dejó un total de 663 muertos y 4,859 heridos en el ámbito humano, mientras que, respecto a infraestructura colapsadas, por demoler, con restricciones e inseguras se registró un total de 29,672 edificaciones afectadas.

De acuerdo a los datos presentados por el INEC, hasta el 19 de mayo del 2016 se registraron un total de 1,570 réplicas de las cuales 8 superaron los 6 grados en la escala de Richter, ocasionando que algunas estructuras colapsaran luego de haber recibido daño por el sismo principal, incrementando las pérdidas humanas y materiales que se tenían registradas hasta esa fecha, cuyos valores finales se reflejan en los datos indicados con anterioridad (INEC, 2017).

A diferencia del sismo de Ambato ocurrido en 1949 cuyas réplicas cobraron entre 5 y 6 mil vidas humanas, las cifras han disminuido significativamente pero no dejan de ser alarmantes; a pesar que en el Ecuador actualmente se cuenta con una normativa que regula el diseño y asegura la construcción de edificaciones sismo resistente, es notorio evidenciar que el país no está totalmente preparado para eventos de esta magnitud. Por esta razón es indiscutible no centrar la atención a la situación post-terremoto, donde las acciones que se realicen serán determinantes a la hora de contrarrestar un aumento en el número de muertos, heridos o pérdidas materiales.

Además, se pudo apreciar varias estructuras que fueron apuntaladas de una manera ineficiente (ver Figura 1), estos tipos de apuntalamientos que se aplicaron luego del sismo principal no cumplen con ninguna función ya que no recogen ninguna carga ni la transmiten a un elemento de soporte de manera eficiente.



Figura 1. Edificación mal apuntalada
Fuente: (EERI, 2016)

Ante la latente amenaza sísmica países como Estados Unidos y Perú han desarrollado guías y manuales que orientan y dan soporte técnico en lo que respecta al manejo de situaciones de emergencia, cuyo objetivo es disminuir daños y pérdidas ante desastres naturales. Esto ha demostrado la importancia de contar con una guía propia que se adapte a las condiciones en nuestro país, en cuanto a edificaciones presentes y materiales disponibles.

La guía de apuntalamiento en madera propuesta en esta investigación pretende ofrecer un medio de consulta práctica y sencilla de utilizar; de manera que, al suscitarse una situación de emergencia en caso de sismo, se pueda aplicar en las estructuras de modo que brinde la estabilidad necesaria para soportar las réplicas subsecuentes reduciendo el aumento de los daños causados por el sismo principal.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Generar una guía de apuntalamiento en madera para edificaciones de hormigón armado afectadas estructuralmente por acciones sísmicas, a través de investigación y pruebas en software para evitar su colapso ante réplicas generadas después del evento principal.

1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar los tipos de falla que puedan llevar al colapso parcial o total de edificaciones de hormigón armado ante la acción de eventos sísmicos, a través de revisión bibliográfica a fin de obtener información fundamental para la generación de la guía.

- Establecer los distintos tipos y sistemas de apuntalamiento mediante la revisión de manuales de otros países y bibliografía especializada en el tema, de manera que se encuentre la mejor opción aplicable a nuestra investigación.
- Determinar el tipo de madera apropiado para el sistema de apuntalamiento a través de un estudio basado en la oferta, resistencia y el costo de la misma, de manera que pueda ser aplicado en nuestro entorno.
- Definir los lineamientos para la propuesta de la guía de apuntalamiento de madera para uso post-terremotos en edificaciones de hormigón armado.
- Realizar el modelamiento estructural de una edificación de hormigón armado, que será definida en el transcurso de nuestra investigación, con y sin un sistema de apuntalamiento mediante el uso de software especializado, para verificar su estabilidad y a la vez validar la guía propuesta.

1.5 Metas del proyecto

- Investigación de los tipos de falla más comunes que lleven a colapsos parciales de edificaciones de hormigón armado sometidas a eventos sísmicos.
- Establecimiento del sistema de apuntalamiento más apropiado para el sistema de construcción en estudio.
- Determinación del tipo de madera más apropiado para la aplicación del sistema de apuntalamiento en nuestro entorno.

- Definición de la propuesta de guía de apuntalamiento de madera en edificaciones de hormigón armado post-terremotos.
- Realización del modelamiento estructural con y sin el sistema de apuntalamiento post-terremotos en una edificación de hormigón armado definida durante la investigación.

1.6 Alcance del proyecto

El alcance del proyecto radica en la creación de la Guía de apuntalamiento en madera para edificaciones de hormigón armado orientada a situaciones de emergencia post – terremotos en Ecuador, la misma que brindará un conjunto de gráficos y recomendaciones al lector que permitan apuntalar una edificación afectada por sismo de manera que garantice su estabilidad ante la acción de réplicas posteriores y de esta manera se disminuya de manera significativa el número de pérdidas tanto materiales como humanas.

1.7 Área de estudio e influencia

El área de influencia del proyecto es de nivel nacional, abarcando todo el territorio ecuatoriano con especial énfasis en los sectores que presentan una mayor actividad sísmica, tomando como área de estudio principal la provincia de Manabí, la cual recibió la mayor cantidad de afectaciones durante el sismo del 16 de abril del 2016.

1.8 Descripción de los capítulos

En el primer capítulo se han tratado los aspectos generales del proyecto, fijando los objetivos, metas y alcance del mismo; en el segundo capítulo se han incluido todos los elementos que conforman el marco teórico. El capítulo 3 se conforma por los parámetros específicos del proyecto: definición del tipo de madera y selección de los sistemas de apuntalamiento que posteriormente serán aplicados en el capítulo 4 que trata sobre la generación de la guía de apuntalamiento. Por otro lado, el capítulo 5 abarca la validación de la guía generada a través del modelamiento de una estructura en un programa especializado. Finalmente, el sexto capítulo recopila los resultados, conclusiones y recomendaciones de este proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Riesgo Sísmico

El riesgo sísmico puede ser definido como la posibilidad de pérdidas potenciales (vidas humanas, pérdidas económicas directas e indirectas, daños a edificios o estructuras, etc.), derivadas de las afectaciones producidas en una población, ciudad o país; como consecuencia de la acción de un fenómeno telúrico (Arroyo & Berenguer, 1999). Por lo tanto, es evidente decir que el riesgo sísmico es función, en cada caso, de las características de esta acción y de la respuesta a ella de los elementos en riesgo, asociadas principalmente a las pérdidas esperadas que sufren las estructuras, sus contenidos y sobre todo las personas que residen o laboran en las mismas, mientras se mantienen expuestas a una acción sísmica.

La determinación del riesgo sísmico involucra un sinnúmero de variables que cambian dependiendo el método de cálculo que se utilice y los parámetros empleados; se utiliza normalmente la información disponible: peligrosidad, tipologías de edificación, población, exposición de los elementos en riesgos, costes y vulnerabilidad, estos datos nos pueden ayudar a tener una noción de las zonas que presentan un alto nivel de riesgo sísmico y necesitan estudios más especializados.

El riesgo sísmico es un factor que debe ser debidamente estudiado, analizado, contemplado y cuantificado en cada una de las obras de carácter civil, sobre todo en lugares que presentan un alto nivel de sismicidad como lo es Ecuador.

2.2 Peligrosidad Sísmica

También conocida como amenaza sísmica, se define como la probabilidad de ocurrencia de un proceso definido por el movimiento del terreno de una zona determinada, provocado por la acción de un evento sísmico; a través de la cuantificación de parámetros inherentes a dicho movimiento como el desplazamiento, la velocidad, la aceleración y la magnitud o intensidad dentro de un periodo específico de tiempo.

La elección de los parámetros antes mencionados dependerá de la evaluación y de la aplicación a la que ésta vaya dirigida; por lo tanto, el estudio de peligrosidad sísmica obedecerá al análisis de los fenómenos que se suscitan desde el hipocentro hasta el lugar en cuestión, es decir los resultados del análisis irán en función de los métodos escogidos para la evaluación y la extensión del estudio.

La peligrosidad sísmica en el Ecuador no debe ser despreciable, pues se halla en una zona con un particular comportamiento dinámico (ver Figura 2) en relación al movimiento tectónico; definida por dos tipos de fuentes sísmicas principales como la de subducción y de tipo corticales, las cuales radican en la interacción de la interplaca e intraplaca y las superficiales respectivamente; consideraciones de vital importancia al momento de

estructuras, como consecuencia de la ocurrencia de un movimiento telúrico bajo las acciones dinámicas provocados por el mismo; por lo tanto, dependerá de las características del diseño de las estructuras (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno (Gonzalez de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

Es evidente que la afectación en una estructura irá en función de la definición de la vulnerabilidad mencionada con anterioridad, es decir que en el caso de las edificaciones éstas sí se podrán diferenciar entre más vulnerable o menos vulnerable ante un mismo evento sísmico de determinadas características.

Por tanto, la respuesta de una estructura ante un sismo es una característica propia y única de la misma, y no dependería de la peligrosidad del lugar que se vea afectada por un sismo. En otras palabras, una edificación puede ser vulnerable pero no estar expuesta a riesgo, a menos que se halle en una zona con una considerable peligrosidad sísmica (Yépez, Barbat, & Canas, 1995).

2.4 Sismos

También conocidos como seísmos se refiere a los movimientos de la corteza terrestre ocasionados por los desplazamientos internos de la misma, expandiéndose en forma de ondas en todas direcciones provocando daños y perjuicios de diversa intensidad a estructuras y poblaciones. El nombre de sismo aduce a la idea de que son producidos por la liberación de energía acumulada, cuya principal causa se debe a la interacción de las placas tectónicas, es decir de origen tectónico; sin embargo, no es la única, existen

otros procesos que pueden llegar a desembocar en grandes liberaciones de energía como las de origen volcánico, procesos de hundimiento y deslizamientos hasta explosiones atómicas, por nombrar las causas más generales.

Es importante señalar que el término sismo principal hace referencia a un terremoto cuyo movimiento primario viene precedido de una serie de réplicas, las cuales dependerán en gran medida a la actividad sísmica que poseen las diferentes regiones del mundo.

2.5 Réplicas

Son terremotos de menor intensidad que se originan luego de ocurrido el evento principal, generalmente se presentan de forma sucesiva sin determinado número de repeticiones. En algunas ocasiones, los terremotos moderados (de magnitud 6 aproximadamente) han tenido réplicas de intensidad similar a la del sismo principal (J. J. F. Sánchez, 2015).

Por tanto, el efecto de las réplicas en producir más afectación estructural a las edificaciones las convierte en un principal riesgo a considerarse.

La Agencia Federal para la Gestión de Emergencia de los Estados Unidos (FEMA), establece que el número aproximado de réplicas se irá reduciendo al paso del tiempo. Explica que aproximadamente en el segundo día habrá la mitad de las réplicas que el primero, el tercer día se reducirá a un tercio y así sucesivamente.

2.6 Mitigación de Riesgos

La mitigación de riesgos en colapsos de edificaciones establece medidas para salvaguardar vidas humanas y hasta cierto punto otorgar recuperación y estabilidad a la estructura afectada; se puede mencionar los siguientes: evitar la cercanía colocando cinta de plástico alrededor de la zona de riesgo, apuntalando la edificación de forma correcta y eliminando propiamente el riesgo.

La mitigación de riesgos ayuda a evitar que un problema se convierta en catástrofe o alcance niveles críticos que con una adecuada gestión de los recursos y la atención suficiente al problema podrían ser evitados.

2.7 Edificaciones de Hormigón Armado

Las edificaciones de hormigón armado, o concreto reforzado, constituyen una tipología clásica de la construcción en el Ecuador y su uso, actualmente, se ha extendido en la ejecución de edificios de baja y mediana altura. La elección de este sistema constructivo se debe generalmente a las ventajas que ofrece, como rigidez y comportamiento adecuado a las condiciones ambientales a las que están expuestas.

El combinar hormigón con barras o mallas de acero (comúnmente llamada armadura) constituye la técnica constructiva más utilizada del hormigón armado; el óptimo comportamiento que provee este conjunto se debe esencialmente a la importancia de sus propiedades en cuanto a resistencia, tracción y flexibilidad.

Es importante recalcar que una estructura normal de hormigón armado está conformada por elementos estructurales (vigas y columnas) acoplados ortogonalmente entre sí (Navarro, 2009).

2.8 Sistema Estructural Aporticado

Se define como el conjunto de elementos estructurales de hormigón armado generalmente vigas y columnas, unidas perpendicularmente entre sí en zonas de confinamiento. Este sistema ofrece gran resistencia a la estructura frente a cargas verticales, pero cuando se somete a fuerzas laterales su funcionamiento no es el más adecuado cuando no se contempla un diseño por capacidad.

El uso predominante de este conjunto de elementos aporticados constituye un sistema tradicional para la construcción de edificaciones en el Ecuador. Por lo tanto, su estudio es trascendental para verificar su comportamiento al momento de originarse fuerzas sísmicas.

Cabe señalar, que en los últimos eventos sísmicos originados en el país, estos sistemas no trabajaron de manera óptima; estableciendo duda en que si los criterios de diseño y los métodos constructivos utilizados sean los correctos (Barros & Peñafiel, 2015).

2.9 Estabilidad Estructural

La estabilidad se define como la capacidad que tienen los elementos que conforman una estructura, de mantenerse en equilibrio cuando es sometida a la acción de cargas o perturbaciones externas sin producir un efecto de volcamiento o colapso de la misma.

A dicho estado se le denomina estable, por lo tanto, cuando se aplican las acciones mencionadas anteriormente o por sí solas las edificaciones pierden el equilibrio, el estado se denomina inestable. Éste cambio producido en la estructura se lo conoce como pérdida de estabilidad (Villarreal, 2009).

2.10 Daños en Edificaciones de Hormigón Armado

Las edificaciones sometidas a acciones dinámicas provocadas por los sismos producen en ellas dos tipos de daño, estructural y no estructural; el daño estructural se relaciona con la afectación de los elementos estructurales que forman parte del sistema resistente (fallas en columnas, vigas, losas, muros), provocando pérdida de estabilidad en la estructura y ocasionando en varios casos el colapso total de la misma; mientras que, el daño no estructural afecta directamente a los elementos que no aportan resistencia estructural, tal como los sistemas mecánicos, eléctricos, sanitarios y los contenidos de la edificación (Serrano, 2001).

Adicionalmente, debemos considerar que tanto el daño estructural como no estructural provoca la afectación de los contenidos en las edificaciones (electrodomésticos,

mobiliario, equipos electrónicos, entre otros). Estos contenidos representan un mayor grado de importancia cuando forman parte de edificaciones de primer orden como hospitales, mismos que deben permanecer completamente operativos en una situación de emergencia, por ejemplo, un evento sísmico.

Tras la ocurrencia de un sismo, Murillo (2004) indica que las fallas más importantes pueden deberse a las siguientes razones:

- a. Inadecuada resistencia al cortante de los entrepisos.
- b. Grandes esfuerzos de cortante y tensión diagonal en columnas o en vigas.
- c. Fallas en las conexiones viga-columna por deslizamientos de varillas ancladas, mala adherencia, o a falla de cortante.
- d. Grandes esfuerzos en muros de cortantes.
- e. Golpeteo entre edificios.
- f. Variación brusca de la rigidez a lo largo de la altura del edificio.
- g. Punzonamiento en losas de edificios construidos a base de losas planas.
- h. Vibración torsional debido a la falta de coincidencia entre el centro de masas con el centro de rigidez.

2.11 Daño en Elementos Estructurales

A continuación, se visualizarán las fallas más comunes en elementos estructurales luego de la acción de un sismo.

2.11.1 Daño en Columnas

i. Por compresión o aplastamiento

En muchas ocasiones, ciertas edificaciones presentan problemas de proporcionalidad y concentran una gran carga en los pisos superiores, lo cual sumado a dejar el primer piso prácticamente libre de muros o elementos de mampostería que colaboren con el aumento de rigidez de este piso (especialmente en edificaciones utilizadas como almacenes y hoteles), ocasiona que durante un evento sísmico se origine un problema de piso blando y, por ende, la consecuente falla de las columnas de este piso por compresión (ver Figura 3) o flexo compresión.



Figura 3. Falla de columna por compresión
Fuente: (EERI, 2016)

ii. Por flexión

La falla por flexión en columnas de hormigón armado provoca principalmente el agrietamiento en el lado de las tensiones donde el acero de refuerzo debe contribuir a soportar dichas fuerzas (ver Figura 4); debido a las fuerzas horizontales producidas por el sismo, el ancho y la cantidad de estas grietas aumentan considerablemente ocasionando la falla total de esta zona y manifestándose el aplastamiento del concreto en la zona de compresión (Diaz, 2015).



Figura 4. Falla de columna por flexión
Fuente: (CNPCM, 2016b)

iii. Por flexo compresión

Las columnas a lo largo de su vida útil se encuentran sometidas a un esfuerzo combinado de flexión y compresión, el mismo que se ve incrementado cuando actúa el elemento ante un sismo. La falla se presenta principalmente por el aplastamiento del concreto y también por la fluencia a compresión y eventualmente el pandeo del acero longitudinal (ver Figura 5), lo que le convierte en una falla relativamente frágil y súbita.

A parte del aplastamiento que se presenta en el concreto también se manifestará deformación axial de la columna, lo cual produce un incremento de esfuerzo en los demás elementos estructurales.



Figura 5. Falla de columna por flexo compresión
Cortesía: Ing. Pablo Caiza, Ph. D.

iv. Por cortante

Este tipo de falla se da debido a que la altura efectiva de las columnas es disminuida debido a la presencia de ventanas, antepechos o pequeños muros de acuerdo a la concepción arquitectónica que se tenga de la edificación (ver Figura 6), lo cual ocasiona una tensión diagonal que produce la falla de este tipo de columna conocida comúnmente como columna corta.



Figura 6. Falla de columna por cortante
Cortesía: Ing. Pablo Caiza, Ph. D.

v. Pérdida de recubrimiento

El caso de pérdida de recubrimiento se da debido a que ya sea que por compresión o flexo compresión cuando la columna llega a su máxima capacidad de compresión el primer problema que ocurre es el desprendimiento del recubrimiento sin afectar el núcleo de hormigón como se ve en la parte superior de la imagen (ver Figura 7), al darse este fenómeno se reduce el área de concreto y por lo tanto su capacidad resistente, este tipo de falla no es tan grave a corto plazo pero puede incrementarse su seriedad con el paso del tiempo al permitir la corrosión del acero del elemento estructural como se puede ver en la parte inferior de la misma figura.



Figura 7. Pérdida de recubrimiento
Fuente: (EERI, 2016)

2.11.2 Daño en Vigas

i. Por cortante

La rotura por cortante se produce debido a la acumulación de fuerzas verticales en las vigas que no son bien soportadas debido a la insuficiente cantidad de acero transversal (estribos suficientes y con el espaciamiento adecuado) provocando el agrietamiento del elemento (ver Figura 8) y su posterior falla.



Figura 8. Falla por cortante en viga
Fuente: (UCR, 2012)

ii. Por flexión

Durante los eventos sísmicos se ha observado un gran número de grietas por flexión pura en las vigas (ver Figura 9), debido a la poca inercia de estos elementos y el deficiente refuerzo longitudinal en los mismos (Murillo, 2004).



Figura 9. Falla por flexión en viga
Fuente: (Sambrano, 2015)

2.11.3 Daño en Muros de Hormigón Armado

i. Por deslizamiento en la base

Este tipo de falla radica en una derivación de la falla por flexión producida al conectarse las grietas formadas por flexión en ambos extremos del muro (ver Figura 10), llegando

hasta las uniones (juntas) de construcción del muro. Este tipo de falla es muy peligrosa debido a que una vez formada la falla, el techo arrastra al muro en la dirección transversal a su plano, es decir los extremos superior e inferior del muro actúan paralelamente entre sí, pero se deslizan en sentido contrario (Á. San Bartolomé, Quiun, & Silva, 2011).

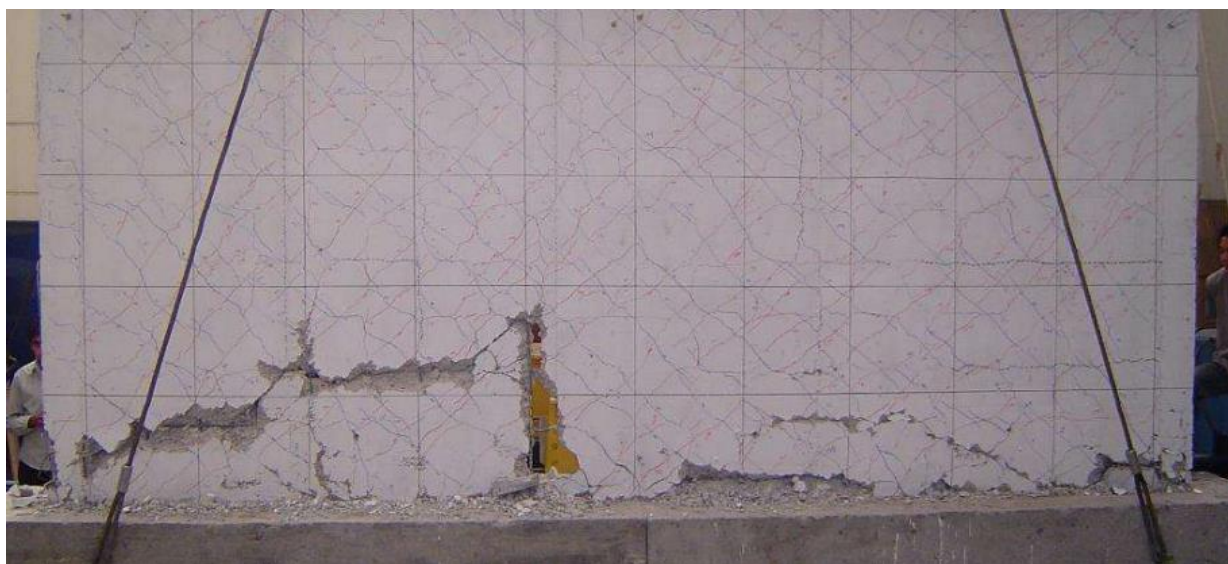


Figura 10. Falla en muro por deslizamiento de base
Fuente: (CNPCM, 2016a)

ii. Por tensión diagonal debida a cortante

Las fuerzas de los empujes horizontales producidos por un movimiento telúrico de gran magnitud ocasionan un aumento de carga hacia el muro que este no puede soportar, al darse este caso y estar el muro confinado entre elementos estructurales (vigas y columnas), estos le ocasiona un gran número de tensiones recibidas que producen la falla por cortante (ver Figura 11).



Figura 11. Falla en muro por tensión diagonal
Fuente: (CNPCM, 2016)

iii. Por flexión

Esta falla se da principalmente cuando la capacidad de resistencia al corte supera a la de flexión en el muro y se caracteriza por el balanceo de éste respecto de sus extremos, transmitiendo la carga vertical que soporta hacia el extremo comprimido, produciendo el aplastamiento del concreto en la base del muro (ver Figura 12), y su posterior rotura y/o colapso (Á. San Bartolomé et al., 2011).



Figura 12. Falla en muro por flexión
Fuente: (Á. San Bartolomé et al., 2011)

2.11.4 Daño en Muros de Mampostería

Las fallas más comunes que ocurren en muros de mampostería cuando estos se ven afectados ante la ocurrencia de un evento sísmico, se debe principalmente al mal confinamiento y poco refuerzo que existe en estos cuando exceden en longitudes y alturas considerables a las normales; los efectos que ocasionan este problema serían aplastamientos, tensiones diagonales por cortante (ver Figura 13), volteos y colapsos parciales y totales de los mismos.



Figura 13. Falla en muro debido a tensión diagonal por cortante
Cortesía: Ing. Pablo Caiza, Ph. D.

2.11.5 Daño en Uniones (Viga-Columna)

Durante las acciones dinámicas provocadas por los sismos es común que se concentren grandes esfuerzos en las uniones vigas-columnas. Estas uniones pueden fallar debido a varios factores, entre los más importantes se puede mencionar la insuficiencia de anclaje en esta zona que garantice la resistencia de la unión (ver *Figura 14*); y la falta de criterio al momento del diseño de la unión ocupando secciones de viga más grandes que las de la columna obviando el principio de viga débil-columna fuerte y nudo más fuerte (Lara, Aguirre, & Gallegos, 2018).



Figura 14. Falla en uniones viga-columna
Cortesía: Ing. Pablo Caiza, Ph. D.

2.11.6 Daño en Losas

Las edificaciones pueden presentar varios daños en las losas en función de su proceso constructivo, por ejemplo, las losas sin vigas (losas planas) son sumamente flexibles lo cual ocasiona el agrietamiento de las mismas por tracción diagonal alrededor de los apoyos lo que sugiere una falla de punzonamiento, que es incrementado debido a la falta de un volumen sólido de concreto alrededor de las columnas y la falta de refuerzo longitudinal suficiente en estas zonas (ver Figura 15).

Existen sistemas de piso que presentan un número excesivo de aberturas direccionadas a diversas funciones, por ejemplo, la construcción de escaleras o el paso de luz para edificaciones donde no es posible una suficiente iluminación con el uso de ventanas.

Por lo tanto, al tratar de satisfacer estas necesidades se deja de lado la simetría y con esto una falta de coincidencia entre el centro de masas y centro de rigideces de la estructura, ocasionado al final un grave problema de torsión que frente a la acción de un evento sísmico puede producir daños importantes e inclusive el colapso inminente de la edificación.

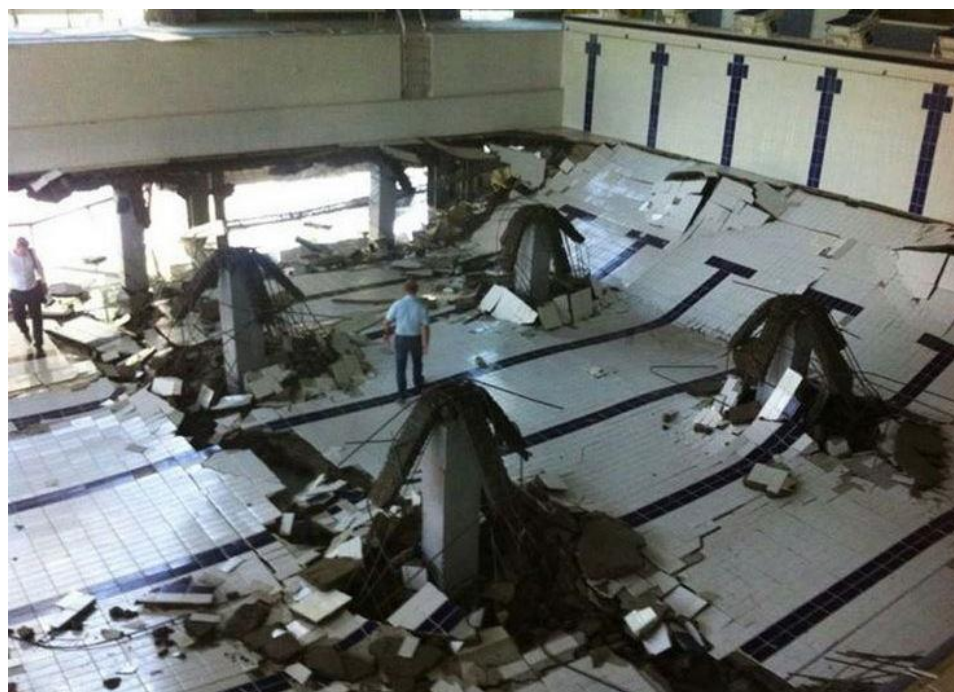


Figura 15. Falla en losa por punzonamiento
Fuente: (Morea, 2013)

2.12 Irregularidades en Edificaciones de Hormigón Armado

Las edificaciones de hormigón armado debido a problemas presentados durante su concepción, diseño o construcción; pueden presentar ciertas irregularidades que atraerán grandes problemas en caso de un evento sísmico, mismos que, podrían ocasionar que estas edificaciones sufran daño considerable, desencadenando su colapso parcial o total y por ende la pérdida de bienes materiales o de vidas humanas.

A continuación, se detallan las irregularidades más comunes en edificaciones de hormigón armado, de manera que puedan ser revisadas y evitadas en un proyecto de cualquier magnitud.

2.12.1 Piso Blando

Esta irregularidad se presenta muy a menudo en edificaciones utilizadas para locales comerciales, restaurantes o estacionamientos en la primera planta, y destinados para vivienda en las plantas superiores (ver Figura 16); esto se debe principalmente a la poca concentración de muros ya sean estructurales o de mampostería en la primera planta con respecto a los demás pisos, lo cual produce una diferencia de rigideces entre ambas zonas, lo cual a su vez genera que este primer piso se convierta en una zona de falla ante los desplazamientos laterales ocasionados por un evento sísmico (A. San Bartolomé, 2010).



Figura 16. Edificaciones con piso blando
Fuente: (A. San Bartolomé, 2010)

2.12.2 Columna Corta

Este tipo de irregularidad se manifiesta principalmente cuando una columna se encuentra restringida por la colocación de elementos estructurales o no estructurales que delimiten su altura (ver Figura 17), los mismos pueden ser: muros de mampostería, muros estructurales, vigas y losas de escaleras, entre otros; adicionalmente se presenta en edificaciones construidas en terrenos inclinados; al momento de restringir la longitud efectiva de la columna se genera que la misma aumente su rigidez y por lo tanto atraiga una fuerza sísmica mayor que una columna normal provocando su falla ya sea por cortante o por flexión debido a los esfuerzos que actúen sobre ella (Carrillo, 2008).



Figura 17. Falla por columna corta
Cortesía: Ing. Pablo Caiza, Ph. D.

2.12.3 Golpeteo entre edificaciones

Este tipo de irregularidad se da debido a la insuficiente o ninguna separación que se deja entre edificaciones adyacentes (ver Figura 18), las cuales durante una excitación sísmica vibran de distinta manera conduciendo al golpeteo entre ellas, el cual puede producir severos daños especialmente cuando los niveles de piso no coinciden entre las edificaciones en cuestión, produciendo que, las losas de una estructura golpeen a las columnas de la otra, afectándola gravemente.



Figura 18. Golpeteo entre edificaciones
Fuente: (EERI, 2016)

2.12.4 Torsión en la Edificación

Algunas edificaciones debido a que en su geometría presentan irregularidades o se caracterizan por ser complejas o asimétricas, tienen un mal comportamiento ante las fuerzas laterales ejercidas por un evento sísmico, produciendo la concentración de esfuerzos en los extremos de la edificación y dejándola vulnerable ante los efectos de la torsión, se debe prestar atención al momento del diseño de una edificación que ésta

presente una configuración simétrica (ver figura 19), de modo que el centro de rigideces coincida con el centro de masas (Carrillo, 2008).

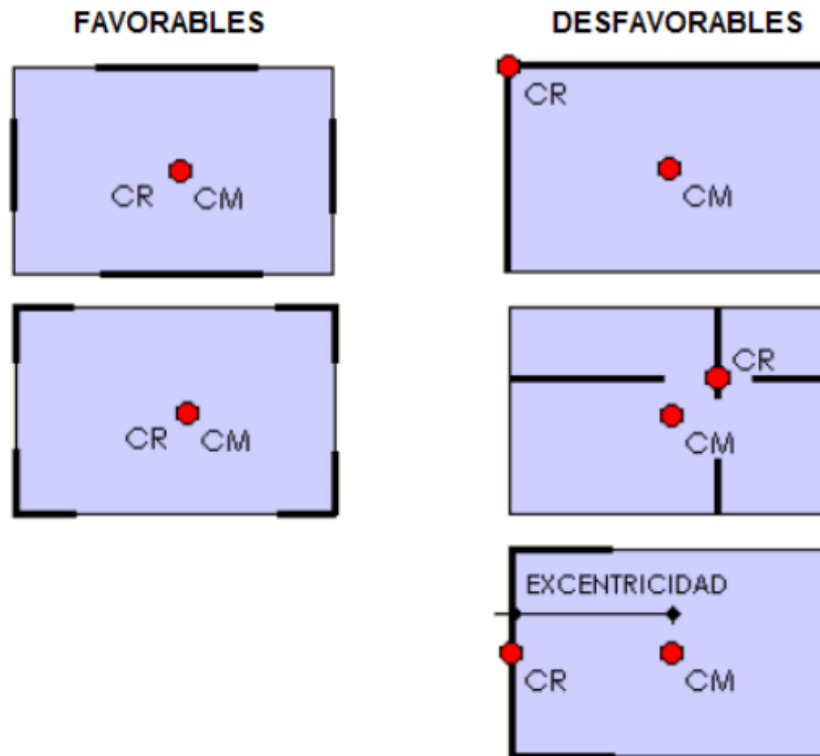


Figura 19. Configuraciones en planta de edificaciones
Fuente: (Carrillo, 2008)

2.13 Apuntalamientos

Un apuntalamiento es una construcción temporal que se instala para consolidar una edificación afectada por algún tipo de agotamiento estructural o deficiencia estática y está conformado por una serie de elementos que actúan en conjunto y cuya función principal radica en asegurar de forma provisional la estabilidad de alguno o todos los elementos

que conforman una edificación con el fin de evitar su colapso y de esta manera ofrecer protección a las edificaciones aledañas y personas que circulan por sus alrededores.

Para contener de cierta manera las deficiencias estáticas o agotamiento estructural provocado por una acción sísmica es necesario acudir a los apuntalamientos teniendo claro que esta no es una solución definitiva ni corrige la afectación, sino que proporciona el tiempo suficiente para un estudio más detallado del caso y la posterior solución definitiva, misma que podría ser la rehabilitación, reforzamiento o derrocamiento de la edificación en cuestión.

Las características básicas que debe presentar un apuntalamiento para que sea óptimo y cumpla con su función de la manera más efectiva posible son:

- Facilidad de diseño y construcción
- Conformados por materiales económicos
- Rápida aplicación
- Durabilidad a lo largo de su vida útil
- Maquinaria y personal mínimo para su aplicación

A la hora de realizar el trabajo de apuntalamiento se debe tener muy claras las causas que han ocasionado las lesiones en la edificación a apuntalar y las fallas que se presenten, de modo que se pueda seleccionar la opción más adecuada para cada caso ofreciendo de esta manera una solución práctica y rápida al problema de estabilidad.

A través de este análisis inicial se puede seleccionar distintas disposiciones constructivas según el requerimiento de apuntalar algún elemento en específico ya sea

una losa, una viga, una columna, un muro o una fachada, o también la combinación de estos distintos sistemas para asegurar completamente una edificación que presente un alto nivel de daño.

El proceso a la hora de realizar un apuntalamiento siempre tiene condiciones particulares para cada edificación, pero también se cuentan con recomendaciones generales que deben ser tomadas muy en cuenta a la hora de realizar este procedimiento.

El apuntalamiento siempre debe ser realizado desde abajo hacia arriba y se debe prestar puntual atención a la hora de insertar los elementos tomando las precauciones necesarias al hacer entrar en acción los apuntalamientos para no producir acciones directas sobre la edificación; además se debe verificar el punto de contacto entre los apuntalamientos y la edificación, asegurando la correcta transmisión de cargas hacia el suelo. Adicionalmente, ya colocado el apuntalamiento se debe verificar cada cierto tiempo de manera que se garantice que las uniones siguen en la posición correcta y los elementos que lo conforman no han sufrido ninguna clase de daño que reduzca su capacidad de soporte.

A lo largo de los años uno de los materiales más utilizados a la hora de construir un sistema de apuntalamiento ha sido la madera, debido a su gran resistencia, fácil transporte y rapidez de armado y unión de las piezas correspondientes.

Para acometer estos trabajos de apeo o apuntalamiento siempre hay que realizar un estudio previo de las causas que han producido las lesiones existentes en el edificio, a

fin de adoptar la solución más adecuada a cada caso, teniendo siempre presentes las variables de coste y tiempo de permanencia del apuntalamiento.

2.13.1 Funciones de los Apuntalamientos

De existir un evento sísmico, se presentan situaciones de riesgo por una inminente inestabilidad de la estructura. En estos casos, se privilegia la rapidez de ejecución por sobre toda otra consideración a fin de salvar vidas humanas o colapsos de edificaciones adyacentes. Por lo tanto, es indefectible que éstas se encuentren en óptimas condiciones, carentes de fisuras y sin excesivos nudos. Es así que un apuntalamiento es bueno cuando cumple las condiciones de sostener, retener y unir.

2.13.2 Tipos de Apuntalamientos

En los apuntalamientos se utilizan un gran número de piezas y elementos; para ello es necesario agruparlos en función a los diferentes esfuerzos que se pretendan contrarrestar y la posición que ocupan, de tal manera tenemos los siguientes:

2.13.3 Apuntalamiento Vertical

Son aquellos que permiten contrarrestar compresiones verticales, su uso generalmente está orientado a sostener elementos horizontales. Como parte de los

apuntalamientos verticales se destacan: apuntalamiento en T, tipo caja, postes simples y compuestos.

2.13.4 Apuntalamiento Horizontal

Son aquellos cuya función radica en evitar giros de elementos propensos a volcamientos. Además, se utilizan para sostener elementos verticales, dar estabilidad a zanjas y colaborar en el proceso de transmisión de cargas. Entre los más importantes se puede mencionar los apuntalamientos horizontales con codales y con postes.

2.13.5 Apuntalamiento Inclinado

Son aquellos que se utilizan fundamentalmente para evitar desplomes y al igual que los horizontales, para colaborar con otras piezas del apuntalamiento en el proceso de transmisión de cargas. Además, ayudan a sostener elementos verticales, así como horizontales. Los más importantes son: apuntalamiento inclinado a fricción, zapata mural, puntales inclinados simples.

2.14 Madera Estructural en Ecuador

Existe una buena variedad de especies maderables en el país que se podrían utilizar como madera estructural tanto para apuntalamientos como para elementos de soporte

en la construcción de edificaciones. La Tabla 1 presenta las principales especies clasificadas en sus respectivas categorías, de acuerdo al Manual De Diseño Para Maderas del Grupo Andino.

Tabla 1

Maderas del Ecuador estudiadas por el Manual del Grupo Andino

Nombre Común	Nombre Científico
Sande	Brosimum utile
Seique	Cedrelinga catenaeformis
Pacora	Cespedezia spathulata
Moral fina	Chlorophora tinctoria
Caimitillo	Chrysophyllum cainito
Pituca	Clarisia racemosa
Eucalipto	Eucalyotus globulus
Piaste	Guarea sp.
Mascarey	Hieronyma chocoensis
Chanul	Humiristrum procerum
Guayacán pechiche	Minquartia guianensis
Tangama	Parkia sp.
Pino insigne	Pinus radiata
Jíbaro	Pithecellobium latifolium
Romerillo fino	Podocarpus rospiglosii
Romerillo azuceno	Podocarpus oleifolius
Chimi	Pseudolmedia laevigata
Yumbinque	Terminalia amazonia
Fernán Sánchez	Triplaris guayaquilensis
Laguno	Vochysia macrophylla

Fuente: (CAMICON & MIDUVI, 2014)

2.15 Resumen del Capítulo

En este capítulo se abarcan todos los conceptos y la fundamentación teórica sobre la cual se desarrollará el proyecto de investigación. Se ha enfocado principal énfasis en el estudio de las fallas que afectan a las edificaciones de hormigón armado durante los sismos, mismas que los dejan vulnerables ante las réplicas que se puedan presentar luego del sismo principal, y que, en caso de no ser aseguradas correctamente podrían ocasionar el colapso parcial o total de la edificación.

Además, se realizó una revisión de conceptos básicos en lo que se refiere a sismicidad, estructuras, mitigación de riesgos, apuntalamientos y madera estructural en el Ecuador, mismos que serán utilizados y profundizados durante la elaboración de la guía de apuntalamiento de madera en edificaciones de hormigón armado post-terremotos.

CAPÍTULO III

SELECCIÓN DE APUNTALAMIENTOS Y MADERA ESTRUCTURAL

3.1 Selección de Apuntalamientos

En los últimos años, se ha dado una prioridad mayor a generar una mejora de estabilidad en las estructuras afectadas por sismos, a través del uso de apuntalamientos ya sea para evitar su colapso, asegurarla temporalmente mientras se analiza una restauración o reforzamiento, o para poder realizar labores de rescate de manera segura sin provocar mayores pérdidas humanas o materiales en el proceso.

Se ha observado la aparición de documentos que ayudan en esta labor, como la Guía de Operaciones de Apuntalamiento (GOA), elaborada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. (Programa de Búsqueda y Rescate Urbano), la cual establece criterios básicos a la hora de seleccionar y aplicar un sistema de apuntalamiento en un edificio dañado ya sea por acciones naturales (terremotos, inundaciones, vendavales, etc.) o por condiciones de otro tipo (bombardeos, explosiones, entre otros).

Este tipo de manuales son muy generales y no pueden ser aplicados directamente a las condiciones particulares que presenta el Ecuador, por lo cual debe ser adaptado considerando el uso que se le dará y los materiales presentes en el entorno, cumpliendo con los criterios básicos de selección de un sistema de apuntalamiento como son:

- Mayor facilidad de construcción

- Adecuada capacidad de soporte
- Materiales de fácil acceso
- Instalación rápida y sencilla

Con estas características en mente y después de la revisión bibliográfica realizada, se procedió a la selección de los sistemas de apuntalamiento más apropiados para la realización de la guía propuesta, mismos que serán detallados a continuación, con principal enfoque en las razones de su selección y sus principales condiciones de aplicación.

3.1.1 Apuntalamientos Verticales

Los apuntalamientos verticales son principalmente utilizados a la hora de asegurar y estabilizar techos o pisos que hayan perdido parte de su capacidad portante o presenten daño que afecte su resistencia, además pueden ser utilizados para sustituir muros o paredes de soporte que se encuentren dañadas o sufrieran colapsos durante la situación de emergencia.

3.1.1.1 Apuntalamiento Vertical tipo Caja

Este apuntalamiento (ver Figura 20) fue seleccionado principalmente por su gran capacidad de carga probada experimentalmente por el Grupo de Rescate Urbano,

además de su facilidad de construcción, principalmente está pensado para transmitir la carga de losas dañadas a una fundación estable de manera óptima y segura.

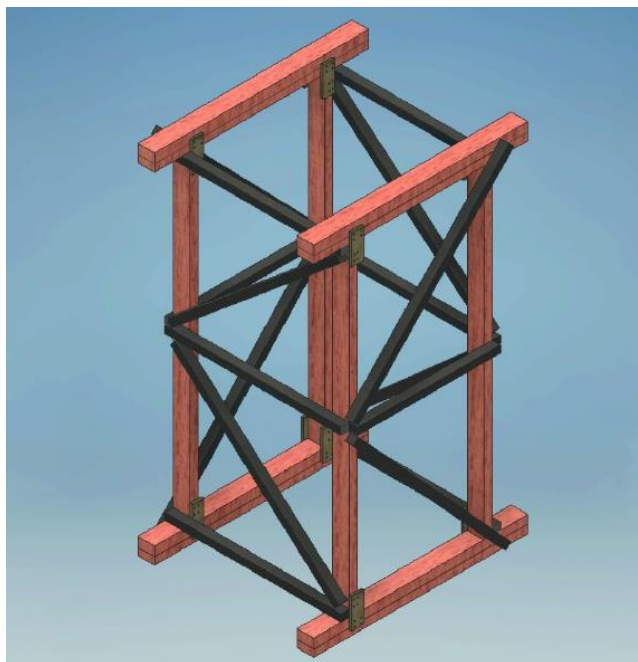


Figura 20. Apuntalamiento Vertical tipo Caja

Este tipo de apuntalamiento fue sometido a una prueba de carga realizada por la Unidad de Búsqueda y Rescate Urbano perteneciente al Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU., en la cual una vez construido el apuntalamiento y estando asegurado el perfecto ajuste a la estructura, se puso en carga bajando los gatos hidráulicos de forma simultánea y controlada. Una vez que esta primera losa estuvo colocada sobre el sistema, se fueron colocando de forma progresiva más losas de hormigón hasta alcanzar una carga total puntual de 15,600 kg (ver Figura 21), ligeramente por encima de su carga nominal de trabajo, que según la GOA es de 14,500 kg (32,000 libras).

En este momento se observó un ligero pandeo de los puntales, pero que no produjo ningún tipo de fractura o rotura en ninguno de sus componentes. No se percibieron crujidos en la madera, típicos cuando está sometida a un gran esfuerzo de compresión, por lo que la impresión general de los participantes del ensayo fue que aún se disponía de mayor capacidad de carga, que teniendo en cuenta que su carga nominal es de los ya mencionados 14,500 kg proporciona un considerable margen o coeficiente de seguridad. Para comprobar su resistencia en el tiempo, el sistema se dejó en carga con 12,000 kg durante 24 horas más, sin que se produjera ninguna lesión, de hecho, ni siquiera se desajustaron las cuñas.



Figura 21. Prueba de carga
Fuente: (J. Sánchez, 2015)

3.1.1.2 Apuntalamiento Vertical en T

Este tipo de apuntalamiento cumple una función muy similar al apuntalamiento de caja a la hora de apuntalar losas dañadas, presentando una configuración mucho más simple pero menos resistente (ver Figura 22). Se recomienda su utilización cuando la carga de la losa a apuntalar sea relativamente baja, ya que al ser una losa bastante pesada la mejor opción sería el apuntalamiento de caja.

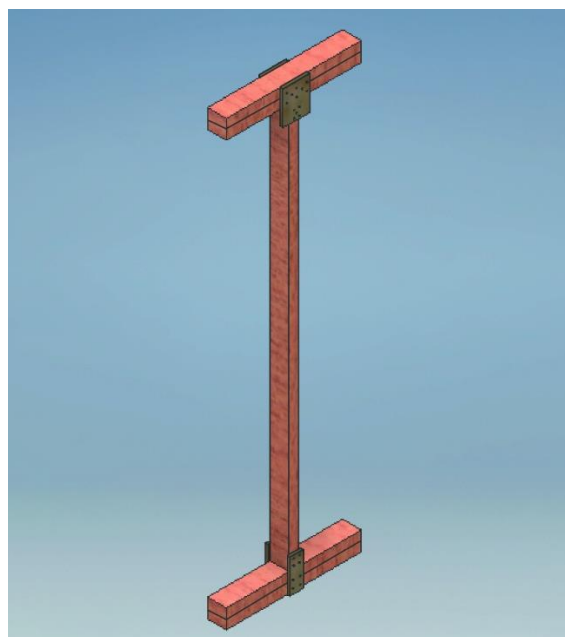


Figura 22. Apuntalamiento Vertical en T

3.1.2 Apuntalamientos Inclina

El propósito principal del apuntalamiento inclinado, es de proveer soporte a las paredes y columnas inestables o débiles, transfiriendo el peso adicional a través del contraviento,

hacia el suelo u otros soportes de miembros estructurales y lejos de la pared o columna. Los refuerzos inclinados deben ser siempre instalados en serie, al menos dos deben ser levantados en cualquier situación dada, y sujetos en conjunto con una separación recomendada de 2.4 metros.

3.1.2.1 Apuntalamiento tipo Zapata Mural (refuerzo inclinado fijo)

La zapata mural es un tipo de apuntalamiento muy utilizado a la hora de sostener paredes y muros en peligro de colapso debido a su solidez y facilidad de construcción. Se basa en la unión de dos apuntalamientos de orden simple y apoyo simple a través de riostras de madera para garantizar su trabajo en conjunto (ver Figura 23).

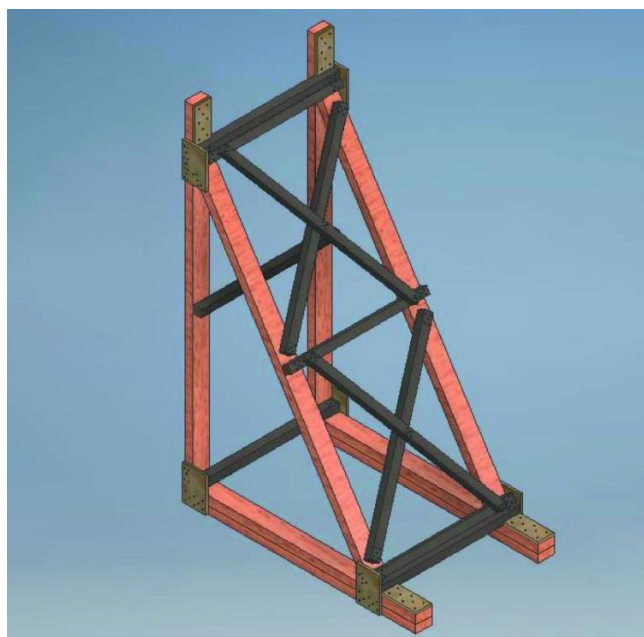


Figura 23. Apuntalamiento tipo Zapata Mural

3.1.2.2 Apuntalamiento Inclinado Simple

Este tipo de apuntalamiento inclinado debido a su configuración ofrece un apoyo mayor al elemento a apuntalar debido a sus dos travesaños que transmiten las cargas recolectadas por el durmiente hacia la base del apuntalamiento (ver Figura 24), además igual que en el caso de la zapata mural, puede combinarse con otros de su mismo tipo para aumentar la capacidad de carga del sistema de apuntalamiento.

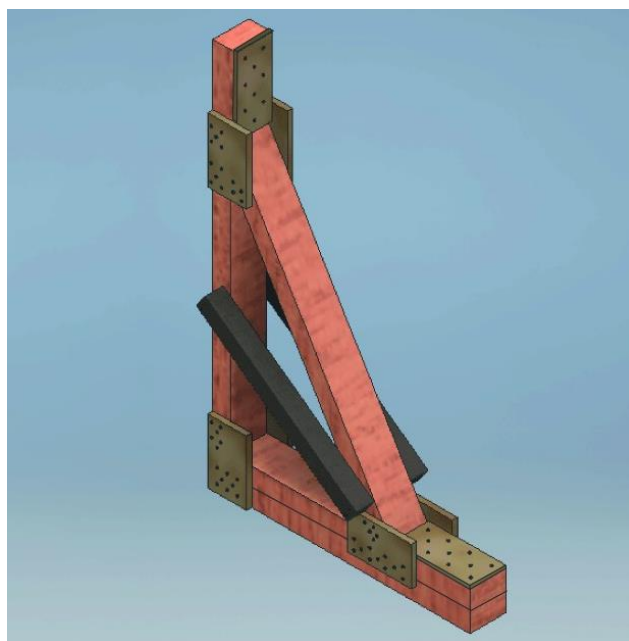


Figura 24. Apuntalamiento Inclinado Simple

3.1.2.3 Apuntalamiento inclinado a fricción (aéreo)

Este tipo de apuntalamiento es usado normalmente para el aseguramiento de paredes o muros dañados que presenten escombros en su base que no pueden ser retirados, de

modo que garantizan su estabilidad a través de la fricción que generan con el suelo (ver Figura 25), sin apoyarse directamente en la base del muro, permitiendo una mayor facilidad de instalación sin necesidad de realizar una limpieza previa de los escombros.



Figura 25. Apuntalamiento Inclinado a fricción

3.1.3 Apuntalamientos Horizontales

Este tipo de apuntalamiento es usado principalmente al momento de apuntalar paredes o muros dañados que se encuentren en peligro de sufrir una falla por volteo. También son de suma utilidad a la hora de separar una edificación de otra para evitar que se golpeen entre sí y sufran más daño.

3.1.3.1 Apuntalamiento Horizontal de 2 Postes

Este tipo de apuntalamiento fue seleccionado debido a su facilidad de construcción. Funciona de manera tal que se puede ofrecer sostén y estabilidad a una pared o muro dañado, a través de un elemento horizontal en buen estado (ver Figura 26).

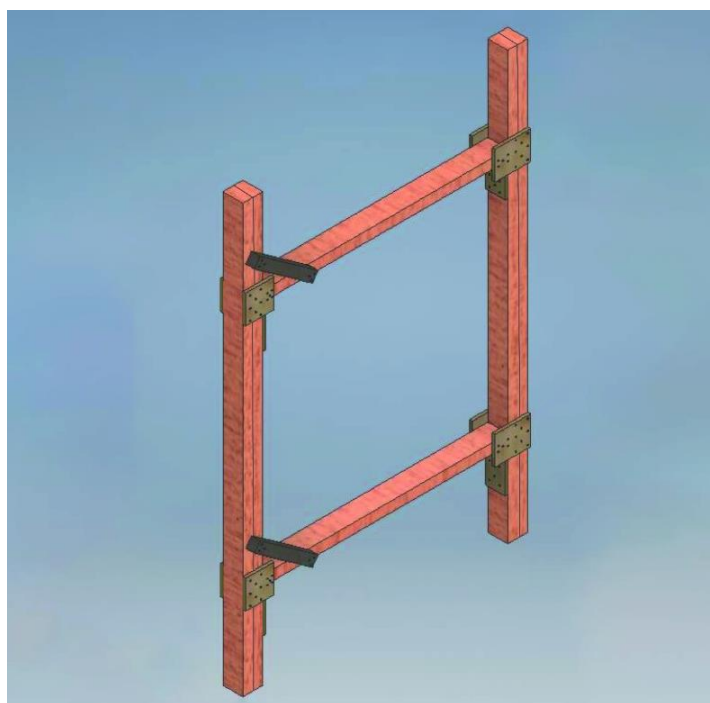


Figura 26. Apuntalamiento Horizontal de 2 postes

3.1.3.2 Apuntalamiento Horizontal de codales (tornapuntas)

Este apuntalamiento es uno de los más utilizados al momento de apuntalar con elementos horizontales. Presenta una gran capacidad de carga, y su construcción facilita una transmisión adecuada de la carga del elemento a apuntalar a una base sólida.

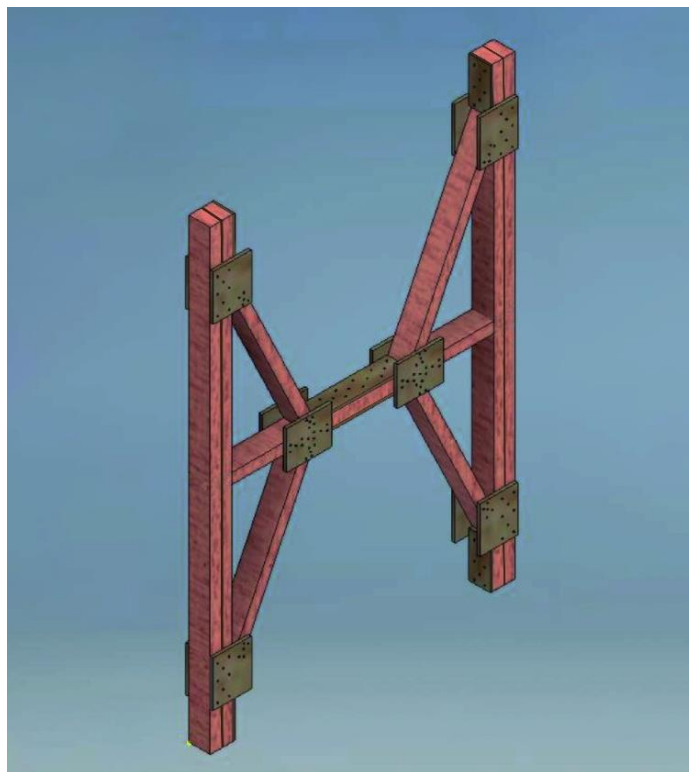


Figura 27. Apuntalamiento Horizontal de codales

3.2 Selección de Madera

3.2.1 Antecedentes

Desde la antigüedad la madera ha sido el recurso natural más empleado por el hombre en la construcción debido a que posee cualidades muy adecuadas (resistencia, ligereza y su carácter de material renovable) que lo han catalogado como un material de uso estructural para este sector desde los inicios de la civilización.

En el Ecuador, debido a sus extensos bosques nativos (actualmente protegidos) y plantados, es evidentemente posible el acceder a este material como uso para la construcción y no solamente recae en la cantidad de la disponibilidad de éste; sino también de su diversidad en cuanto a especies, esto se debe a que el territorio ecuatoriano se concentra en un espacio relativamente pequeño, expuesto a diferentes pisos climáticos que tienen la particularidad de ofertar un intercambio considerable de especies y hacer posible su obtención y transporte de un lugar a otro.

La madera orientada a un uso estructural como parte de la estructura en construcción la lleva a considerarse útil en el área de post terremotos, debido a que en primera instancia sus propiedades físicas y mecánicas responden de forma óptima en cuanto a su comportamiento frente a la actividad sísmica.

3.2.2 Marco Normativo y Referencia

La normativa vigente en el Ecuador sobre la construcción en estructuras de madera así como el correcto uso, empleo y tratamiento del mismo material corresponde a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) con su capítulo correspondiente a seguridad estructural para estructuras de madera (NEC-SE-MD) y su anexo como Guía Práctica de Diseño N°4 de conformidad a la norma antes mencionada. Éstas conforman la base legal propia para establecer los lineamientos de selección de la madera dentro de la Guía de apuntalamiento en madera para situaciones de emergencia post-terremotos.

Es importante mencionar que la información contenida en este capítulo, recopila la investigación realizada en el Manual De Diseño Para Maderas Del Grupo Andino, misma que será utilizada como marco de referencia para establecer rangos de clasificación de las especies de madera, que se considerarán en este capítulo.

La referencia mencionada está respaldada y sustentada por varios ensayos efectuados en los diferentes laboratorios de los 5 países del Pacto Andino, del cual el Ecuador forma parte como miembro de la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC).

Dentro de esta investigación se seleccionará a la madera de acuerdo a su uso estructural y a la realidad del material en nuestro país. Para lo que también se ha considerado la investigación titulada Catálogo De Madera Estructural en Ecuador realizada por el Grupo de Investigación de la Escuela de Arquitectura bajo el amparo de la Universidad del Azuay y con ayuda del Laboratorio de Arquitectura, Tecnología y Procesos (LAT) de la misma institución.

3.2.3 Especies estudiadas por el Manual para Maderas del Grupo Andino

A través del estudio realizado por la JUNAC en relación al grupo de Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales (PADT-REFORT), se determinaron veinte especies tropicales de madera en el Ecuador. La metodología utilizada tomó en cuenta tres parámetros de agrupamiento como: la identificación botánica, la selección por calidad y la resistencia (PADT-REFORT, 1984).

Es importante recalcar que para la investigación no se profundizó las correlaciones existentes entre defectos, deformación y resistencia de las piezas pequeñas de madera, puesto que no son suficientes para definir propiedades de diseño aplicables a elementos estructurales de tamaño natural, que lógicamente incluyen los defectos alterando su rigidez y resistencia (PADT-REFORT, 1984).

A continuación, se muestra una tabla de las especies analizadas por el PADT-REFORT/JUNAC, donde se puede visualizar que, de las veinte especies, cinco no cumplen con la densidad mínima de 400 kg/m^3 , la cual determinaría si la madera es de uso estructural de acuerdo a lo establecido por la NEC-SE-MD.

Tabla 2

Lista de Especies de madera del Ecuador estudiadas en el PADT-REFORT

Ítem	Nombre Científico	Nombre Común	Densidad Básica (kg/m^3)
1	Brosimum utile	Sande	400
2	Cedrelinga catenaeformis	Seique	370
3	Cespedezia spathulata	Pacora	540
4	Chlorophora tinctoria	Moral fina	710
5	Chrysophyllum cainito	Caimitillo	740
6	Clarisia racemosa	Pituca	510
7	Eucalyotus globulus	Eucalipto	550
8	Guarea sp.	Piaste	430
9	Hieronyma chocoensis	Mascarey	590
10	Humiriastrum procerum	Chanul	660
11	Minquartia guianensis	Guayacán pechiche	760

CONTINÚA

12	<i>Parkia</i> sp.	Tangama	330
13	<i>Pinus radiata</i>	Pino insigne	390
14	<i>Pithecellobium latifolium</i>	Jíbaro	360
15	<i>Podocarpus rospiglosii</i>	Romerillo fino	570
16	<i>Podocarpus oleifolius</i>	Romerillo azuceno	440
17	<i>Pseudolmedia laevigata</i>	Chimi	620
18	<i>Terminalia amazonia</i>	Yumbingue	610
19	<i>Triplaris guayaquilensis</i>	Fernan Sánchez	530
20	<i>Vochysia macrophylla</i>	Laguno	360

Fuente: (PADT-REFORT, 1984)

Las especies de madera mostradas en la Tabla 2, cuentan con una investigación detallada a profundidad. Los ensayos fueron realizados y comprobados en laboratorios, y las muestras de cada especie fueron lo suficientemente numerosas para adquirir datos estadísticamente confiables.

Es así que de este grupo de maderas se seleccionarán las especies catalogadas como estructurales por el PADT-REFORT/JUNAC. Adicionalmente, se incluirán las especies de madera de uso más común dentro del territorio nacional, las mismas que serán implementadas en la guía de apuntalamiento.

Estas últimas cuentan con el sustento bibliográfico suficiente en cuanto a información que no se ha señalado por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. El sustento normativo será lo que indique la norma vigente ecuatoriana NEC-15.

3.2.4 Especies estudiadas por el Catálogo de Madera Estructural en el Ecuador

El Catálogo de Madera Estructural en el Ecuador presenta información puntual e importante en cuanto a cuarenta especies de madera catalogada como estructural dentro de las cuatro regiones del país (ver Tabla 3); donde enfatizan sus características generales, usos específicos de construcción, propiedades físicas y arquitectónicas, mismas que brindarán información adicional a la madera seleccionada que se implementará en la guía de apuntalamiento de este estudio.

Cabe mencionar que dentro de la sección titulada “Protocolo simplificado de ensayo realizado (Anexo 2)” descrito en el mismo catálogo, se especifica en el punto diez la realización de tres ensayos por cada especie de madera analizada, mismos que no evidencian una muestra representativa que permita realizar un estudio estadístico confiable en cuanto a las propiedades físicas; por lo cual los datos de las características generales y las propiedades arquitectónicas servirán como complemento a los señalados en el Manual De Diseño Para Maderas Del Grupo Andino.

Tabla 3

Lista de Especies del Catálogo de Madera Estructural del Ecuador

Nº	Especie	Nº	Especie	Nº	Especie	Nº	Especie
1	Moral	11	Arenillo	21	Copal	31	Cedro
2	Roble	12	Jigua	22	Laurel de la costa	32	Teca
3	Amarillo	13	Laurel del Oriente	23	Fernán Sánchez	33	Abío
4	Guachapelí	14	Seique	24	Eucalipto	34	Nogal

CONTINÚA

5	Chanul	15	Canelo	25	Pino	35	Guayacán
6	Figueroa	16	Ciprés	26	Alcanfor	36	Cedro Negro
7	Melina	17	Limoncillo	27	Cedro Macho	37	Capulí
8	Romerillo	18	Pechiche	28	Yumbingue Amarillo	38	Jicopo
9	Bálsamo	19	Mascarey	29	Yumbingue Blanco	39	Nacascal
10	Caoba	20	Yaso	30	Yumbingue Negro	40	Pituca

Fuente: (Espinosa et al., 2018)

3.2.5 Madera como material estructural

Por naturaleza y origen orgánico la madera ha formado parte del sistema estructural de soporte en relación al tronco del árbol (zona donde se obtiene la misma), considerándose la columna vertebral cuyo propósito principal es brindar de soporte al árbol, en cuanto al peso propio del mismo y frente a agentes externos como lluvias e inundaciones y en casos pocos comunes en el Ecuador, como vientos torrenciales.

Es importante aclarar que las ventajas que posee la madera lo han posicionado como un material óptimo y accesible para el uso estructural, desde su versatilidad para cubrir diferentes necesidades, su fácil manejo de trabajar, sus propiedades estructurales, hasta su disponibilidad y adaptabilidad a casi todos los medios geográficos donde se la emplee.

Es así que las propiedades físico-mecánicas de la madera no tan solo dependerán de factores propios sino también de externos como el clima, edad de corte y el lugar de crecimiento por mencionar los más importantes; los cuales determinarán en su totalidad su uso correcto y su durabilidad como material de construcción (Espinosa et al., 2018).

Dentro del área post terremotos, el presente estudio se limitará a saber escoger la madera de acuerdo al lugar donde se produzca el evento sísmico. El aspecto de durabilidad se manejará en el ámbito de recomendaciones; esto debido a que la selección de la madera en cuanto al objetivo primordial de la guía es solo de uso temporal, por lo cual, los temas de mantenimiento y tratamientos entran en importancia si el uso de los sistemas de apuntalamiento se extiende a meses y años.

3.2.6 Madera y su manejo sustentable

En el Ecuador actualmente, a través del Ministerio del Ambiente (MAE) y el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MA-GAP), se impulsa un manejo sustentable de los bosques por medio de procesos de reforestación programada y sistematizada a fin de explotar la madera de forma controlada sin dejar huella ambiental alguna. Es importante saber que existen zonas de protección permanente en el Ecuador donde se ha definido que la tala de árboles es prohibida (MA-GAP, 2016).

El Ministerio del Ambiente desde el 2015 cuenta con un plan de manejo forestal sustentable que describe lineamientos puntuales para lograr un manejo forestal sostenible a través de inventarios que describan las especies existentes en la zona donde se va a extraer los árboles, de los cuales si son protegidos pertenecerán a especies en veda. Además de estos, tampoco será posible la extracción de árboles que tengan importancia ecológica, fuente de alimento de animales o elemento especial del hábitad (MA-GAP, 2016).

Este tema es muy importante dentro de la guía de apuntalamiento en madera, puesto que de acuerdo al aspecto de uso que se le oriente será fundamental saber si la madera seleccionada se encuentra en oferta y no posee alguna prohibición o veda temporal.

De acuerdo a la investigación desarrollada por la Universidad del Azuay y su grupo de investigadores el Cedro, Caoba y Yumbingue Negro son especies actualmente vedadas pero se espera que entren en explotación paulatina dentro de 15 o 18 años. Además señalan que la teca, pino, eucalipto son las especies con características estructurales que más se producen en el país, debido a que su crecimiento es relativamente rápido y se pueden conseguir fácilmente (Espinosa et al., 2018).

3.2.7 Madera de uso estructural de acuerdo a su resistencia

Como se indicó en la sección 3.2.4 párrafo 2, la clasificación de la madera de acuerdo al Catálogo de Madera Estructural en el Ecuador (propiedades físicas) no será tomada en cuenta ya que la clasificación de cada especie depende de su clase resistente conforme a lo que indica el Eurocódigo 5 (En 1995: Proyecto de Estructura de Madera) y los ensayos se basaron en la normativa UNE-EN 408:2004, misma que no rige en el Ecuador. Por lo que, la clasificación de la madera estructural, de acuerdo a su resistencia, se la seleccionó considerando lo que indica el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

Dentro de este manual en su sección “Agrupación de maderas tropicales en grupos estructurales”, perteneciente al capítulo tres (La madera como material de construcción),

se clasifican las especies ensayadas por el PADT-REFORT en tres grupos estructurales, en función de su resistencia y densidad básica.

El agrupamiento de las especies ensayadas está relacionado al valor de la densidad básica (relación entre el peso seco al horno y el volumen verde) indicado en la Tabla 4, donde el primer grupo estructural se denomina A correspondiente al grupo de maderas de mayor resistencia, cuyo valor de densidad básica está en el rango de 710 a 900 kg/m³. El segundo se denomina B correspondiente al grupo intermedio cuyo rango está entre 560 a 700 kg/m³. El último grupo denominado C correspondiente al grupo de menor resistencia con valores entre 400 y 550 kg/m³.

Tabla 4

Grupos de Madera Estructural estudiadas en el PADT-REFORT

Grupo	Especie de madera	Densidad Básica (kg/m ³)
A	Caimitillo	710 - 900
	Guayacán pechiche	
B	Chanul	560 - 700
	Moral fino	
	Pituca	
C	Fernán Sánchez	400 - 550
	Mascarey	
	Sande	

Fuente: (PADT-REFORT, 1984)

Además, el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino especifica que para determinar los esfuerzos básicos para cada una de las propiedades resistentes de la

madera se obtuvieron de probetas pequeñas libres de defectos y ensayadas según la norma ASTM D-143 y las normas COPANT. La resistencia a la compresión paralela, la compresión perpendicular, la flexión, tracción y corte paralelo son las principales propiedades resistentes de la madera que menciona este manual. Aquí se establecen rangos de valores de esfuerzos admisibles que van de acuerdo a cada grupo estructural de madera tipo A, B y C según corresponda (PADT-REFORT, 1984).

La información recopilada del Catálogo de Madera Estructural en el Ecuador sobre la madera de acuerdo al uso estructural servirá de referencia adicional en cuanto a su correcto uso y selección al momento de implementar la guía de apuntalamiento post-terremoto. Por tanto, es necesario poner en conocimiento los criterios que se utilizaron para la clasificación de la madera estructural dentro de este documento.

Dentro del catálogo, se indican tres parámetros de selección que determinaron el conjunto de especies en un número reducido para su posible clasificación.

El primer parámetro es el tema ambiental donde se establece cuáles especies cuentan con prohibiciones o restricciones y además cuáles cuentan con políticas de reforestación para su viable explotación.

El segundo parámetro se basa en requisitos conforme a las características físico-mecánicas y propiedades arquitectónicas que determinen su condición estructural; la densidad es el requisito más importante ya que la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en su capítulo estructural de madera (NEC-SE-MD) establece que una densidad mínima de 400 kg/m^3 determina que la madera es de uso estructural.

Otros requisitos importantes para la implementación de la guía de apuntalamiento post-terremoto e igualmente señalados en la investigación es el tamaño y forma de la especie, necesarios para la obtención de las piezas de madera de dimensiones adecuadas para la construcción de cada sistema de apuntalamiento proporcionado en la guía (CAMICON & MIDUVI, 2014).

El último parámetro hace énfasis a sus características arquitectónicas y constructivas, importantes respecto a la durabilidad y mantenimiento de la madera en cuanto al tema de respuesta frente a factores externos.

3.2.8 Selección de la madera estructural

De acuerdo a lo mencionado en las secciones 3.2.3, 3.2.4, 3.2.6 y 3.2.7 se han seleccionado veinte especies de madera que se detallan en la Tabla 5, siguiendo el criterio de agrupamiento impuesto por el manual del Grupo Andino, clasificándolas en grupos estructurales con sus respectivas densidades básicas.

Las especies de madera que no aparecen dentro de las estudiadas por la PADT-REFORT/JUNAC para Ecuador se escogieron en función del uso común de estas dentro del país; por ejemplo, especies de madera como Teca, Colorado, Caoba, Roble, Nogal, Eucalipto, Ciprés y el Cedro poseen densidades básicas superiores a 400 kg/m^3 que es lo que exige la NEC-SE-MD haciendo posible su uso dentro de la Guía de Apuntalamiento en Madera para Edificaciones de Hormigón Armado orientada a situaciones de emergencias Post-Terremotos que se le conocerá por el siguiente código (GA-MD-HA).

Tabla 5*Selección de especies de madera estructural para la GA-MD-HA*

Grupo	N°	Especie de madera	Densidad (kg/m³)	
A	1	Caimitillo	740	
	2	Guayacán pechiche	760	
B	3	*Chanul	660	
	4	Moral fino	710	
	5	(***) Teca	530	
	6	Colorado	650	
	7	(*) (***) Caoba	520	
	8	(***) Roble	540	
	9	Nogal	560	
	10	Pituca	510	
	C	11	Fernán Sánchez	530
		12	Mascarey	590
13		Eucalipto	550	
14		(**) Seique	370	
15		Ciprés	400	
16		(**) Pino Insigne	390	
17		Pacora	540	
18		*Cedro	420	
19		(**) Laurel	390	
20		Sande	400	

Fuente: (ITTO, 2019; MA-GAP, 2016)

Es importante mencionar que el Chanul, el Cedro y la Caoba (*) de acuerdo a lo indicado en la sección 3.2.6, son especies actualmente vedadas (explotación restringida); además, la Teca, Caoba y el Roble (***) haciendo mención a lo que establece el manual del Pacto Andino no pertenecerían al grupo estructural tipo B por sus densidades

menores a 560 kg/cm^3 ; sin embargo, se recomienda utilizar los valores de este grupo por las favorables características propias de estas especies.

Otras especies de uso común como el Seique, Pino Insigne y el Laurel (**) no cumplen con la densidad básica mínima impuesta por la norma antes mencionada; sin embargo, se implementarán dentro de la clasificación por las propiedades mecánicas que tienen estas maderas, aclarando que serán catalogadas dentro del grupo estructural tipo C.

Casos especiales en especies de madera como el Chimi, Romerillo Fino y Yumbingue catalogadas como madera estructural tipo B, y especies como el Piaste y Romerillo Azuceno de tipo C no se consideraron dentro de la selección de madera para la Guía de Apuntalamiento ya que no es muy frecuente su uso en el país. Por lo que se recomienda que, si las circunstancias ameritan el uso exclusivo de estas especies, se las clasifique de acuerdo a los grupos estructurales por densidades básicas determinadas en el manual del Pacto Andino.

3.2.9 Selección de la madera de acuerdo a su costo y lugar de cultivo

El valor comercial es muy importante en la selección de la madera al momento de adquirirla físicamente ya que permite tener una perspectiva clara en la toma de decisión del usuario en función de la relación costo-beneficio de la madera que se utilizará para la elaboración del apuntalamiento. En la Tabla 6, se detalla el costo de las especies seleccionadas que se incluirá en la guía.

Tabla 6*Selección de especies de madera en función a su costo en el mercado*

N°	Alto Mayor a \$20	N°	Medio Entre \$15 a \$20	N°	Bajo Menor a \$15
1	Caimitillo	11	Pituca	17	Fernán Sánchez
2	Guayacán pechiche	12	Mascarey	18	Eucalipto
3	Chanul	13	Seique	19	Pino Insigne
4	Moral fino	14	Ciprés	20	Laurel
5	Teca	15	Pacora		
6	Colorado	16	Sande		
7	Caoba				
8	Roble				
9	Nogal				
10	Cedro				

Fuente: (Espinosa et al., 2018)

Para verificar que los precios de cada especie de madera mostrados en la Tabla 6, se realizó consultas vía telefónica o visitas presenciales a varios aserraderos del país. Con la información obtenida de estas actividades se pudo corroborar que los precios no han variado mayormente en este último año y se mantienen dentro de los rangos establecidos en la tabla mencionada.

Así mismo, es significativo indicar el lugar de cultivo de la madera estructural seleccionada para el apuntalamiento debido a que facilitará la pronta obtención de la misma en cualquier región del país en la cual sea requerida. El lugar de cultivo de las especies seleccionadas para la GA-MD-HA se detalla en la Tabla 7.

Según la arquitecta Eva Arpi C, ayudante en la investigación para la elaboración del Catálogo De Madera Estructural En Ecuador, el parámetro costo utilizó como base el

valor en el mercado de un tablón de cada especie. Explica también que la madera fue comprada en formato de tablón en varios depósitos comerciales mayoristas y minoristas. Los tabloneros se consiguieron en distintas dimensiones, dependiendo de su especie, o lugar de compra. Generalmente, estos venían aproximadamente de 18cmx22cmx3m o de 15cmx30cmx3m.

Tabla 7

Selección de especies de madera de acuerdo al lugar de cultivo en el país

Grupo	Especie de madera	Lugar de cultivo (Provincias)
A	Caimitillo	Morona Santiago
	Guayacán pechiche	Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro, Pichincha, Bolívar, Chimborazo, Loja, Sucumbíos, Napo, Pastaza, Morona Santiago
B	Chanul	Esmeraldas, Carchi
	Moral fino	Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, Azuay, Loja, Sucumbíos, Morona Santiago, Zamora Chinchipe
	Teca	Esmeraldas, Manabí, Santo Domingo, Los Ríos, Guayas, El Oro, Cañar, Napo
	Colorado	Guayas, El Oro, Loja, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Napo, Pichincha
	Caoba	Esmeraldas, Galápagos (insular), Napo, Zamora Chinchipe
	Roble	Esmeraldas, Los Ríos, Napo
	Nogal	Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Bolívar, Cañar, Azuay, Loja, Napo, Morona Santiago
	Pituca	Esmeraldas, Los Ríos, Pichincha, Sucumbíos, Napo, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe

CONTINÚA

C	Fernán Sánchez	Esmeraldas, Los Ríos, Guayas, El Oro, Loja, Sucumbíos, Napo, Pastaza, Morona Santiago
	Mascarey	Esmeraldas, Guayas, Imbabura, Pichincha, Bolívar, Chimborazo, Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe
	Eucalipto	Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Cañar, Azuay
	Seique	Azuay, Sucumbíos, Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe
	Ciprés	Pichincha, Bolívar, Azuay, Cotopaxi
	Pino Insigne	Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Azuay
	Pacora	Esmeraldas, al este de los Andes
	Cedro	Esmeraldas, Manabí, Guayas, Pichincha, Cotopaxi, Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe
	Laurel	Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro, Carchi, Imbabura, Bolívar, Cañar, Loja, Napo, Morona Santiago
	Sande	Esmeraldas, Los Ríos, Pichincha, Sucumbíos, Morona Santiago, Zamora Chinchipe

Fuente: (Espinosa et al., 2018; MA-GAP, 2016)

3.2.10 Secciones preferenciales en la selección de la madera

En la guía de apuntalamiento en madera se ocupan como referencia las secciones propuestas por la PADT-REFORT, las cuales son dimensiones mínimas aceptables de madera aserrada y seca, y el uso está netamente orientado para la construcción. Sin embargo, se permite el uso de secciones distintas a las especificadas dependiendo de la disponibilidad en el mercado; siempre y cuando se realice la verificación de los esfuerzos admisibles de los elementos que forman parte del apuntalamiento en cuestión.

3.2.11 Esfuerzos admisibles de las especies seleccionadas

Una vez realizada la clasificación es necesario resaltar los valores de los esfuerzos máximos admisibles de las veinte especies de madera seleccionadas con la finalidad de verificar que dichos valores se mantengan dentro de los rangos de esfuerzos admisibles para madera estructural establecidos por la NEC-SE-MD; la Tabla 8 se extrajo del Manual De Diseño para Maderas del Grupo Andino, sin embargo, son los mismos valores que señala la NEC-15.

Tabla 8

Esfuerzos máximos admisibles (kg/cm²)

Grupo de Madera	Flexión f_m	Tracción Paralela f_t	Compresión Paralela $f_{c//}$	Compresión Perpendicular f_c	Corte Paralelo f_v
A	210	145	145	40	15
B	150	105	110	28	12
C	100	75	80	15	8

Fuente: (PADT-REFORT, 1984)

3.2.12 Propiedades elásticas de las especies seleccionadas

El módulo de elasticidad y el módulo de corte sin duda representan las características elásticas de un material. El Manual De Diseño para Maderas del Grupo Andino señala que la madera como material ortotrópico tiene tres módulos de elasticidad, tres de corte y seis de Poisson pero que desde el punto de vista ingenieril puede suponerse que el material es homogéneo y considerarse un valor de módulo de elasticidad, uno de corte y

uno Poisson. En la Tabla 9, se muestran los módulos de elasticidad para cada grupo estructural de madera establecidos por la PADT-REFORT.

Tabla 9
Módulos de Elasticidad (kg/cm²)

Grupo de Maderas	E_{\min} (kg/cm ²)	E_{promedio} (kg/cm ²)
A	95,000	130,000
B	75,000	100,000
C	55,000	90,000

Fuente: (PADT-REFORT, 1984)

3.3 Resumen del Capítulo

En este capítulo se efectúa la selección de los apuntalamientos que están incluidos en la guía de apuntalamiento en madera y que son modelados en el capítulo siguiente; los mismos que son: apuntalamientos verticales (tipo caja y en T), apuntalamientos inclinados (simple, a fricción y tipo zapata mural) y apuntalamientos horizontales (de 2 postes y de codales). Además, se realiza la selección de las especies de madera estructural bajo el marco normativo vigente en el Ecuador, con respecto al uso, disponibilidad y estudio del material en cuestión. La selección de la madera como material estructural se enmarca dentro de los parámetros señalados en este capítulo, como: el manejo sustentable, la resistencia, el costo y el lugar de cultivo; mismos que se detallan en cada ficha de madera incluida en la guía de apuntalamiento de este estudio.

CAPÍTULO IV

GENERACIÓN DE LA GUÍA DE APUNTALAMIENTO

4.1 Introducción

El objetivo principal de este estudio radica en la elaboración de una guía de apuntalamiento en madera para edificaciones de hormigón armado orientada a situaciones de emergencia post-terremotos en el Ecuador, por lo cual en este capítulo se analizan los componentes que forman parte de la misma. La creación de esta guía se enfoca principalmente en la adaptación de los sistemas de apuntalamiento a las condiciones propias del medio, tales como: madera propia de la región, disponibilidad en la zona respecto al costo y la existencia de lugares de cultivo.

Además, la guía pretende ser un documento didáctico de uso común, cuya lectura e interpretación no requiera de elevados conocimientos técnicos, y brinde al usuario la información necesaria para una correcta aplicación e instalación fácil y eficiente de los apuntalamientos.

Todo lo mencionado con anterioridad se enfoca principalmente a evitar o disminuir de cierto modo las pérdidas materiales y humanas que se dan debido al colapso parcial o total de edificaciones afectadas por sismos bajo la acción de las réplicas o movimientos subsecuentes debido a su pérdida de rigidez y estabilidad.

4.2 Contenido de la guía

La guía consta de los siguientes puntos, estructurados de manera tal que brinden una información ordenada y de fácil consulta:

- **Carátula**
- **Índice:** Aquí se especifica todo el contenido que precisa la guía de apuntalamiento con su respectivo número de páginas.
- **Glosario:** La sección contiene todos los términos que son necesarios explicar para el mejor entendimiento de la información que contiene la guía de apuntalamiento.
- **Introducción:** Esta sección explica los aspectos generales que maneja la guía de apuntalamiento.
- **Evaluación Inicial:** Dentro de esta sección se recopila información concerniente a los aspectos que deben revisarse antes de hacer uso de la guía de apuntalamiento; se podrá visualizar un esquema de una estructura de hormigón armado afectada por un sismo con elementos que se deben revisar antes de intervenir a la estructura; además está acompañada de dos flujogramas de acciones que se deben realizar cuando se haga una evaluación previa y la respectiva intervención a la estructura.
- **Madera Estructural en el Ecuador:** Esta sección contiene fichas informativas de la madera estructural que se podrá seleccionar para implementar los apuntalamientos de la guía propuesta.

- **Sistemas de Apuntalamiento (horizontal, vertical e inclinado):** Dentro de esta sección se pone a disposición toda la información perteneciente a cada apuntalamiento propuesto en la guía como los materiales, propiedades de resistencia, esquema y procedimientos de construcción.
- **Uniones (clavadas, atornilladas o empernadas):** Hace referencia al tipo de uniones con las que se pondrá armar y juntar cada elemento que conforma el apuntalamiento; así mismo se especifica las recomendaciones para realizar el procedimiento de unión.
- **Recomendaciones:** En esta sección se especifica las recomendaciones que el usuario debe seguir al momento que se requiera apuntalar alguna estructura.

4.3 Criterios de aplicación de la guía

Para la aplicación de los apuntalamientos propuestos en esta guía se debe realizar previamente un análisis de la situación y del estado de la edificación que se pretende apuntalar, con el fin de seleccionar el apuntalamiento más adecuado para cada caso; y así mismo, evitar que el personal encargado de la colocación de los apuntalamientos ponga su vida en peligro innecesario.

Teniendo en mente que el propósito principal de la guía recae en la rapidez y facilidad de aplicación de los sistemas de apuntalamiento propuestos, el análisis previo de la edificación debe ser realizado de la manera más rápida y óptima posible, razón por la cual se ha elaborado los siguientes diagramas de flujo, mismos que buscan la selección

del apuntalamiento más óptimo a ser aplicado partiendo del análisis de cualquier tipo de edificación de hormigón armado.

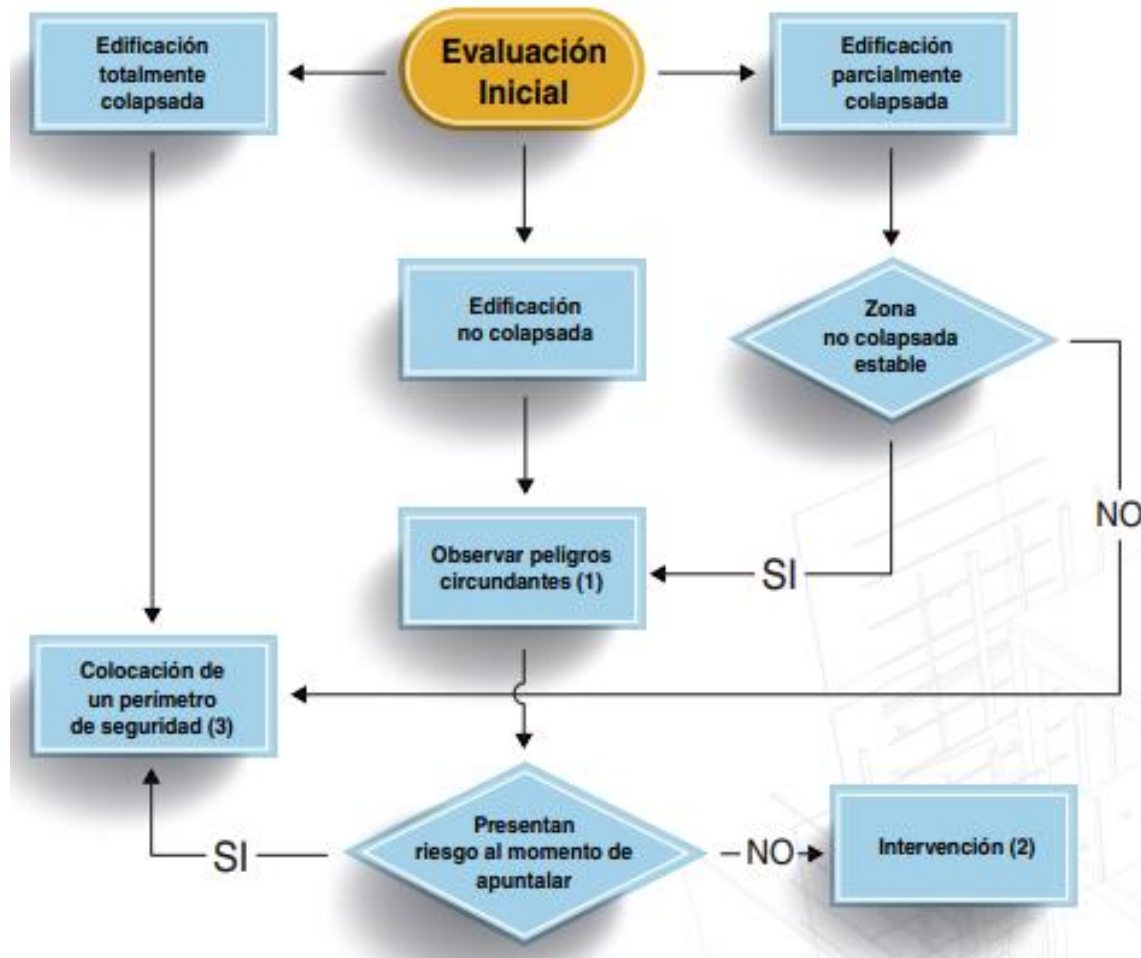


Figura 28. Flujograma de Evaluación Previa

- (1) Cables de alta tensión, depósitos de gas, estructuras aledañas en condiciones de colapso o inestabilidad, líneas de agua, condición de terraza o cubierta propia o ajena a la estructura y licuefacción o asentamiento del suelo.

- (2) En caso de haber llegado a este punto, continuar con los pasos especificados en el Flujograma: Intervención de la página siguiente.
- (3) No realizar ninguna acción adicional y dejar cualquier tipo de rescate en la edificación a los equipos especializados (Bomberos, Cruz Roja, Fuerzas Armadas, Policía Nacional, entre otros).

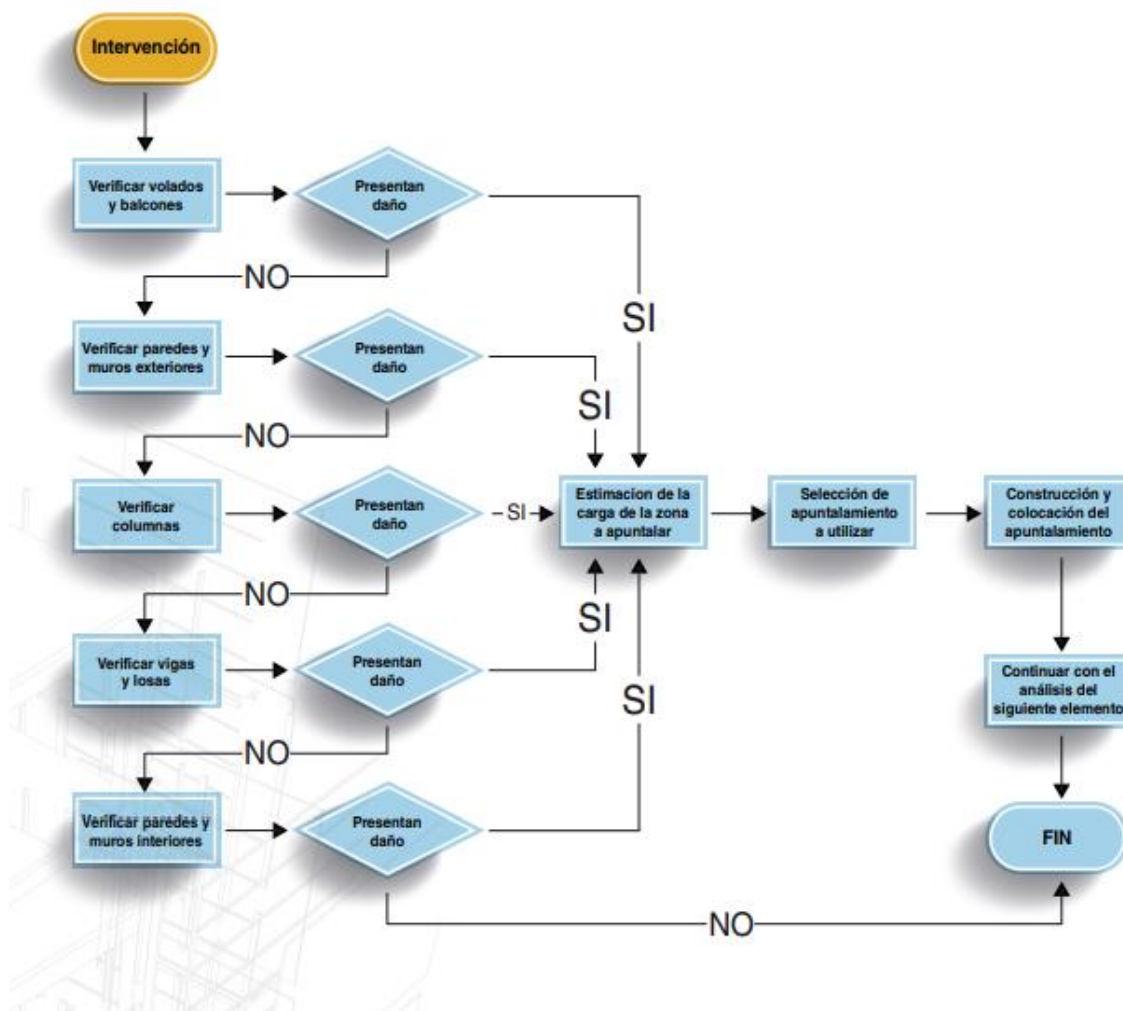


Figura 29. Flujograma de Intervención a la estructura

4.4 Madera utilizada en la guía

Las especies de madera consideradas dentro de la guía de apuntalamiento serán las señaladas en el capítulo tres en la sección 3.2.8 (ver Tabla 5), las mismas que cumplen con el marco normativo del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino ensayadas por el PADT-REFORT. La razón se debe a que este documento presenta un estudio confiable de laboratorio y detalla cada especie que se encuentra en el territorio nacional. Además, se hace referencia al estudio del Catálogo de Madera Estructural en el Ecuador puesto que provee de información en cuanto a características generales como el costo y lugar de cultivo de cada especie, útil para la implementación de las fichas de maderas seleccionadas dentro de la guía de apuntalamiento de la presente investigación.

El lugar de cultivo de cada especie de madera seleccionada para la guía de apuntalamiento se detalla en la Tabla 7 del capítulo anterior. Se indica la provincia de donde proviene comúnmente cada especie. Estos datos serán de mucha utilidad en caso de que el usuario requiera adquirir una especie de madera para implementarla como apuntalamiento ante situaciones de emergencia post-sismo, es claro mencionar que su adquisición dependerá de la situación geográfica donde amerite el uso.

A continuación, en la Tabla 10, se indica la clasificación de las especies de madera de acuerdo a su costo en el mercado, los rangos de valores establecidos en el capítulo anterior permitieron establecer los juicios de valor (alto, medio y bajo) conforme a la información recopilada y actividades realizadas que se mencionan en la sección 3.2.9.

Tabla 10*Costo de las especies de madera que incluye la GA-MD-HA*

Grupo	Especie de madera	Costo	
A	Caimitillo	Alto	
	Guayacán pechiche	Alto	
B	Chanul	Alto	
	Moral fino	Alto	
	Teca	Alto	
	Colorado	Alto	
	Caoba	Alto	
	Roble	Alto	
	Nogal	Alto	
	Pituca	Medio	
	C	Fernán Sánchez	Bajo
		Mascarey	Medio
Eucalipto		Bajo	
Seique		Medio	
Ciprés		Medio	
Pino Insigne		Bajo	
Pacora		Medio	
Cedro		Alto	
Laurel		Bajo	
Sande		Medio	

Fuente: (Espinosa et al., 2018)

En la Tabla 11, se detallan las propiedades arquitectónicas de las especies de madera que tendrá la guía de apuntalamiento como la resistencia al agua, la resistencia a plagas y la resistencia a factores externos, estas cualidades serán útiles en cuanto a las condiciones del tiempo y clima con la que se emplearán estas maderas para formar los

apuntalamientos. Esto dependerá de los acontecimientos o realidades que se susciten en el lugar donde ocurrió el sismo. Adicionalmente, se detalla como propiedad física la densidad de cada especie.

Tabla 11

Propiedades de las especies de madera que incluye la GA-MD-HA

Grupo	Especie de madera	Propiedades Arquitectónicas			Propiedad Física
		Resistencia al agua (Alto - Mediano - Bajo)	Resistencia a plagas	Resistencia a factores externos	Densidad (kg/m ³)
A	Caimitillo	Media	Susceptible a insectos	Media	740
	Guayacán pechiche	Alta	Media - Alta	Media - Alta	760
B	Chanul	Media	Alta	Alta resistencia a la intemperie	660
	Moral fino	Alta	Alta	Alta	710
	Teca	Alta	Alta	Alta	530
	Colorado	Alta	Media - Alta	Media - Alta	650
	Caoba	Baja	Alta	Media	520
	Roble	Alta	Media	Media	540
	Nogal	Baja	Media	Media	560
	Pituca	Baja	Alta	Baja	510
C	Fernán Sánchez	Baja	Muy susceptible a hongos e insectos	Baja	530
	Mascarey	Alta	Media	Media	590
	Eucalipto	Media	Alta	Media	550
	Seique	Alta	Baja	Media	370
	Ciprés	Alta	Baja	Media	400

CONTINÚA

C	Pino Insigne	Baja durabilidad	Baja muy susceptible	Media	390
	Pacora	Media	Media	Media	540
	Cedro	Media	Baja - Media	Baja - Media	420
	Laurel	Alta	Baja	Media	390
	Sande	Media	Media	Baja - Media	400

Fuente: (Espinosa et al., 2018; PADT-REFORT, 1984)

4.5 Modelamiento de los apuntalamientos

4.5.1 Parámetros iniciales

Al momento de realizar el modelamiento primero fueron definidos los materiales a utilizarse; en base a lo analizado en el capítulo anterior se utilizan los tres tipos de madera: clase A, B y C respectivamente con las características expresadas en la Tabla 12.

Tabla 12

Características de los grupos estructurales de madera a analizarse

Clase	Peso Específico (kg/cm ³)	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	Coficiente de Poisson
A	0.000800	96873.04	0.35
B	0.000630	76478.72	0.35
C	0.000475	56084.39	0.35

Fuente: (PADT-REFORT, 1984)

Posteriormente son definidas las secciones de madera que se utilizaran en la construcción de los distintos sistemas de apuntalamiento que son analizados para la creación de la guía. Han sido seleccionadas debido a su gran uso y disponibilidad en el mercado las secciones más comunes en el Ecuador, como lo son la sección rectangular de 7x14 centímetros y la sección circular de 10 centímetros de diámetro.

Cabe especificar que las piezas utilizadas no deben superar los 6 metros de longitud debido a que en longitudes superiores las secciones comienzan a variar y disminuyen su tamaño, razón por la cual se recomienda no utilizar piezas de longitud superior a la especificada.

4.5.2 Dimensionamiento de los sistemas de apuntalamiento

Para poder estandarizar los apuntalamientos y analizarlos de una manera apropiada evitando la mayor cantidad de errores, se adoptaron dimensiones lo más posiblemente cercanas a la realidad, de modo que se facilite el cálculo y aplicación del apuntalamiento en la situación de emergencia y requerimiento específico de la edificación a sostener.

4.5.2.1 Apuntalamientos Verticales

4.5.2.1.1 Apuntalamiento Vertical en T

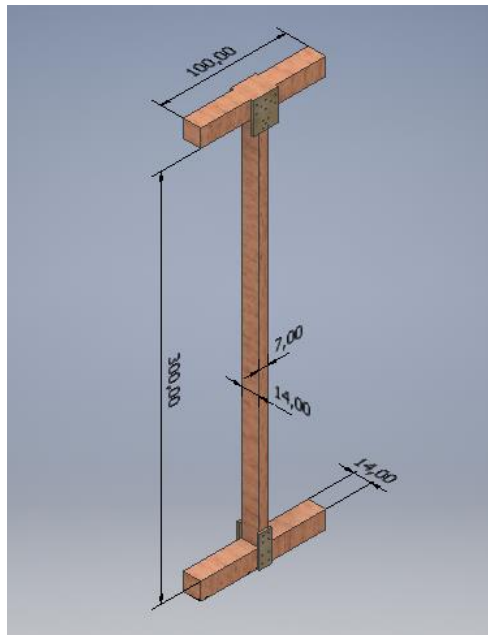


Figura 30. Dimensiones del apuntalamiento en T
Unidades (cm)

4.5.2.1.2 Apuntalamiento Vertical tipo Caja

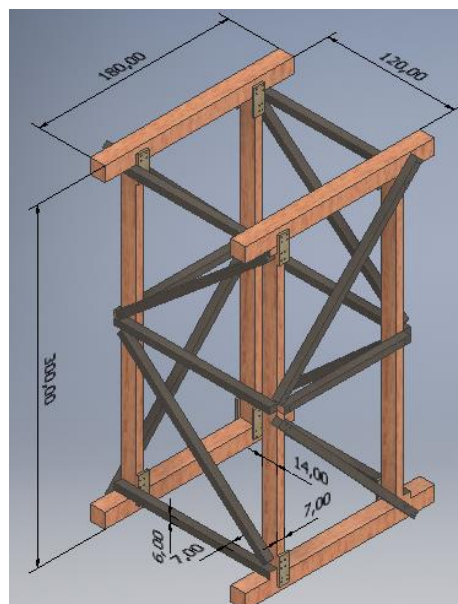


Figura 31. Dimensiones del apuntalamiento vertical tipo Caja
Unidades (cm)

4.5.2.2 Apuntalamientos Inclinados

4.5.2.2.1 Apuntalamiento Inclinado Simple

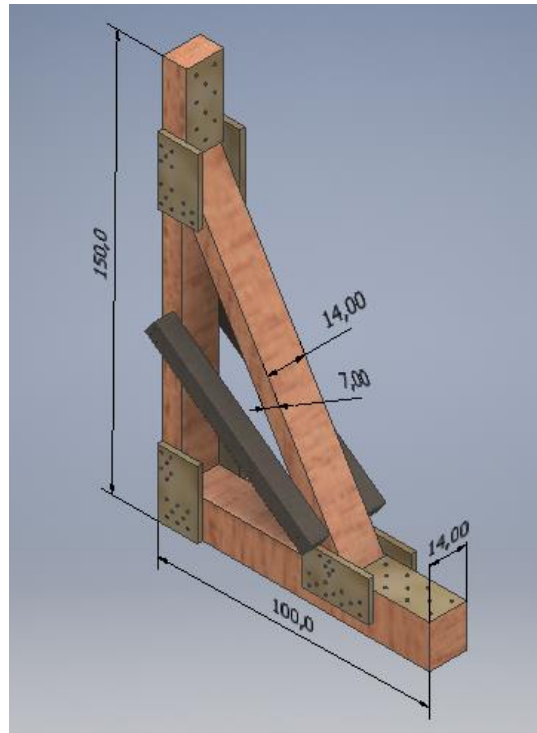


Figura 32. Dimensiones del apuntalamiento inclinado simple
Unidades (cm)

4.5.2.2.2 Apuntalamiento Inclinado tipo Zapata Mural

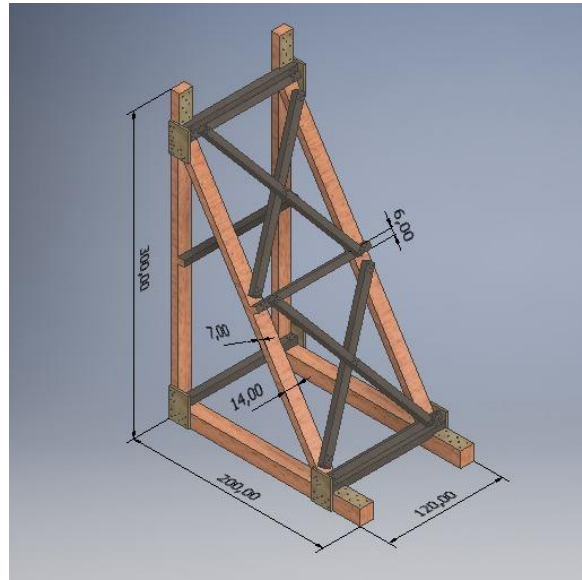


Figura 33. Dimensiones del apuntalamiento tipo Zapata Mural
Unidades (cm)

4.5.2.2.3 Apuntalamiento Inclinado a Fricción

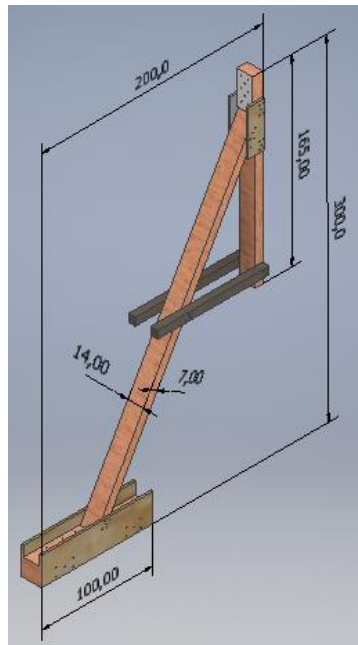


Figura 34. Dimensiones del apuntalamiento inclinado a fricción
Unidades (cm)

4.5.2.3 Apuntalamientos Horizontales

4.5.2.3.1 Apuntalamiento Horizontal de Dos Postes

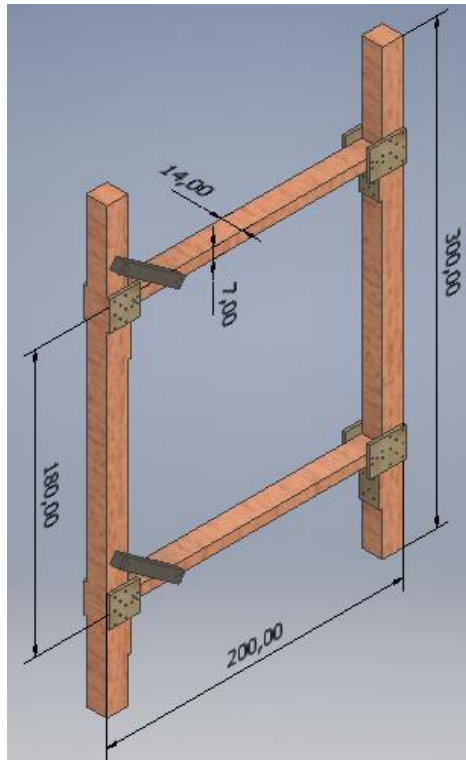


Figura 35. Dimensiones del apuntalamiento horizontal de dos postes
Unidades (cm)

4.5.2.3.2 Apuntalamiento Horizontal de Codaes

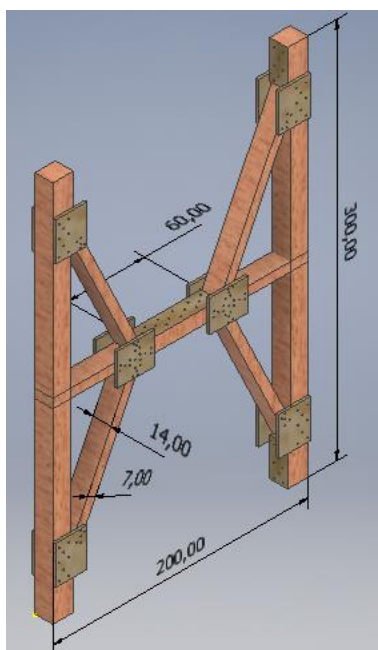


Figura 36. Dimensiones del apuntalamiento de codales
Unidades (cm)

4.5.3 Diseño por esfuerzos admisibles

Se realizó el cálculo en cada uno de los sistemas de apuntalamiento de los esfuerzos a los que se encontraban sometidas las piezas de madera, los cuales fueron esfuerzos de: compresión paralela, compresión perpendicular y cortante; una vez calculados se realizó la comparación con los esfuerzos máximos permisibles especificados en la Tabla 8, de modo que se pudiese estimar la carga máxima que podría resistir cada uno de los sistemas de apuntalamiento.

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de los esfuerzos en la madera fueron las obtenidas del Manual para diseño para maderas del grupo andino, mismas que se detallan a continuación.

4.5.3.1 Cálculo del esfuerzo de Compresión Paralela

Para determinar el esfuerzo de compresión paralela partimos del cálculo de la esbeltez de la pieza de madera a analizar, utilizando las Ecuaciones (1) y (2).

$$\lambda = \frac{L_{ef}}{d} \quad (1)$$

Dónde, λ se refiere a la relación de esbeltez, L_{ef} a la longitud efectiva del elemento y d a la dimensión de la sección transversal considerada.

$$C_k = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad (2)$$

Dónde, C_k es el coeficiente de esbeltez, E es el módulo de elasticidad del material y f_c el esfuerzo máximo admisible de compresión paralela a las fibras.

Con estos valores se puede clasificar a los elementos según los grupos especificados en la

Tabla 13.

Tabla 13

Condiciones de esbeltez

Tipo	Condición
Columnas Cortas	$\lambda < 10$
CONTINÚA	

Columnas Intermedias	$10 < \lambda < C_k$
Columnas Largas	$C_k < \lambda < 50$

Fuente: (PADT-REFORT, 1984)

Una vez definido el tipo de elemento, podemos ocupar la fórmula correspondiente para determinar la carga admisible que soporta el elemento de la Tabla 14.

Tabla 14

Fórmulas para determinar carga admisible en columnas

Tipo	Fórmula
Columnas Cortas	$N_{adm} = f_c * A$
Columnas Intermedias	$N_{adm} = f_c * A \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right)$
Columnas Largas	$N_{adm} = 0.329 \left(\frac{E * A}{\lambda^2} \right)$

Fuente: (PADT-REFORT, 1984)

Dónde, N_{adm} se refiere a la carga axial máxima admisible y A al área de la sección transversal.

4.5.3.2 Cálculo del esfuerzo de Compresión Perpendicular

Para determinar el esfuerzo de compresión perpendicular aplicamos la Ecuación (3).

$$\sigma_{c\perp} = \frac{R}{b*a} \quad (3)$$

En esta ecuación, R es la fuerza aplicada, y $(b*a)$ el área de contacto de una pieza con la otra.

4.5.3.3 Cálculo del esfuerzo de Corte

Para determinar el esfuerzo de compresión perpendicular aplicamos la Ecuación (4).

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{V}{b*h} \quad (4)$$

En esta ecuación, V es la fuerza cortante, y $(b*h)$ el área de la sección que recibe esta fuerza.

4.5.3.4 Carga admisible y esfuerzos de cada apuntalamiento

Las tablas que se presentan en esta sección detallan los resultados que se obtuvieron de los cálculos realizados para obtener las cargas admisibles y los esfuerzos de compresión y corte de los grupos estructurales seleccionados. Cabe recalcar que estos se analizaron para dos tipos de secciones, rectangulares y circulares.

Cabe señalar, que los esfuerzos de corte calculados en primera instancia para cada tipo de apuntalamiento no cumplen con los esfuerzos máximos admisibles indicados en la Tabla 8. Por lo tanto, se recurrió a la colocación de una doble pieza de madera 7x14

cm, en la base y el cabezal de los apuntalamientos, con el fin de disminuir dicho esfuerzo, obteniendo los valores mostrados desde la Tabla 15 hasta la Tabla 21.

Tabla 15

Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento Vertical en T

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	1600	16.33	12.24
B	1300	13.27	9.95
C	900	9.18	6.89
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	1900	24.19	14.54
B	1500	19.10	11.48
C	1000	12.73	7.65

Tabla 16

Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento Vertical tipo Caja

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	8000	20.41	15.31
B	6200	15.82	11.86
C	4000	10.20	7.66
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	8000	25.46	15.31

CONTINÚA

B	6200	19.74	11.86
C	4000	12.73	7.66

Tabla 17*Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento Inclinado Simple*

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	2800	19.21	14.41
B	2200	15.25	11.44
C	1500	10.40	7.80
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	2900	24.80	14.91
B	2300	19.67	11.83
C	1500	12.83	7.71

Tabla 18*Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento tipo Zapata Mural*

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	5000	15.69	11.77
B	4000	12.68	9.52
C	3000	9.51	7.13
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	6000	24.00	14.43

CONTINÚA

B	5000	19.74	11.87
C	3000	11.87	7.13

Tabla 19

Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento Inclinado a Fricción

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	700	12.38	9.29
B	550	9.73	7.30
C	400	7.08	5.31
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	1000	21.95	13.20
B	800	17.56	10.56
C	600	13.18	7.92

Tabla 20

Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento de dos postes

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	3600	18.37	13.78
B	3000	15.31	11.48
C	2000	10.20	7.66
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	3600	22.92	13.78

CONTINÚA

B	3000	19.10	11.48
C	2000	12.73	7.66

Tabla 21

Carga admisible y esfuerzos para Apuntalamiento Horizontal de Codaes

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	1900	19.39	14.54
B	1500	15.31	11.48
C	1000	10.20	7.66
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Compresión Perpendicular (kg/cm²)	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)
A	1900	24.19	14.54
B	1500	19.10	11.48
C	1000	12.73	7.66

4.5.4 Prueba de Carga en Sistemas de Apuntalamiento

Una vez definidas las secciones, materiales y carga admisible de cada uno de los sistemas de apuntalamiento, se procedió a realizar el modelo estructural en el software de manera que se pueda analizar su comportamiento y deflexiones de una manera aproximada. En cada caso, se consideraron distintas condiciones de apoyo que simulen la conexión entre la edificación y el apuntalamiento, mismas que serán detalladas en cada sistema descrito a continuación.

Los valores de las deflexiones obtenidas a través del modelamiento presentan un signo positivo en deformación vertical, cuando la deformación es hacia arriba y negativo hacia abajo. En cambio, en lo que respecta a deformación horizontal el signo es negativo hacia la izquierda y positivo hacia la derecha.

4.5.4.1 Apuntalamientos Verticales

4.5.4.1.1 Apuntalamiento en T

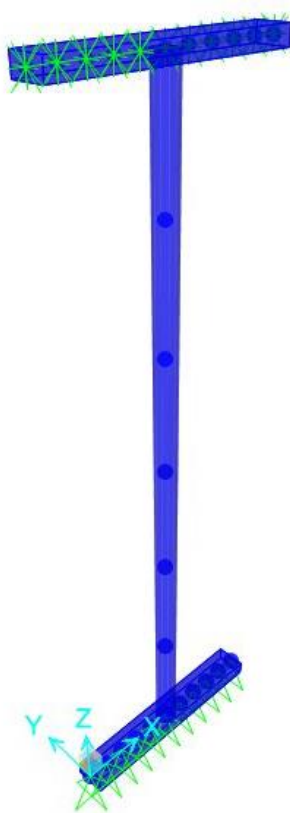


Figura 37. Modelamiento del apuntalamiento vertical en T

Al momento de modelar este apuntalamiento se consideró apoyo simple en la base del mismo y en el apoyo superior se aplicó restricciones de movimiento en los ejes horizontales (ver Figura 37), permitiendo únicamente desplazamiento vertical; una vez ejecutado el análisis de la estructura a través del modelamiento se obtuvieron los valores de deflexión vertical ocasionada por las cargas gravitacionales aplicadas, así como deflexión horizontal ocasionada por el efecto de pandeo (ver Figura 38). Estos valores se detallan en la Tabla 22.

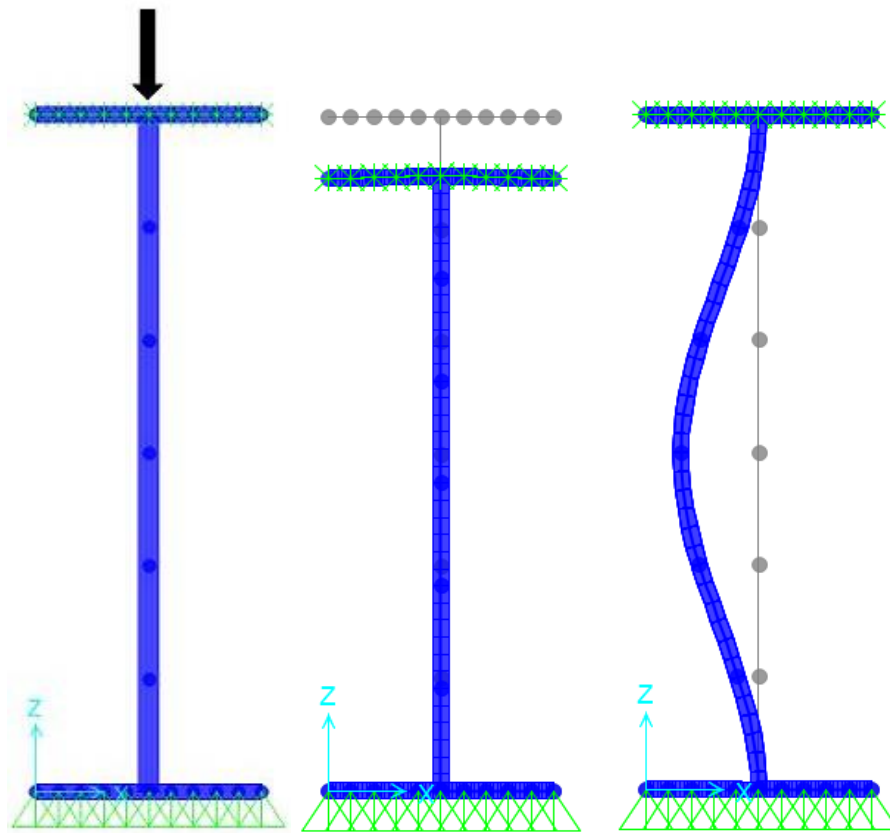


Figura 38. Deflexiones generadas en el apuntalamiento vertical en T

Tabla 22*Deflexiones del Apuntalamiento Vertical en T para cada carga admisible*

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	1600	-0.2597	-0.0865
B	1300	-0.3168	-0.0881
C	900	-0.4100	-0.0905
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	1900	-0.3357	-0.0801
B	1500	-0.4052	-0.0821
C	1000	-0.5183	-0.0847

4.5.4.1.2 Apuntalamiento Vertical tipo Caja

Para las condiciones de este apoyo se tomaron las mismas consideraciones que el apuntalamiento vertical en T, debido a que sus características son muy similares se analizó su comportamiento considerando apoyo simple en la base y restringiendo el movimiento en los ejes horizontales en la superficie superior que entraría en contacto con la losa apuntalada (ver Figura 39).

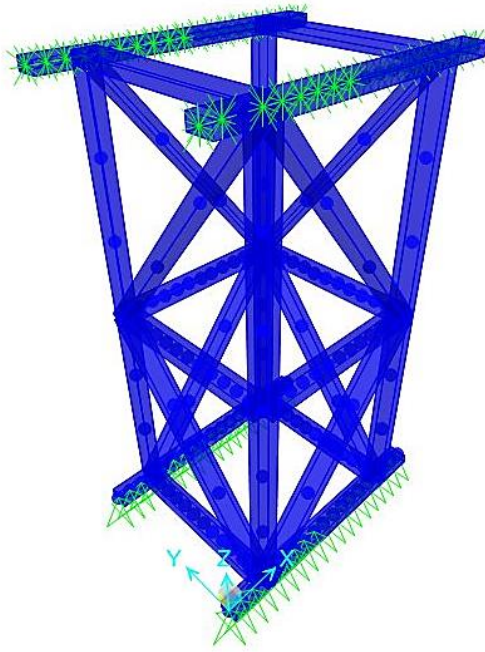


Figura 39. Modelamiento del apuntalamiento tipo Caja

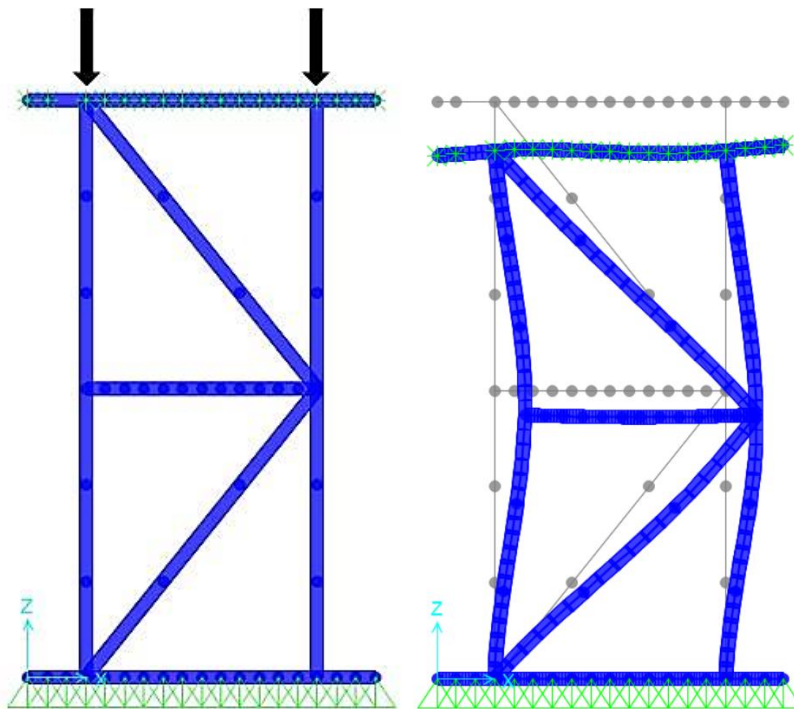


Figura 40. Deflexiones generadas en el apuntalamiento vertical tipo caja

Una vez realizado el modelamiento y con las consideraciones descritas anteriormente, se obtuvo la deformada del apuntalamiento tipo caja bajo la acción de las cargas aplicadas (ver Figura 40). Los valores de las deflexiones obtenidas del análisis con cada clase de madera y su respectiva carga admisible se indican en la Tabla 23.

Tabla 23

Deflexiones del Apuntalamiento tipo Caja para cada carga admisible

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	8000	-0.0658	0.0692
B	6200	-0.0662	0.0378
C	4000	-0.0584	0.0334
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	8000	-0.0818	0.0475
B	6200	-0.0834	0.0468
C	4000	-0.0737	0.0416

4.5.4.2 Apuntalamientos Inclinados

4.5.4.2.1 Apuntalamiento Inclinado Simple

Este apuntalamiento pensado principalmente para el apuntalamiento de paredes bajo marcos de ventanas, o antepechos que no superen la altura de 1.50 metros se lo modeló considerando carga puntual y carga distribuida con el fin de obtener el caso más crítico

posible, las condiciones de apoyo fueron: simplemente apoyado en la base (contacto con el suelo) y la restricción del movimiento en el eje Y en la superficie de contacto con la pared o muro (ver Figura 41).

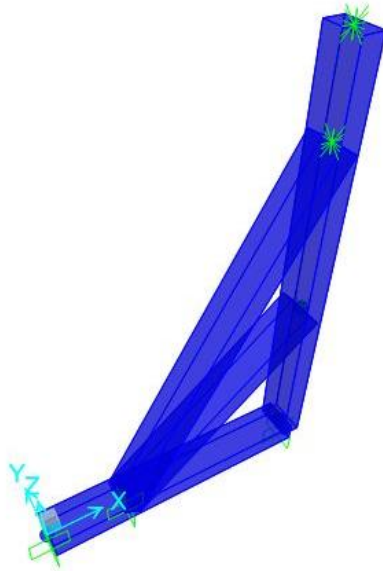


Figura 41. Modelamiento del apuntalamiento inclinado simple

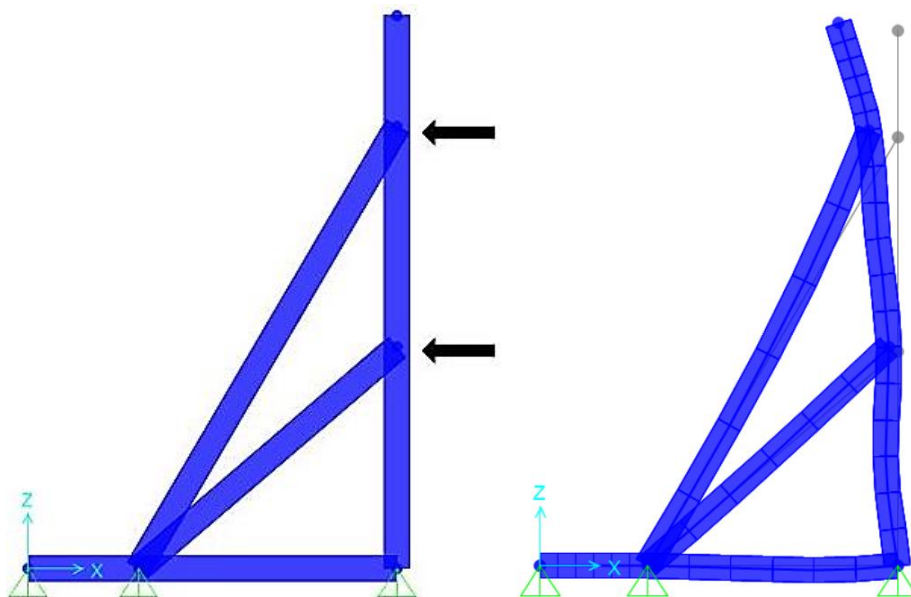


Figura 42. Deflexiones generadas en el apuntalamiento inclinado simple

Realizado el modelamiento se obtuvo la deformada del apuntalamiento inclinado simple (ver Figura 42). Los valores de las deflexiones obtenidas del análisis con cada clase de madera y su respectiva carga admisible se indican en la Tabla 24.

Tabla 24

Deflexiones del Apuntalamiento Inclinado Simple para la carga admisible

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	2800	0.0309	-0.2333
B	2200	0.0308	-0.2322
C	1500	0.0286	-0.2159
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	2900	0.0318	-0.2640
B	2300	0.0321	-0.2652
C	1500	0.0285	-0.2359

4.5.4.2.2 Apuntalamiento Inclinado tipo Zapata Mural

Al momento de modelar este apuntalamiento se tomó en cuenta las mismas condiciones de apoyo que en el inclinado simple, además este apuntalamiento es el más recomendado a la hora de apuntalar paredes y muros debido a su solidez, con la única desventaja de que requiere una buena cantidad de espacio en el sentido perpendicular a la pared apuntalada para su correcta aplicación (ver Figura 43).

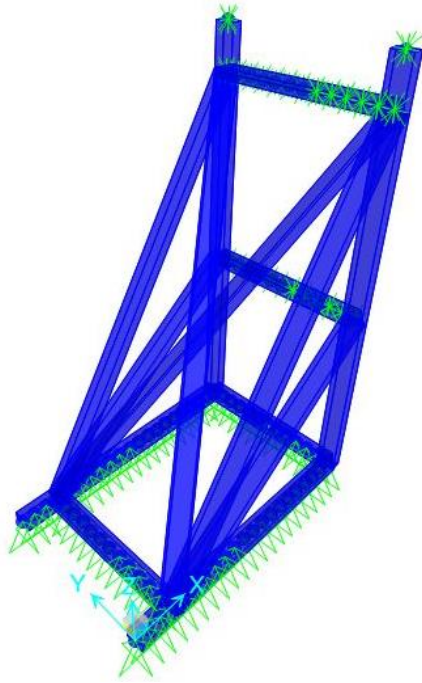


Figura 43. Modelamiento del apuntalamiento inclinado tipo zapata mural

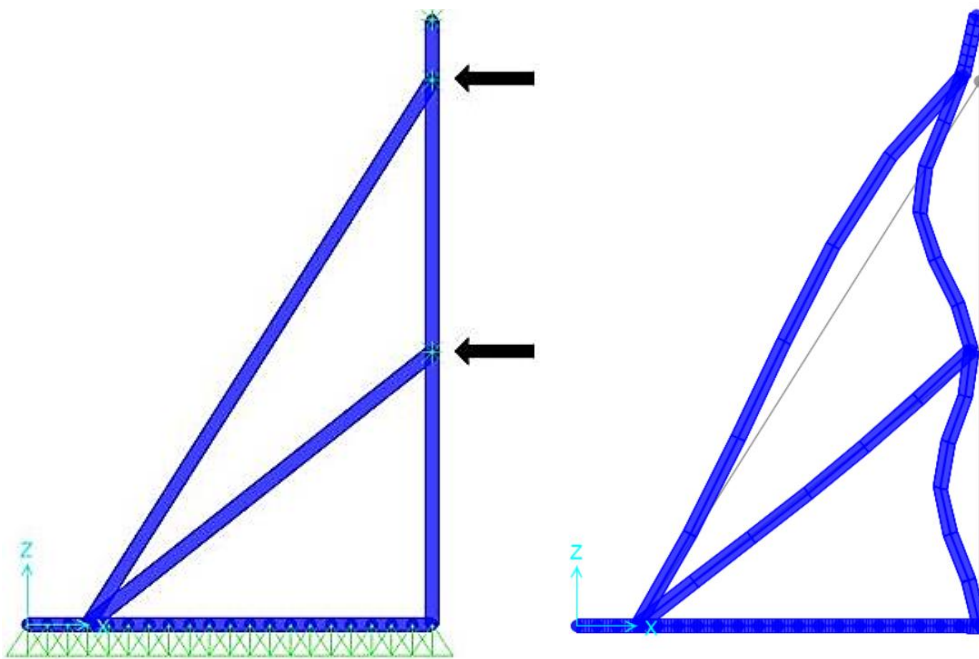


Figura 44. Deflexiones generadas en el apuntalamiento tipo zapata mural

En la Figura 44, se aprecia la deformada obtenida a través del modelamiento del apuntalamiento inclinado tipo zapata mural bajo la acción de las cargas aplicadas. Los valores de las deflexiones obtenidas del análisis con cada clase de madera y su respectiva carga admisible se indican en la Tabla 25.

Tabla 25

Deflexiones del Apuntalamiento tipo Zapata Mural para la carga admisible

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	5000	0.8771	-1.4519
B	4000	0.8721	-1.4446
C	3000	0.8913	-1.4764
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	6000	1.0359	-1.7176
B	5000	1.0977	-1.8176
C	3000	0.8913	-1.4764

4.5.4.2.3 Apuntalamiento Inclinado a Fricción

Las condiciones de apoyo de este apuntalamiento (ver Figura 45) son las mismas que en los dos apuntalamientos anteriores. Este apuntalamiento no es muy recomendado ya que no soporta una gran cantidad de carga, pero es sumamente útil en caso de que se presente la necesidad de apuntalar rápidamente una pared y no se pueda retirar los escombros en la base de la misma.

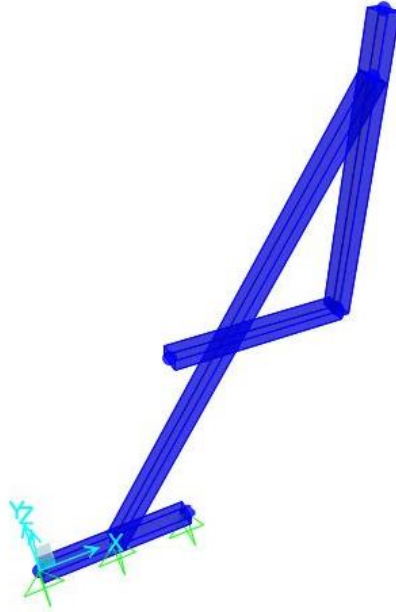


Figura 45. Modelamiento del apuntalamiento inclinado a fricción

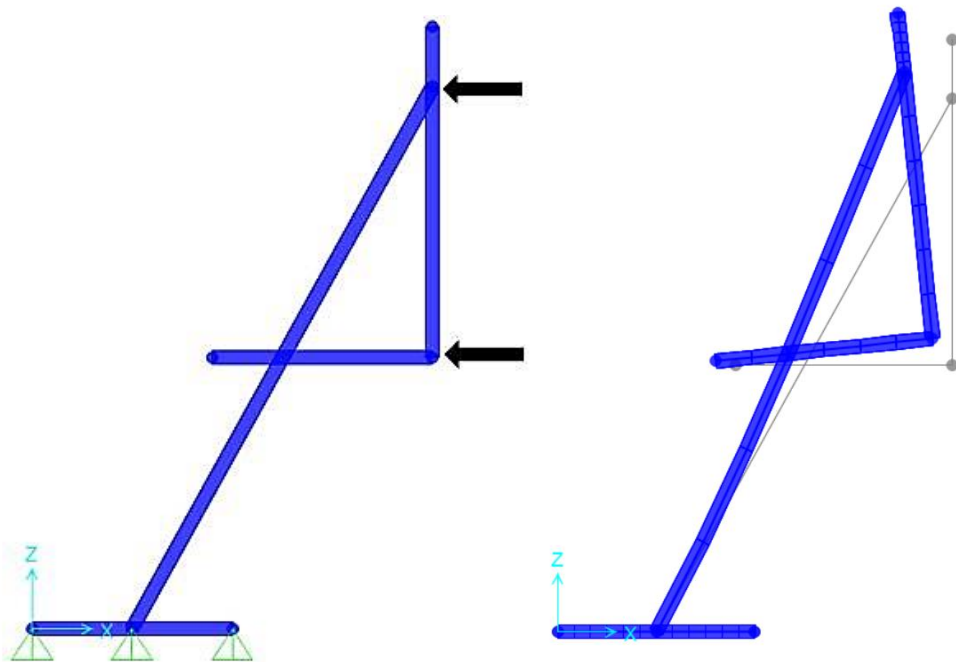


Figura 46. Deflexiones generadas en el apuntalamiento inclinado a fricción

Realizado el modelamiento se obtuvo la deformada del apuntalamiento inclinado a fricción (ver Figura 46). Los valores de las deflexiones obtenidas del análisis con cada clase de madera y su respectiva carga admisible se indican en la Tabla 26.

Tabla 26

Deflexiones del Apuntalamiento a Fricción para cada carga admisible

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	700	-0.4411	-0.2873
B	550	-0.4399	-0.2867
C	400	-0.4507	-0.2963
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	1000	-0.4318	-0.2306
B	800	-0.4319	-0.1985
C	600	-0.4436	-0.2045

4.5.4.3 Apuntalamientos Horizontales

4.5.4.3.1 Apuntalamiento Horizontal de Dos Postes

Para el modelamiento de este apuntalamiento se considera que una pared, muro o columna en buenas condiciones soporta otra que se encuentre dañada, por lo cual se consideró apoyo simple en el lado izquierdo donde se asume que está la pared en buen estado y en el lado derecho donde iría la carga del elemento dañado se considera una

restricción en el sentido Y y Z, evitando su movimiento en esas direcciones (ver Figura 47).

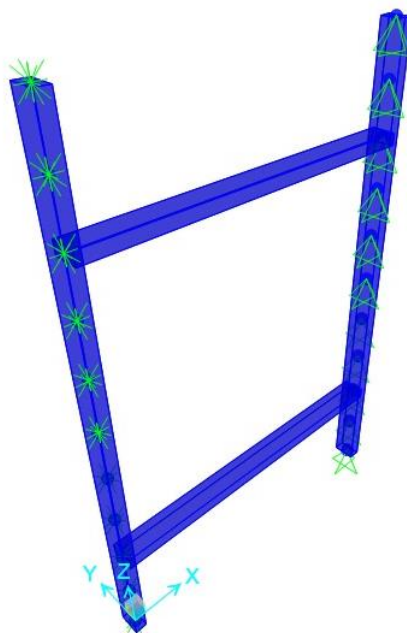


Figura 47. Modelamiento del apuntalamiento horizontal de dos postes

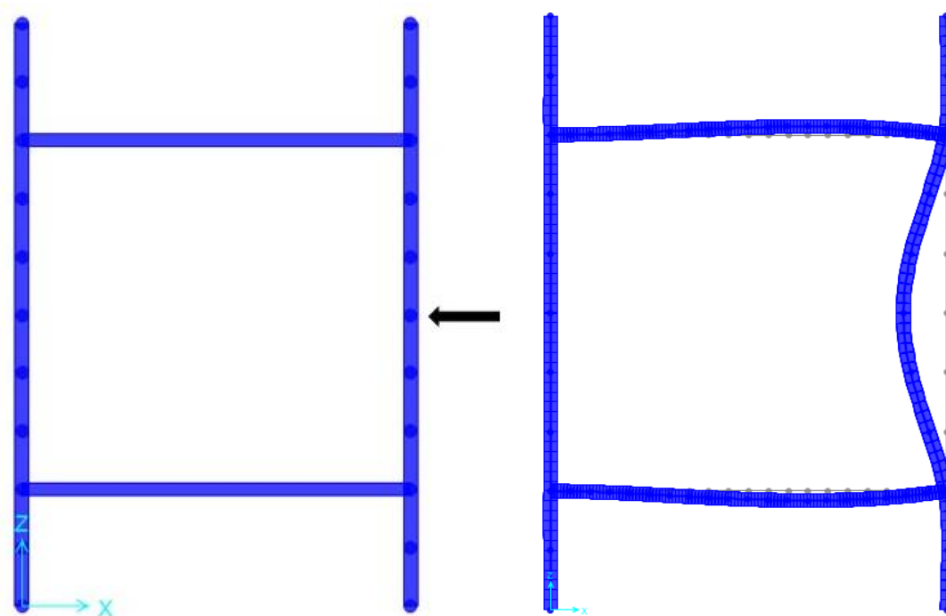


Figura 48. Deflexiones generadas en el apuntalamiento horizontal de dos postes

Una vez realizado el modelamiento y con las consideraciones descritas anteriormente, se obtuvo la deformada del apuntalamiento horizontal de dos postes bajo la acción de las cargas aplicadas (ver Figura 48). Los valores de las deflexiones obtenidas del análisis con cada clase de madera y su respectiva carga admisible se indican en la Tabla 27.

Tabla 27

Deflexiones del Apuntalamiento de Dos Postes para cada carga admisible

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	3600	-0.1074	-0.0381
B	3000	-0.1167	-0.0401
C	2000	-0.1423	-0.0364
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible (kg)	Deflexión Vertical (cm)	Deflexión Horizontal (cm)
A	3600	-0.1063	-0.0474
B	3000	-0.1196	-0.0499
C	2000	-0.1426	-0.0454

4.5.4.3.2 Apuntalamiento Horizontal de Codales

Se realizaron las mismas consideraciones que en el apuntalamiento horizontal de 2 postes debido a que su aplicación es la misma (ver Figura 49). La decisión de colocar uno u otro queda a la consideración de la persona que vaya a realizar el trabajo de apuntalamiento.

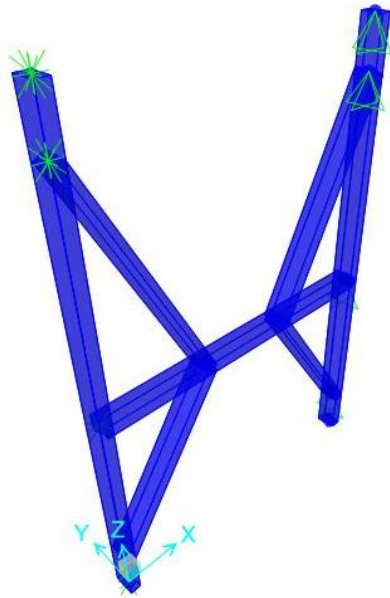


Figura 49. Modelamiento del apuntalamiento horizontal de codales

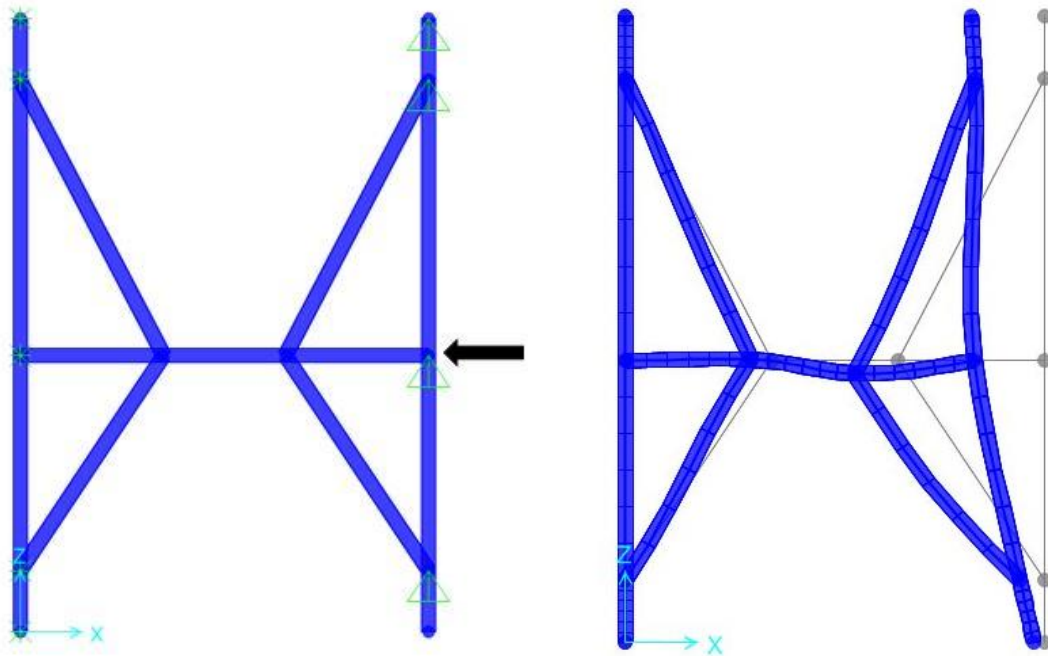


Figura 50. Deflexiones generadas en el apuntalamiento horizontal de codales

En la Figura 50, se aprecia la deformada obtenida a través del modelamiento del apuntalamiento horizontal de codales bajo la acción de las cargas aplicadas. Los valores de las deflexiones obtenidas del análisis con cada clase de madera y su respectiva carga admisible se indican en la Tabla 28.

Tabla 28

Deflexiones del Apuntalamiento de Codales para cada carga admisible

Sección Rectangular			
Tipo de Madera	Carga Admisible	Deflexión Vertical	Deflexión Horizontal
A	1900	-0.1473	-0.3722
B	1500	-0.1847	-0.4611
C	1000	-0.2496	-0.6136
Sección Circular			
Tipo de Madera	Carga Admisible	Deflexión Vertical	Deflexión Horizontal
A	1900	-0.1276	-0.3333
B	1500	-0.1601	-0.4117
C	1000	-0.2167	-0.5455

4.6 Uniones

Las uniones que serán empleadas para el armado de los distintos sistemas de apuntalamiento han sido adaptadas a partir de las propuestas por la Guía de Apuntalamiento de Operaciones Especiales, utilizando los materiales disponibles en el Ecuador. En esta sección se detalla cada tipo de unión para su utilización dependiendo del armado de cada sistema de apuntalamiento.

El diseño de cada tipo de unión se basa en el patrón estándar utilizado por la Guía de Operaciones de Apuntalamiento detallado en la Figura 51, y podrá ser utilizado tanto con clavos como con tirafondos. Además, revisando los catálogos de clavos y tirafondos existentes en el país se seleccionó como más apropiados los clavos corrugados de 3 x 9 (0.38 cm. de diámetro y 7.5 cm. de longitud), y los tirafondos de ¼ x 3 (0.64 cm. de diámetro y 7,5 cm. de longitud); esto debido a que los clavos utilizados en la GOA son los 16d un tipo de clavo recubierto de 0,148" x 3,25". Las secciones recomendadas de estos materiales se detallan en la Tabla 29.

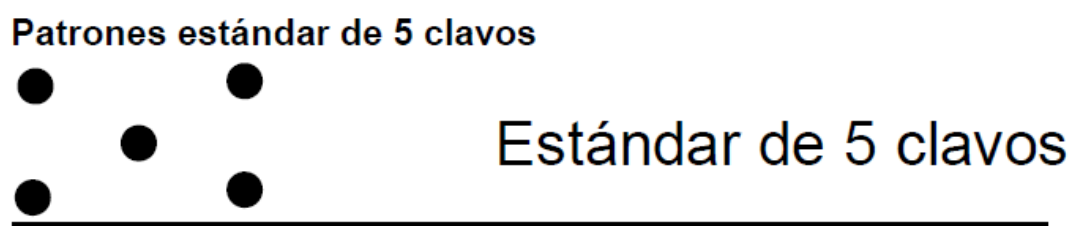


Figura 51. Patrón estándar de clavado
Fuente: (US&R, 2013)

Tabla 29

Secciones propuestas para el uso en las uniones de los apuntalamientos

Tipo	Sección Comercial	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
Clavo corrugado	3 x 9	0,38	7,5
Tornillo para madera	1/2 x 3	0,64	7,5
Tirafondo	1/4 x 3	0,64	7,5

Las placas de unión que se deben utilizar son de madera contrachapada de un espesor mínimo de 2 cm o también se pueden utilizar paneles OSB en lugares donde no existan

condiciones de humedad. Se ha clasificado las distintas uniones que serán utilizadas para armar los sistemas de apuntalamiento en 4 tipos, detallados en las figuras *Figura 52*, *Figura 53*, *Figura 54* y *Figura 55*, respectivamente.

La unión tipo 1, se utiliza en la unión del apuntalamiento tipo T, la unión tipo 2 se utiliza en el apuntalamiento tipo caja, inclinado simple, zapata mural; la unión tipo 3 en el apuntalamiento inclinado simple, zapata mural, inclinado a fricción y horizontal con codales, mientras que la unión tipo 4 se utiliza únicamente en el apuntalamiento horizontal con codales.

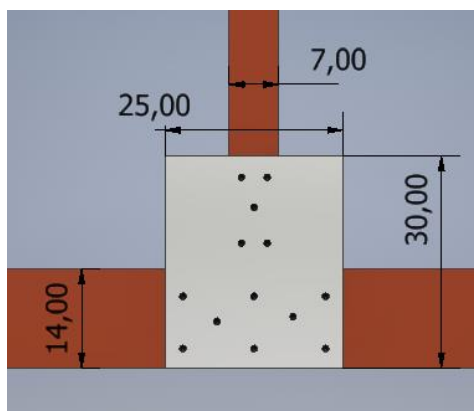


Figura 52. Unión tipo 1

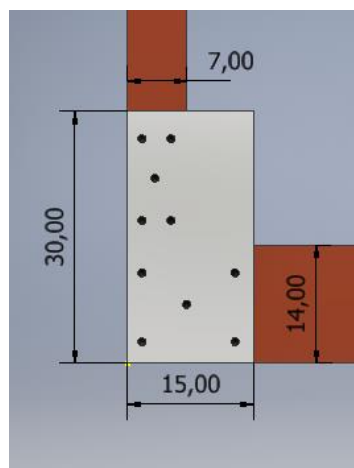


Figura 53. Unión tipo 2

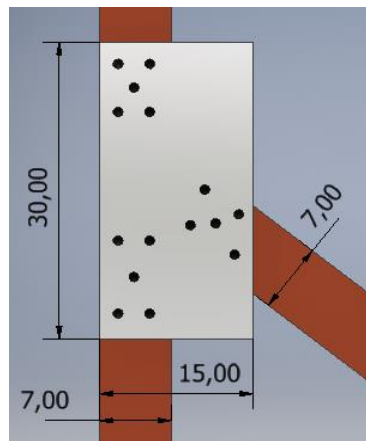


Figura 54. Unión tipo 3

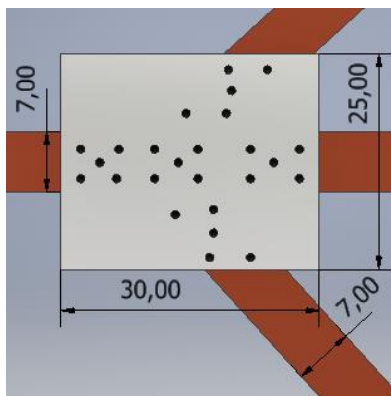


Figura 55. Unión tipo 4

La selección de clavos o tirafondos dependerá del tipo de madera que se utilice para la construcción de los apuntalamientos, en caso de utilizarse madera clase C, se podrá usar tanto clavos, tornillos o tirafondos; mientras que, en el caso de utilizarse madera tipo A o B, se debe utilizar solamente tornillos o tirafondos debido a que el uso de clavos puede romper la pieza de madera durante el clavado y de esta manera afectar la resistencia del apuntalamiento.

Al momento de realizar la construcción de las uniones se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Dejar un espacio mínimo de 2 cm entre el borde de la pieza y el primer clavo o tirafondo.
- Considerar un espaciamiento mínimo de 2 cm entre clavos o tirafondos tanto en el sentido horizontal como vertical.

4.7 Diseño de la guía

Para el diseño de la guía de apuntalamiento se utilizó un software de diseño gráfico que permita además de adicionar toda la información recopilada, darle un formato estético y amigable para el usuario. Se dividió la guía en capítulos, cada uno con diferente estilo y color, de modo que a todo momento el lector sepa en qué sección se encuentra y se le facilite trasladarse a otra sección a fin de que pueda encontrar la información de manera ordenada, rápida y eficaz.

Desde la Figura 56 hasta la Figura 69 se presenta el modelo final de las páginas que formarán parte de la guía de apuntalamiento que se genera a partir de esta investigación.

Cabe recalcar que la información pertinente a introducción, glosario, recomendaciones, información de referencia y demás fichas de maderas y apuntalamientos no se ha colocado para evitar la saturación con imágenes en este trabajo de investigación, por lo cual serán incluidas en la guía final adjunta.



Figura 56. Portada



Figura 57. Índice



Figura 58. Capítulo de Evaluación Inicial

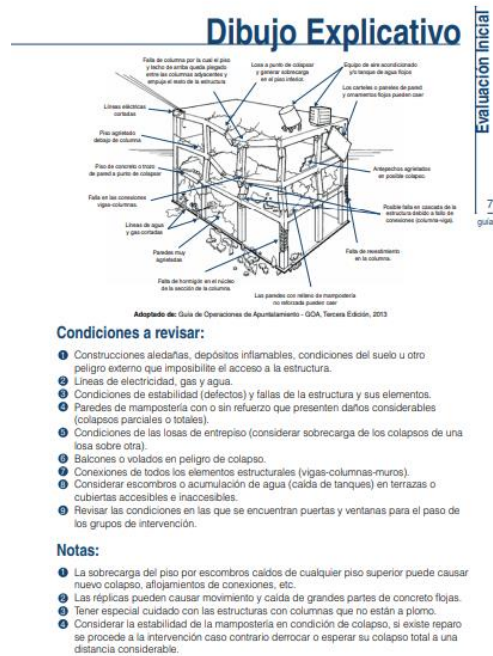


Figura 59. Sección de Dibujo Explicativo

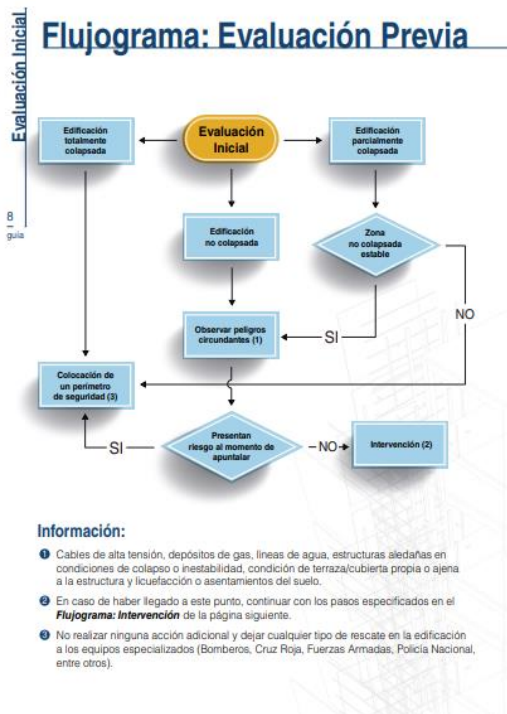


Figura 60. Sección de Evaluación Previa

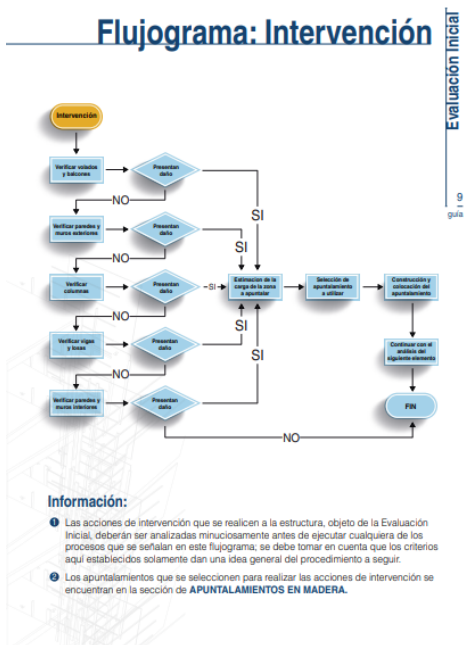


Figura 61. Sección de Intervención

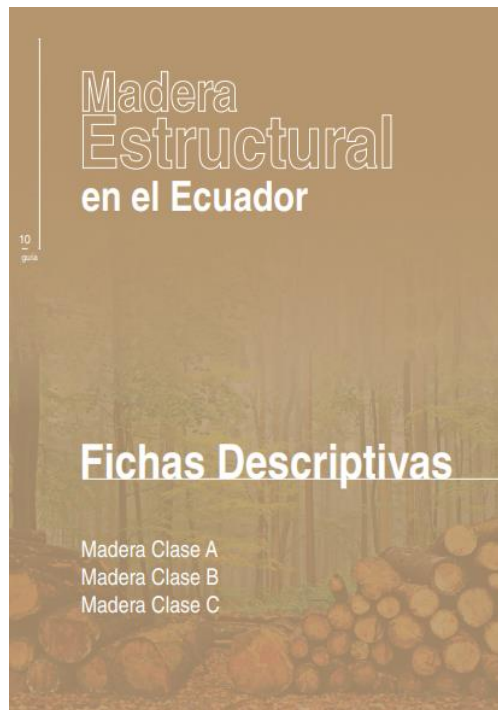


Figura 62. Capítulo de Madera Estructural

Caimitillo
Chrysophyllum cainito

Grupo Estructural - CLASE **A**

1 Características

Costo: **Alto**

Resistencia al Agua: **Media**

Resistencia a plagas: **Susceptible a insectos**

Resistencia a factores externos: **Media**

Densidad Básica: **740 kg/m³**

2 Lugar de Cultivo

Datos:

El costo alto equivale a un valor mayor a \$ 20.00 USD, correspondiente a un tablón de madera en depósitos comerciales.

Figura 63. Ficha de Madera Estructural en el Ecuador (modelo)



Figura 64. Capítulo de Apuntalamientos

Apuntalamientos

Verticales

Apuntalamiento Vertical en T

Uso: Columnas, Vigas, Losas	Altura Máxima: 3 metros
------------------------------------	--------------------------------

Detalles Constructivos:

① **Elementos Verticales**

1 Poste

- Sección Rectangular: 7x14 cm
- Sección Circular: Diámetro Ø=10 cm
- Largo: Altura Variable

② **Elementos Horizontales**

4 Tiras

- Sección Rectangular: 7x14 cm
- Largo: 60 cm

③ **Uniones**

4 Placas: Madera contrachapada - Unión tipo 1

④ **Materiales**

- Clavos, tirafondos o tornillos
- Herramientas Básicas

Carga Admisible

Sección Rectangular (kg)		
Clase A	Clase B	Clase C
1600	1300	900

Sección Circular (kg)		
Clase A	Clase B	Clase C
1900	1500	1000

Figura 65. Ficha de Apuntalamiento en Madera (modelo)

Uniones

Tipos de Uniones para Apuntalamientos

48
guía

1 Primer lugar

Al momento de realizar la construcción de un apuntalamiento se debe tomar en cuenta el elemento con el que serán realizadas las uniones necesarias

Madera clase A y B	tirafondos o tornillos
Madera clase C	clavos, tirafondos o tornillos

Secciones recomendadas para la elaboración de uniones			
Tipo	Sección Comercial	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
Clavo corrugado	3 x 9	0,38	7,5
Tornillo para madera	1/2 x 3	0,64	7,5
Tirafondo	1/4 x 3	0,64	7,5

2 Segundo lugar

Para garantizar la resistencia de la unión, las **placas** que se deben utilizar son de **madera contrachapada** de un **espesor mínimo de 2 centímetros**; también se puede utilizar paneles OSB en lugares donde no existan condiciones de humedad.

Recomendaciones

Se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones a la hora de realizar cualquier tipo de unión detallada en esta guía:

- ❶ Dejar un espacio mínimo de 2 cm entre el borde de la pieza y el primer clavo o tirafondo.
- ❷ Considerar un espaciamiento mínimo de 2 cm entre clavos o tirafondos tanto en el sentido horizontal como vertical.

Para la unión de las distintas piezas que forman parte de los apuntalamientos se ha dividido en 4 tipos las uniones que son utilizadas en la construcción de los apuntalamientos, detalladas a continuación:

Figura 66. Sección de uniones (Información)

48
guía

Tipos de uniones

Dimensiones en cm.

49
guía

Figura 67. Sección de uniones (Detalle)

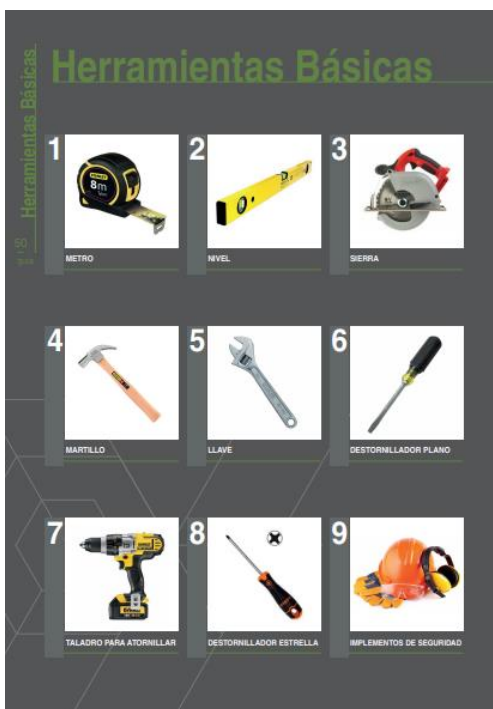


Figura 68. Sección de Herramientas Básicas



Figura 69. Contraportada

CAPÍTULO V

VALIDACIÓN DE LA GUÍA DE APUNTALAMIENTO

5.1 Introducción

La validación de la guía de apuntalamiento consiste en emplear los tipos de apuntalamientos propuestos en la misma, según amerite el caso de aplicación para una edificación de hormigón armado que sufrió una afectación estructural en el sismo de Muisne (M7.8) que ocurrió en Ecuador el 16 de abril del 2016. Este capítulo trata de la selección de la estructura de estudio, de la cual se puede evidenciar en fotos los daños registrados para luego poder reflejarlos en el modelamiento de la misma.

Luego se realiza el uso de la guía propuesta en el capítulo anterior para identificar la especie de madera y el tipo de apuntalamiento necesario para garantizar la estabilidad de la estructura, esto de acuerdo a los criterios de selección que recomienda y establece la misma. Posteriormente se procede a realizar el modelamiento de la estructura de hormigón armado junto con los tipos de apuntalamientos seleccionados; la razón del modelamiento es evidenciar el comportamiento de la estructura de acuerdo a un análisis no lineal y de la respuesta en el tiempo.

Para finalizar se establece la comparación de resultados obtenidos en el análisis del comportamiento de la estructura de acuerdo a sus desplazamientos y a la capacidad de resistencia a fuerzas cortantes en conjunto con los apuntalamientos y sin ellos, la cual es

la razón principal de discusión para el capítulo siguiente. El objetivo de este último proceso es para contrastar que los apuntalamientos propuestos para la Guía de Apuntalamiento para Edificaciones de Hormigón Armado orientada a Situaciones de Emergencia Post-Terremotos, proporcionan la estabilidad suficiente a la estructura en caso de que esta se vea afectada por un eventual sismo y sus réplicas. Así mismo se comprobará que estos apuntalamientos de acuerdo a lo que plantean y establecen las guías de apuntalamientos utilizadas como marco normativo y referencial son adecuadas y confiables al momento de su uso y empleo.

5.2 Selección de la edificación de hormigón armado

El reporte “M7.8 Muisne, Ecuador Earthquake on April 16, 2016” realizado por el Equipo de Reconocimiento de Terremotos del Earthquake Engineering Research Institute (EERI), contiene un alto contenido de información en cuanto a imágenes, datos y observaciones realizadas luego del daño que ocasionó el sismo producido en la provincia de Manabí. Dentro del documento antes señalado, puntualmente en su capítulo tres “Daño en Edificaciones”, se puede apreciar una serie de detalles de los daños que presentaron las edificaciones de mediana altura en la zona costera del Ecuador. Principalmente el estudio se centra en la ciudad de Portoviejo, donde los daños más importantes, producidos por el sismo, se localizaron en el centro histórico y comercial de la ciudad, denominada la zona cero (Lanning et al., 2016).

Según el reporte, los edificios que presentaron más afectación son los que presentan una estructura de hormigón armado con marcos rellenos de mampostería no reforzados, que se los denominará desde ahora CR; en la Figura 70, se puede apreciar un ejemplo de estas edificaciones donde los pórticos compuestos por el sistema estructural tradicional (vigas-columnas) son cubiertos de mampostería de ladrillos.



Figura 70. Estructura CR en Portoviejo

Fuente: (Lanning et al., 2016)

La inclinación por seleccionar este tipo de estructuras se debe principalmente a que los edificios CR representaron el 60% de los edificios inspeccionados por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos de Ecuador según lo mencionado en el reporte (visible en la Figura 71); por lo que es evidente que conforman uno de los tipos de construcción más común en el Ecuador.

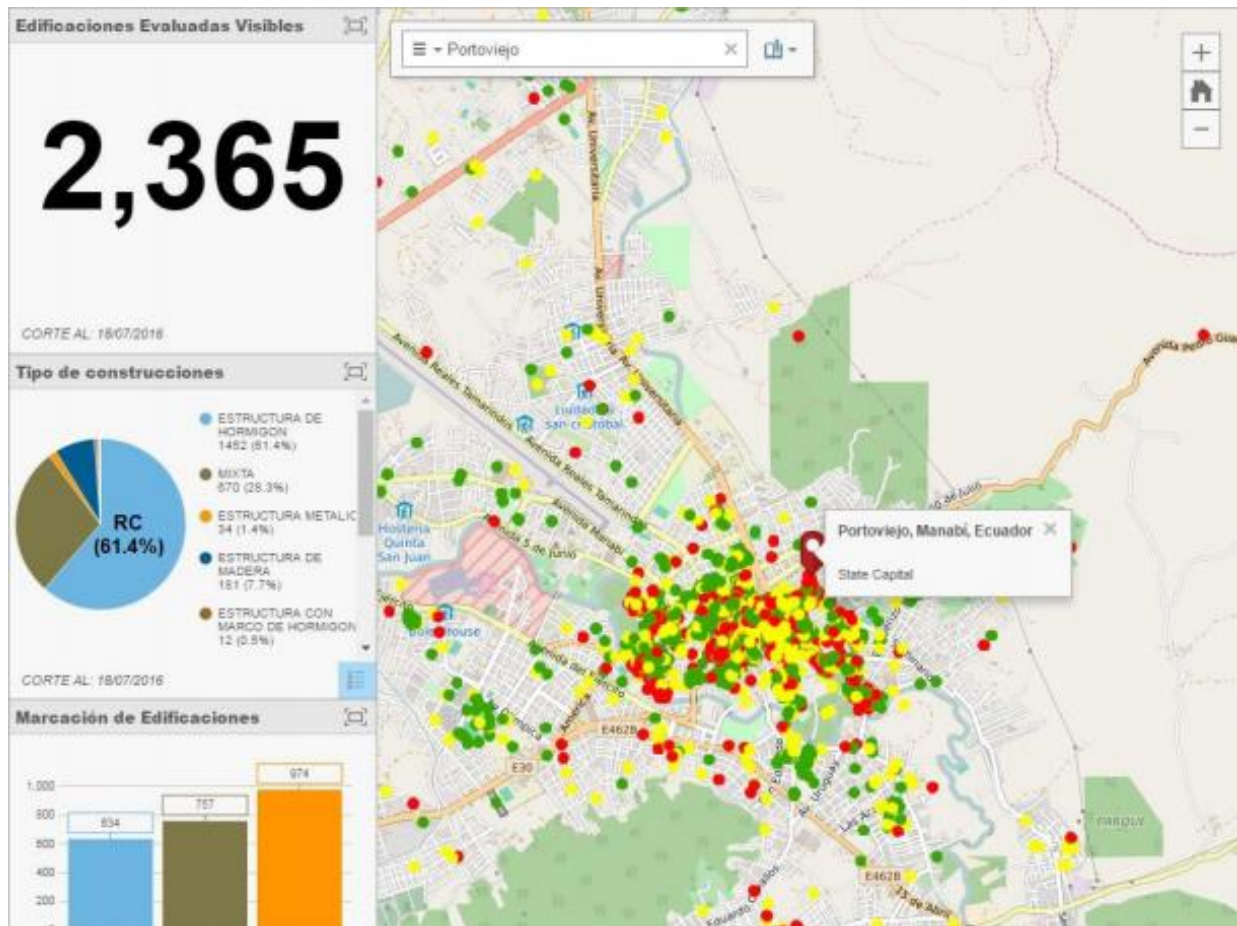


Figura 71. Edificaciones evaluadas por la SNGR del Ecuador.

Fuente: (Lanning et al., 2016)

La estructura de hormigón armado que se seleccionó en la presente investigación se muestra en la Figura 72. Es un edificio de hormigón armado CR de tres pisos; según establece el reporte, la estructura recibió un daño considerable producido por el golpeteo existente de ésta con las edificaciones colindantes, esto debido a la inexistencia de una junta sísmica con un ancho suficiente para que cada estructura tenga un comportamiento favorable ante un sismo.



Figura 72. Edificación CR seleccionado para el estudio.

Fuente: (Lanning et al., 2016)

Según el reporte, el edificio CR se derrumbó parcialmente debido al fallo de la columna por corte (ver Figura 73) provocando la inestabilidad en la estructura, la falla conjunta provocada por el poco refuerzo utilizado en las uniones viga-columna (ver Figura 74) y la ineficiente colocación de estribos.

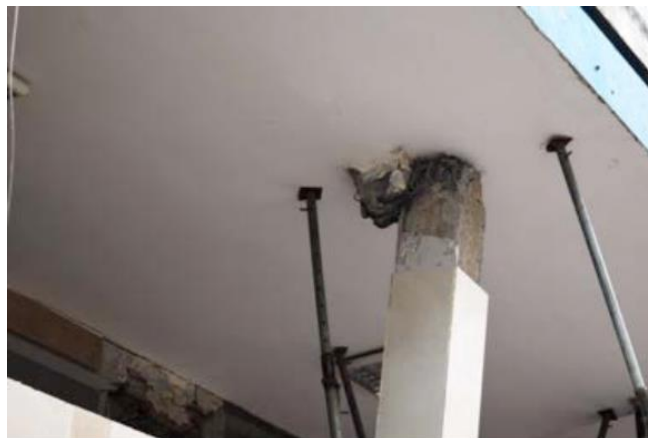


Figura 73. Fallo de columna (parte delantera)

Fuente: (Lanning et al., 2016)



Figura 74. Fallo en la conexión viga-columna.

Fuente: (Lanning et al., 2016)

Es evidente que las tres columnas esbeltas que se encuentran ubicadas en la acera son más propensas a sufrir una afectación por daño de un evento sísmico principalmente por la falta de diseño sísmico, otras causas son, el gran peso que soportan dichas columnas de los pisos superiores y la unión con las vigas en una sola dirección.

Todo esto precisó que se coloque un eventual sistema de apuntalamiento a base de acero y bambú a fin de favorecer a la estructura en su estabilidad como se muestra en la Figura 75. Sin embargo, es indudable que el apuntalamiento utilizado no es seguro, ni lo suficientemente confiable para soportar la carga de la estructura.



Figura 75. Apuntalamiento improvisado con acero y bambú
Fuente: (Lanning et al., 2016)

5.3 Aplicación de la Guía de Apuntalamiento

Una vez seleccionada la estructura que se requiera apuntalar, se procede a hacer el uso de la guía de apuntalamiento con el fin de seleccionar de la manera más adecuada la especie de madera y el tipo de apuntalamiento que será aplicado sobre la edificación. Debido a que se está trabajando con una edificación en la cual solo se puede realizar una evaluación inicial a través de fotografías, se obviará el uso de la información especificada en el capítulo de Evaluación Inicial y para la selección del apuntalamiento a utilizarse nos basaremos en los datos aportados por el modelamiento de la estructura sin apuntalamiento, prestando atención a los elementos estructurales que sufrieron más daño y apuntalando los mismos en el segundo modelamiento.

Para la selección de la especie de madera se ha tomado en cuenta dos consideraciones; la primera hace referencia a la ubicación de la edificación, misma que se encuentra en la provincia de Manabí; y la segunda, se orienta a la inexistencia de losa de entepiso en los primeros 3 metros de altura, donde evidentemente se forma un piso blando con una altura de 6 metros; por lo cual se requiere el uso de piezas de madera de alta resistencia. En este contexto, se ha tomado la decisión de hacer uso de la especie de madera Guayacán Pechiche perteneciente al grupo estructural clase A (ver Figura 76) para la construcción de los apuntalamientos que serán utilizados en esta edificación.

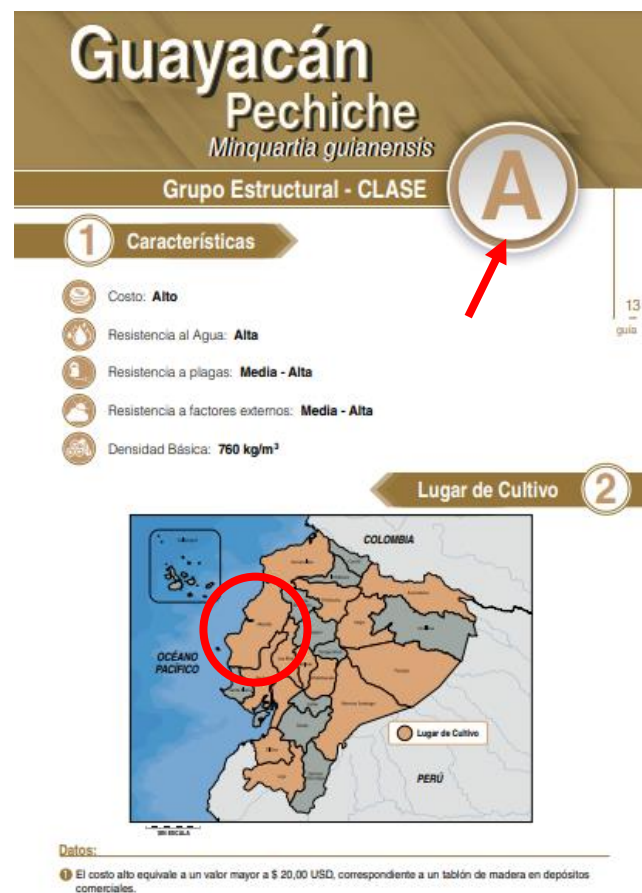


Figura 76. Criterios de selección de la especie de madera

Una vez determinada la especie de madera que se utilizará para la construcción de los apuntalamientos, se selecciona el tipo de apuntalamiento óptimo que ayudará a mejorar la estabilidad de la edificación. Debido a lo observado en el registro fotográfico, se puede apreciar que la mayor cantidad de daño se concentra en las columnas y vigas que sostienen a la losa del segundo piso, misma que se encuentra a una altura de 6 metros. Tomando lo mencionado y revisando los distintos tipos de apuntalamientos que provee la guía, se determinó el uso de los apuntalamientos verticales tipo caja para las losas de mayor área (ver Figura 77) y apuntalamientos verticales tipo T (ver Figura 78) para los volados frontales.

Apuntalamientos
Verticales

Apuntalamiento Vertical Tipo Caja

Uso: Losas **Altura Máxima:** 3 metros

Detalles Constructivos:

36
guía

① Elementos Verticales

4 Postes
Sección Rectangular: 7x14 cm
Sección Circular: Diámetro Ø=10 cm
Largo: Altura Variable

② Elementos Horizontales

8 Tiras
Sección Rectangular: 7x14 cm
Largo: 120 cm
(Sentido Y)

6 Tiras
Sección Rectangular: 6x7 cm
Largo: 180 cm
(Sentido X)

2 Tiras
Sección Rectangular: 6x7 cm
Largo: Longitud Variable
(Sentido Y)

③ Elementos Inclinados

8 Tiras
Sección Rectangular: 6x7 cm
Largo: Longitud Variable

④ Uniones

12 Placas: Madera Contrachapada - Unión tipo 2

⑤ Materiales

- Clavos, tirafondos o tornillos
- Herramientas Básicas

Carga Admisible

Sección Rectangular (kg)		
Clase A	Clase B	Clase C
8000	6200	4000

Sección Circular (kg)		
Clase A	Clase B	Clase C
8000	6200	4000

Figura 77. Criterios de selección del tipo de apuntalamiento para losas

Apuntalamientos
Verticales

Apuntalamiento Vertical en T

Uso: Columnas, Vigas, Losas **Altura Máxima:** 3 metros

Detalles Constructivos:

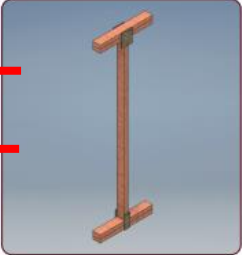
34 guía

① **Elementos Verticales**
1 Poste
Sección Rectangular: 7x14 cm
Sección Circular: Diámetro Ø=10 cm
Largo: Altura Variable

② **Elementos Horizontales**
4 Tiras
Sección Rectangular: 7x14 cm
Largo: 60 cm

③ **Uniones**
4 Placas: Madera contrachapada - Unión tipo 1

④ **Materiales**
- Clavos, tirafondos o tornillos
- Herramientas Básicas



Carga Admisible

Sección Rectangular (kg)		
Clase A	Clase B	Clase C
1600	1300	900

Sección Circular (kg)		
Clase A	Clase B	Clase C
1900	1500	1000

Figura 78. Criterios de selección del tipo de apuntalamiento para volados

Debido a que la guía de apuntalamiento ha sido creada para el apuntalamiento de alturas de hasta 3 metros y siendo éste un caso especial que precisa apuntalamientos de 6 metros, se tuvo que realizar un diseño particular basado en los parámetros que indica el Manual de maderas del Grupo Andino; del cual se obtuvo para el apuntalamiento vertical en T una sección de 14x14 cm y para el apuntalamiento vertical tipo caja una sección circular para sus postes de un diámetro de 10 cm.

Las secciones que serán utilizadas durante el modelamiento de los apuntalamientos serán detalladas en la sección 5.7.1.

5.4 Datos para el modelamiento de la estructura seleccionada

Para iniciar con el modelamiento se deben conocer los ejes longitudinales y transversales de la estructura con las respectivas distancias de acuerdo a la concepción arquitectónica previamente analizada. Además se deben establecer las propiedades de los materiales (hormigón - acero) y las dimensiones concernientes a los elementos estructurales de la edificación (vigas – columnas – losas).

Es importante mencionar que para evaluar los niveles de daño provocados por el sismo en la estructura se utilizó el Método de Análisis Estático No Lineal (Pushover). Con esta metodología se verifica cuáles elementos estructurales (vigas y columnas) recibieron más afectación y qué desplazamientos se producen en la estructura con y sin apuntalamiento cuando es sometida al espectro de sismo (más crítico) correspondiente. Por último, se utiliza el acelerograma más crítico registrado en Portoviejo para comparar las gráficas de las respuestas en el tiempo de la estructura con y sin apuntalamientos.

5.4.1 Estructura de Hormigón Armado

5.4.1.1 Descripción General

La estructura seleccionada es de hormigón armado con marcos de mampostería no reforzada, que se le llamará desde ahora como estructura CR; las fotografías de la estructura se detallan en la Figura 72. La edificación consta de tres pisos, el área de implantación es de 74.53 m² y se estima que el año de construcción de la misma inició

esto, también se determinaron distancias, dimensiones, secciones de cada elemento estructural de la edificación.

En la Figura 80, se presenta la ubicación de las columnas de acuerdo a los ejes referenciados de la estructura CR, la columna ubicada en el eje C2 según las fotografías se destinó para soportar vigas de amarre con la función de sostener un ducto de gradas. Además, las figuras Figura 81, Figura 82 y Figura 83, muestran la vista en planta de cada uno de los pisos.

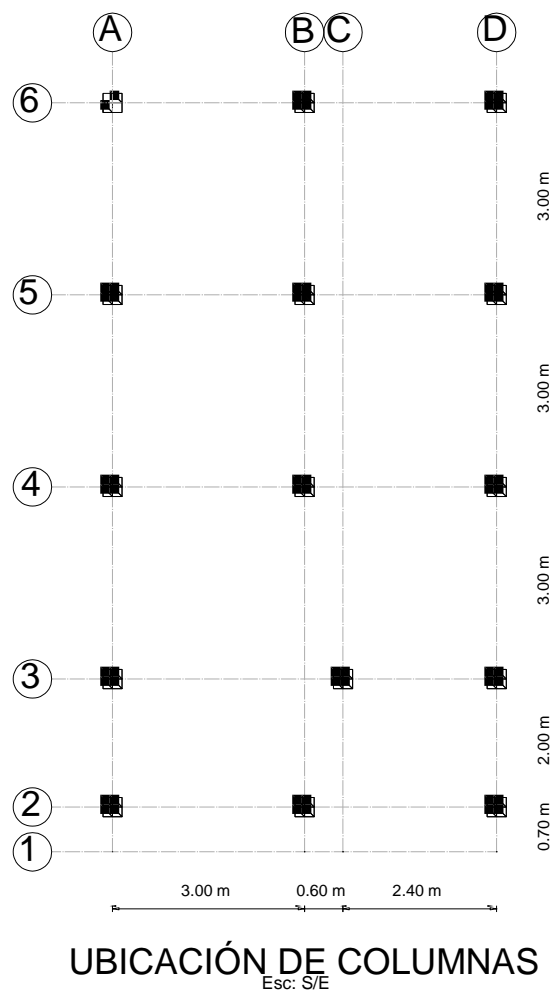
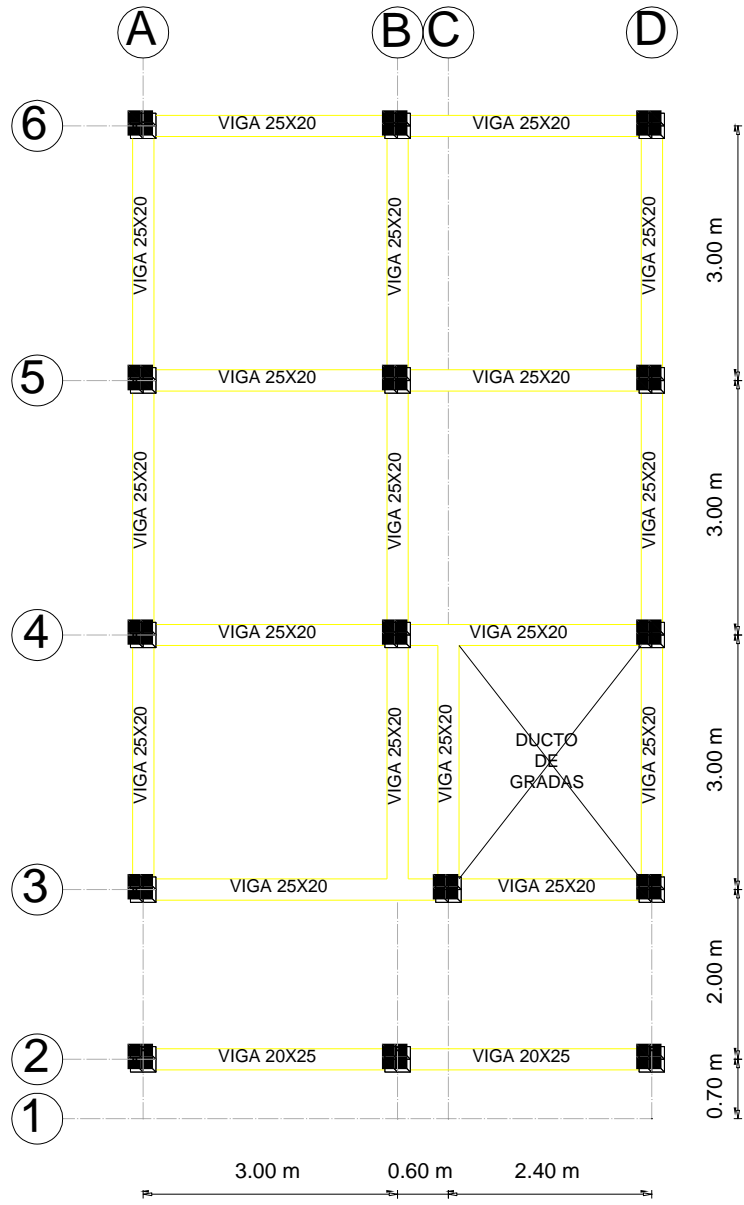


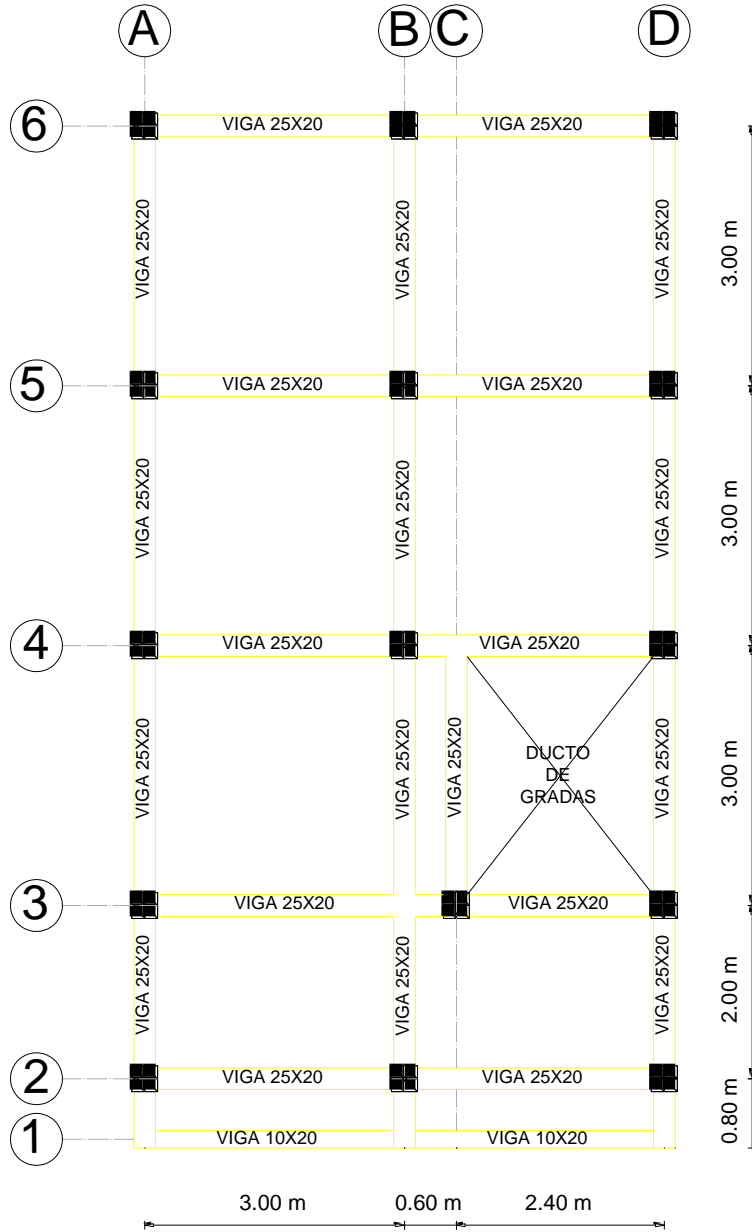
Figura 80. Ubicaciones de las columnas de la estructura CR



PLANTA PISO 1

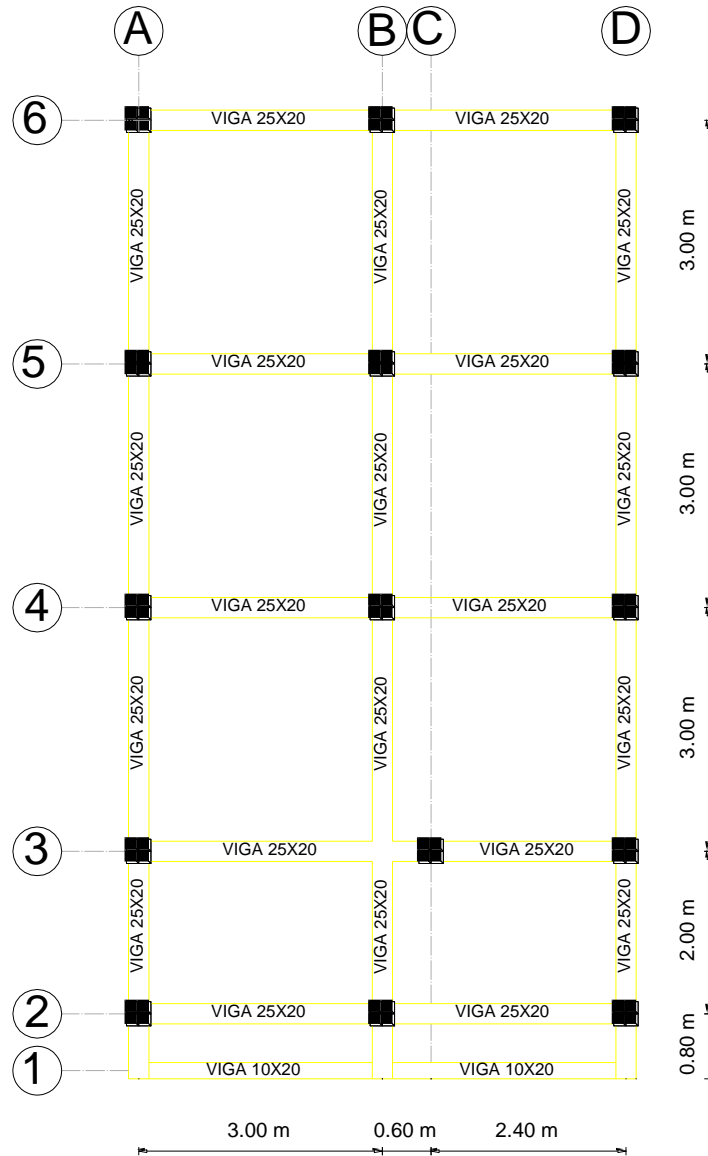
Esc: S/E

Figura 81. Vista en planta del piso 1



PLANTA PISO 2-3
Esc: S/E

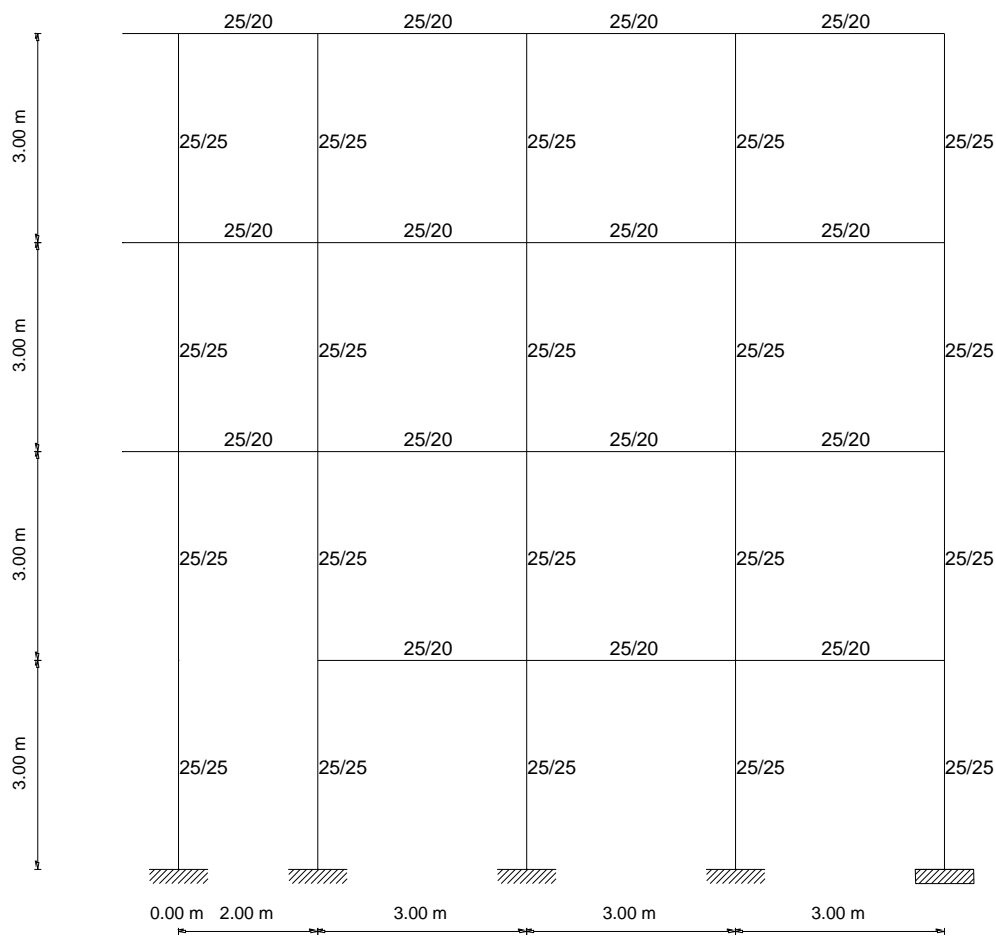
Figura 82. Vista en planta de los pisos 2 y 3



**PLANTA TERRAZA
INACCESIBLE**
Esc: S/E

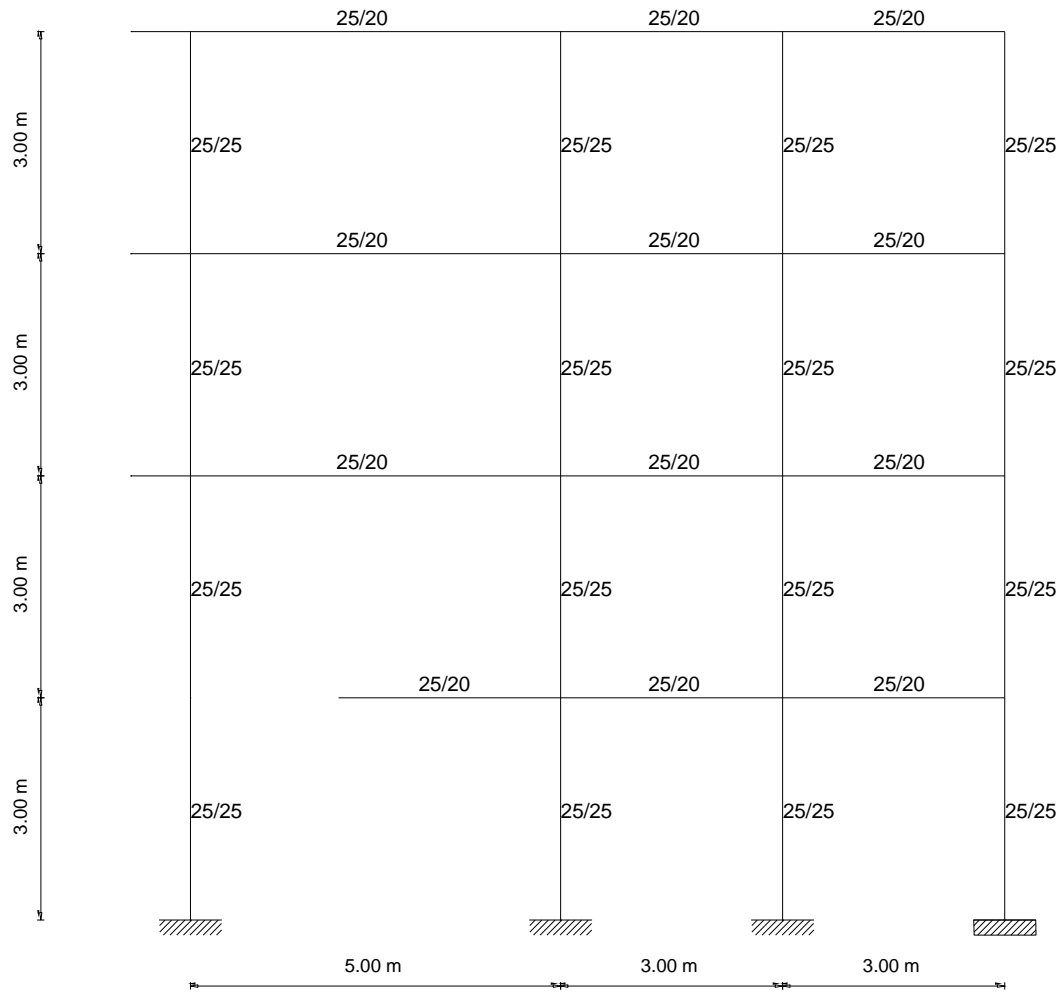
Figura 83. Vista en planta de la terraza inaccesible

Para el modelamiento es necesario conocer las secciones de cada viga y columna, por tal razón se precisó detallar cada pórtico de la edificación con sus respectivos elementos estructurales como se muestran en las figuras Figura 84, Figura 85, Figura 86 y Figura 87. Cabe recalcar que el esquema del pórtico 1 no se muestra debido a que pertenece a los volados de la parte delantera de la edificación, por lo cual solo es necesario indicar que las vigas que conforman el volado son vigas de borde de 10x20 cm.



PÓRTICOS A-D
Esc: S/E

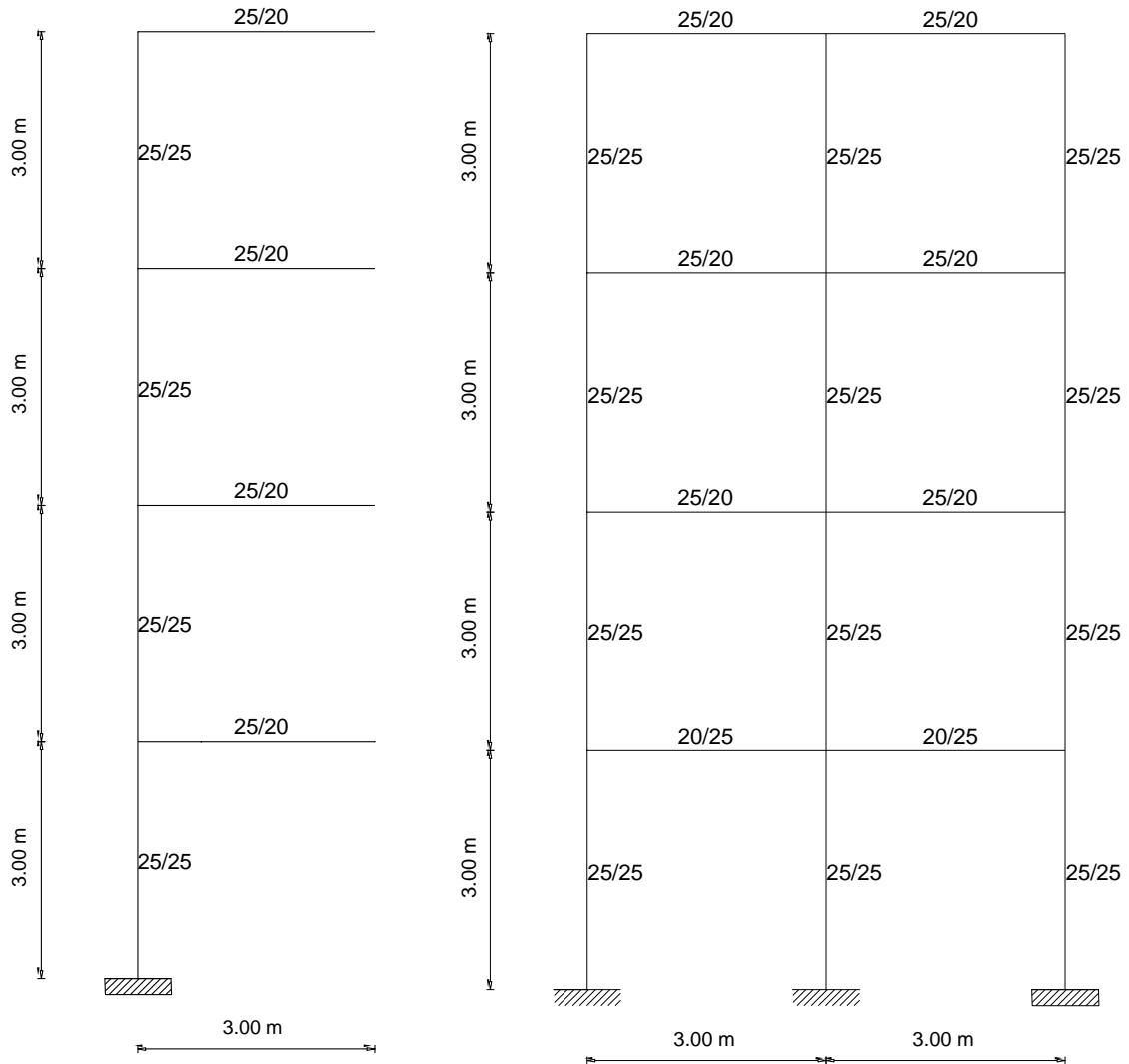
Figura 84. Dimensiones y secciones del pórtico A y D



PÓRTICO B

Esc: S/E

Figura 85. Dimensiones y secciones del pórtico B



PÓRTICO C
Esc: S/E

PÓRTICO 2
Esc: S/E

Figura 86. Dimensiones y secciones de los pórticos C y 2

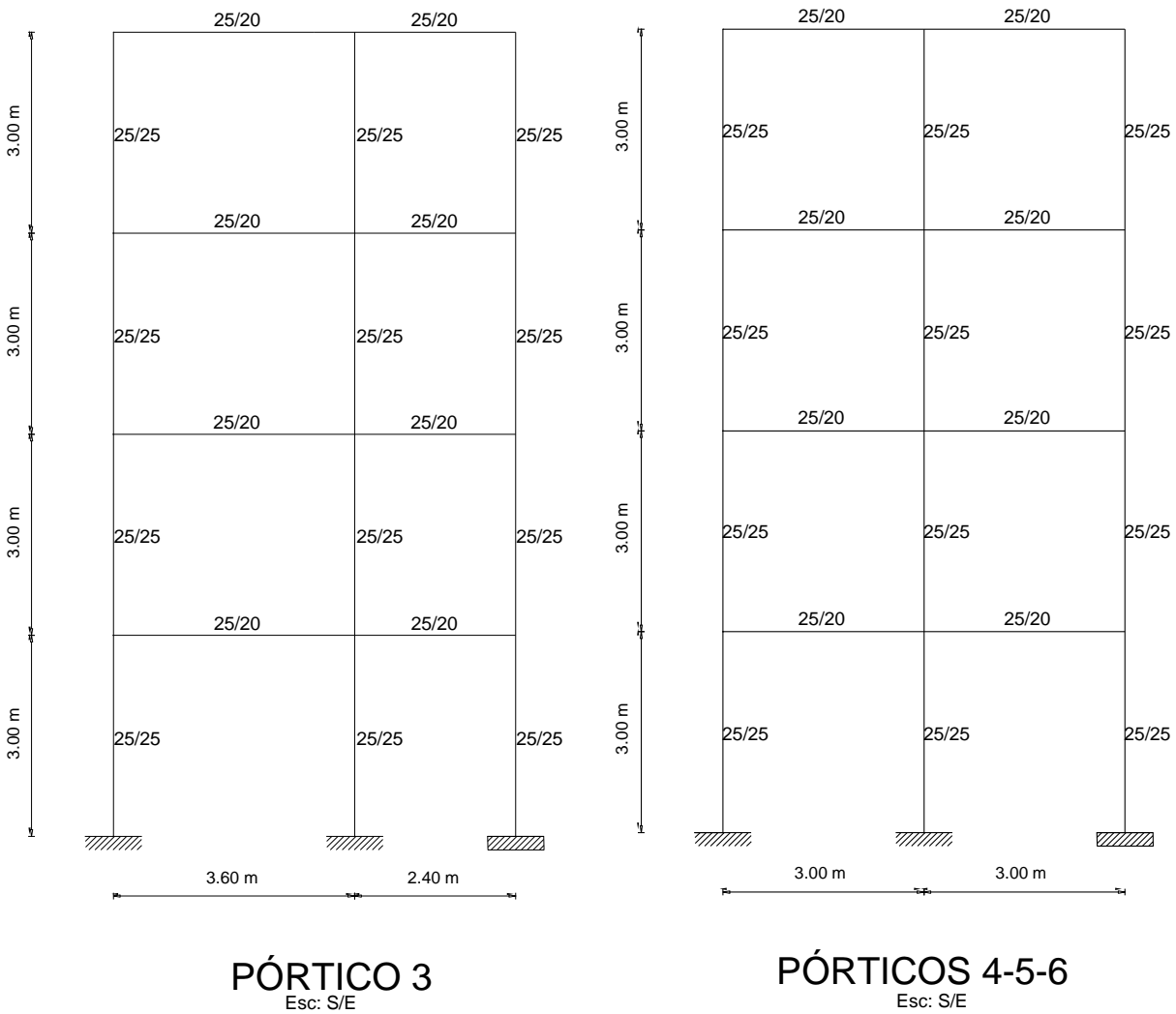


Figura 87. Dimensiones y secciones de los pórticos 3, 4, 5 y 6

5.4.1.3 Materiales y Elementos Estructurales

Debido a las condiciones de la época en la que se construyó este tipo de estructura, se seleccionaron materiales apegados a la realidad de ese tiempo. Por tal razón, para el esfuerzo a compresión ($f'c$) del hormigón que se utilizó 180 kg/cm² en todos los elementos

estructurales, y para el caso del acero se trabajó con un esfuerzo de fluencia (f_y) de 2,800 kg/cm².

Las dimensiones utilizadas dentro del modelamiento de la estructura se detallan en la Tabla 30. Para el caso de las columnas utilizaron 8 varillas de 12 mm para el armado longitudinal en ambas direcciones, cuya cuantía (ρ) es 0.0173; además, se estableció un recubrimiento de 3.5 cm. Para el acero de confinamiento se utilizó un estribo de 10 mm cada 20 cm de espaciamiento. En el caso de las vigas se utilizó una cuantía mínima de acero de acuerdo al f_y utilizado con un recubrimiento de 2.5 cm. Por último, para el modelamiento de la losa alivianada se utilizó una altura equivalente en inercia para trabajar como losa maciza y se designó diafragma a cada losa.

Tabla 30

Dimensiones utilizadas en el modelamiento

Elemento Estructural	Dimensiones (cm)
Columnas	25 x 25
Pedestales	40 x 40
Vigas	25 x 20
Viga de amarre frontal	20 x 25
Losa alivianada	20

5.4.2 Espectro Sísmico

El espectro sísmico que se optó para analizar la estructura fue el espectro de respuesta sísmica registrado en Portoviejo (ver Figura 88), sector en el que se encuentra ubicada la estructura CR seleccionada. Los datos fueron concedidos por el Dr. Roberto Aguiar

Falconí docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, donde el espectro de sismo más crítico (seleccionado dentro del análisis) fue en la dirección Norte – Sur con una aceleración espectral (S_a) de 2.1045g.

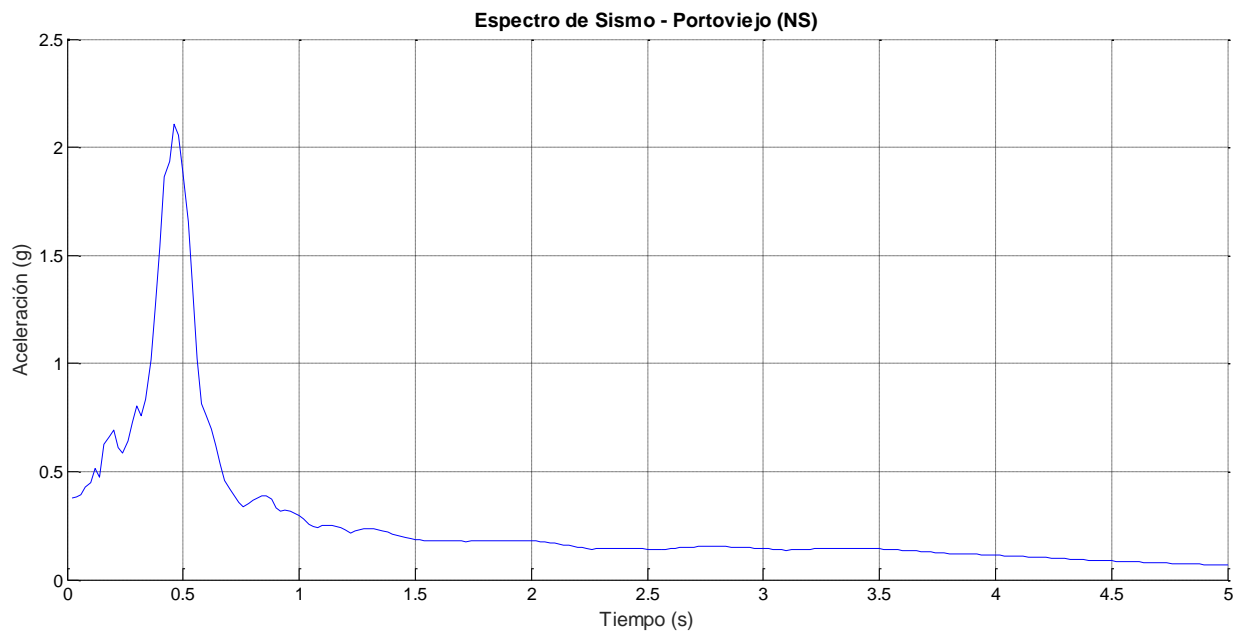


Figura 88. Espectro de respuesta registrado en Portoviejo

5.4.3 Cortante Basal

Para la aplicación del método Pushover se ha considerado el cálculo de un cortante basal (V) a partir de la aceleración espectral (S_a) correspondiente al periodo de vibración de la estructura (T_a) provista del análisis modal con el espectro de respuesta de Portoviejo.

Aplicando un correcto análisis modal dentro del modelamiento se determinó los periodos de vibración de la edificación, concentrándose periodos altos en los tres primeros modos como se muestra en la Tabla 31, de lo cual se seleccionó el periodo de vibración del primer modo (1.26 segundos), con este periodo se ingresó en el espectro de respuesta y se obtuvo la aceleración espectral (0.2304g) que afectaría a la estructura de estudio durante el sismo de Muisne del 16 de abril del 2016.

Tabla 31

Tasa de Participación de la Masa para la estructura de estudio

Modo	Periodo (seg)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	1.26	0.92267	0.00242	0.00066	0.92267	0.00242	0.00066
2	1.23	0.00220	0.92097	0.00396	0.92487	0.92339	0.00462
3	1.06	0.00134	0.00354	0.90763	0.92621	0.92693	0.91225
4	0.35	0.03788	0.00017	0.00041	0.96409	0.92710	0.91266
5	0.35	0.00019	0.03734	0.00006	0.96428	0.96444	0.91272
6	0.30	0.00000	0.00021	0.04025	0.96429	0.96465	0.95297
7	0.19	0.00643	0.00010	0.00011	0.97071	0.96475	0.95309
8	0.19	0.00011	0.00610	0.00003	0.97082	0.97085	0.95311
9	0.16	0.00000	0.00012	0.00795	0.97082	0.97097	0.96106
10	0.12	0.01378	0.00013	0.00002	0.98460	0.97110	0.96108
11	0.12	0.00008	0.01548	0.00001	0.98468	0.98658	0.96109
12	0.11	0.00221	0.00002	0.01446	0.98689	0.98659	0.97555

Para el cálculo del cortante basal se utilizó la Ecuación $V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_P * \phi_E} * W$

(5), los valores del coeficiente de importancia (I), los coeficientes de configuración en planta y elevación (ϕ_P, ϕ_E), y el factor de reducción de resistencia

sísmica (R), se obtuvieron de las tablas 6, 13, 14 y 15 respectivamente, establecidas por la NEC-SE-DS (MIDUVI, 2015). Para el factor R se trabajó con un valor de 5 debido al tipo de estructura seleccionada en el presente estudio.

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_P * \phi_E} * W \quad (5)$$

En cuanto al peso de la estructura (W) se trabajó con los valores calculados automáticamente por el software utilizado, estos se detallan en la Tabla 32. Una vez calculado el valor total de W (178.44 Ton), se determina el porcentaje de cortante basal

(fracción de la Ecuación $V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_P * \phi_E} * W$ (5) con un valor de

5.12%, el cual afectado por el peso resulta 9.14 toneladas de cortante basal.

Tabla 32

Área y Peso de la estructura de estudio por piso

Descripción	Unidades	Piso 1	Piso 2	Terraza Inaccesible
Área	m ²	15.00	69.21	74.53
Peso	T/m ²	0.184	0.825	0.825

El cálculo de las cargas sísmicas por piso (F_i) se lo realizó a través de un patrón de cargas laterales con respecto a las alturas (H_i) de cada piso detallado en la Tabla 33, el peso de cada piso (W_i) se calculó con la multiplicación de sus áreas y pesos indicados en la Tabla 32.

Tabla 33*Patrón de cargas laterales por piso aplicado en la estructura*

Pisos	Hi (m)	Wi (Ton)	Wi*Hi (Ton*m)	Fi (Ton/piso)
1	3	2.76	8.29	0.047
2	6	57.10	342.58	1.953
3	9	57.10	513.87	2.930
Terraza I.	12	61.49	737.82	4.206
TOTAL		178.44	1602.57	9.136

5.4.4 Acelerograma

El acelerograma utilizado, al igual que el espectro de respuesta, se obtuvieron de los datos registrados por el acelerómetro ubicado en la ciudad de Portoviejo (ver Figura 89), así mismo la obtención de éstos fueron facilitados por el Dr. Roberto Aguiar Falconí. Cabe mencionar que el acelerograma utilizado fue en la dirección Norte – Sur mismo que se empleará para el análisis en función del Time History dentro del modelamiento.

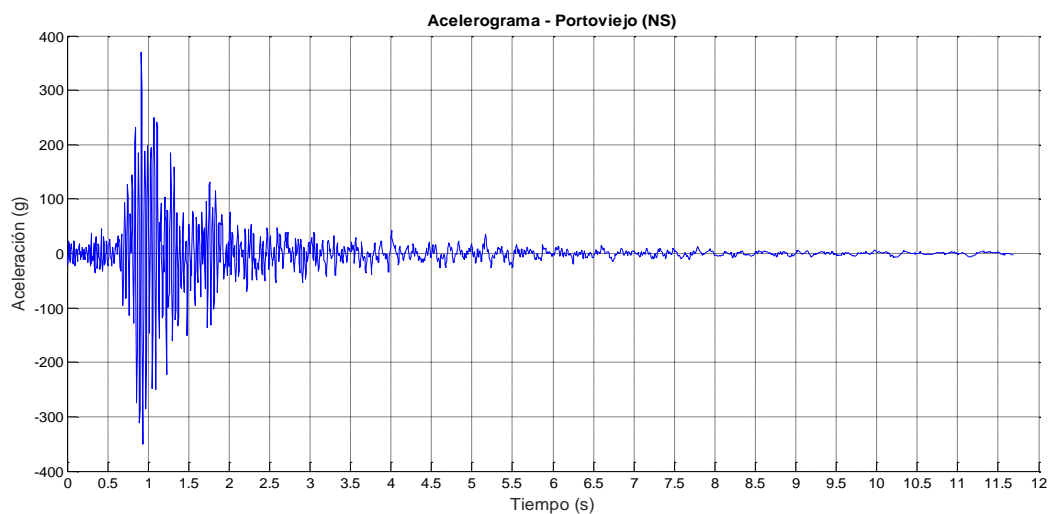


Figura 89. Acelerograma sentido N-S registrado en Portoviejo

5.5 Consideraciones generales para el modelamiento de la estructura

Para el modelamiento se analizó la estructura en dos instancias, la primera es el análisis de la estructura CR frente a las cargas laterales propuestas por la metodología Pushover sin ningún tipo de apuntalamientos; y la segunda parte de las mismas condiciones de análisis pero se adiciona los respectivos apuntalamientos en los sectores donde presentaron mayor daño los elementos estructurales de la edificación.

Dentro del análisis se consideró un patrón de carga para ambos sentidos de análisis aplicados en el centro de masas por cada piso, este se detalla en la sección 5.4.3 Tabla 33.

También se definieron tres casos de carga para el análisis estático no lineal, el primero se denomina “Cargas Gravitacionales no Lineales” que corresponde a las condiciones iniciales nulas, las cuales parten de un estado sin tensión; y su análisis va en función de la dirección (U3). La Tabla 34, detalla el porcentaje de carga considerado para este caso como establece la NEC-15 (MIDUVI & CAMICON, 2015). Para los parámetros numéricos de este caso de carga, se estableció que la forma de aplicación de carga sea total debido a que no se realiza ningún control de desplazamiento.

Tabla 34

Porcentajes para el caso “Cargas Gravitacionales no Lineales”

Descripción	Porcentaje (%)
Carga muerta y de acabados	100

El segundo y tercero corresponden al caso de carga “Pushover tipo X” para el análisis en el sentido (U1) y “Pushover tipo Y” para el sentido contrario (U2) respectivamente, los mismos continúan desde el estado inicial antes mencionado hasta el final del caso no lineal. Para los parámetros geométricos no lineales se utilizó un caso P-Delta y en el caso de los parámetros numéricos se estableció una aplicación de carga por control de desplazamientos.

El monitoreo de cada caso de carga se realizó en la junta 61 que se muestra en la Figura 90, las aceleraciones, curva de capacidad Pushover, desplazamientos y cortantes basal, son registrados en el mismo para cada dirección de análisis.

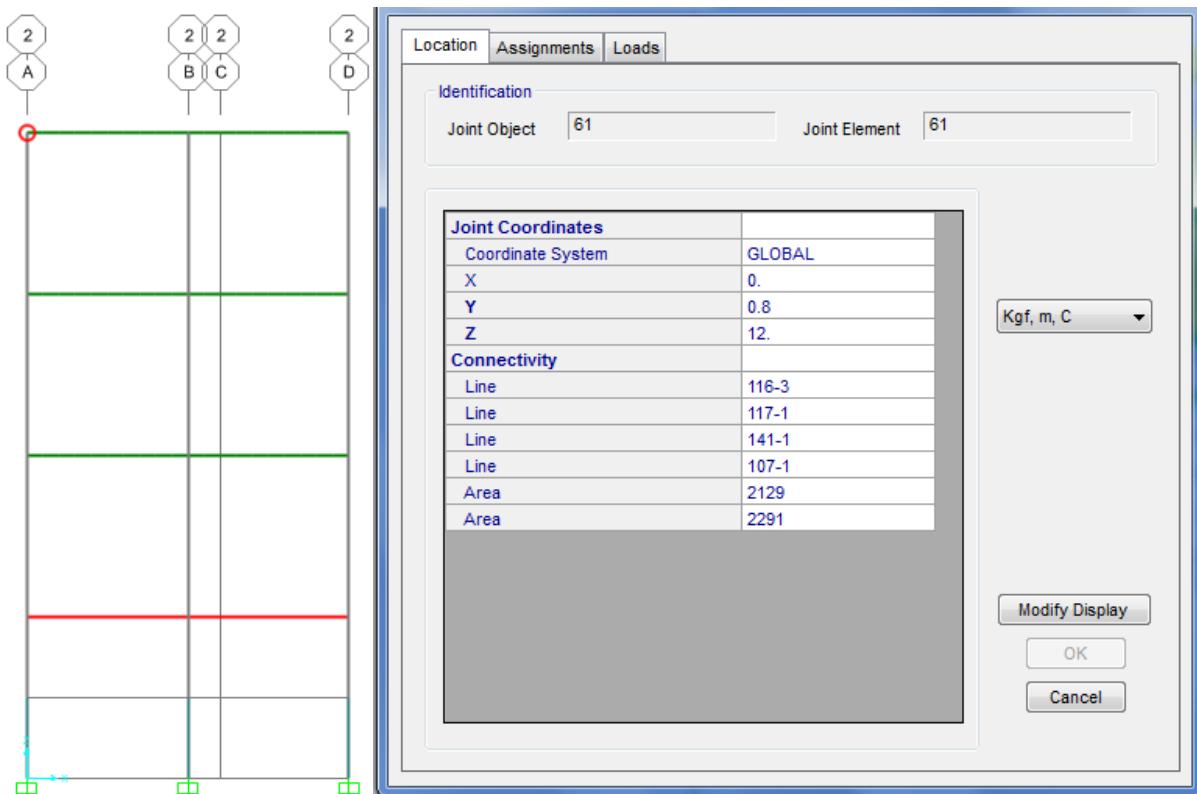


Figura 90. Punto de monitoreo para el análisis estático no lineal

Los valores de las cargas no sísmicas que se aplicaron sobre la estructura se establecieron en función a lo que determina NEC-SE-CG enunciado en su apéndice 4 (MIDUVI & CAMICON, 2015), dichos valores se detallan en la Tabla 35, la carga muerta de acabados está comprendida por 0.10 y 0.12 Ton/m² correspondiente a paredes y acabados respectivamente.

Tabla 35

Porcentajes de cargas para el caso “Cargas Gravitacionales no Lineales”

Descripción	Valor de carga (Ton/m ²)
Carga muerta de acabados	0.22
Carga viva de entrepiso	0.20
Carga viva de terraza inaccesible	0.07

Como último procedimiento para el análisis estático no lineal se procedió a asignar rótulas plásticas localizadas a 0.95 y 0.05 de las uniones de los elementos vigas-columnas; la norma utilizada para establecer los diferentes parámetros en cada rótula es la ASCE 41-13 definida automáticamente por el software. No se designaron rótulas plásticas a las vigas de borde ubicadas en el volado de la estructura.

Cabe mencionar que en la viga de amarre (20 x 25 cm) color rojo de la Figura 91, se restringió la transmisión de momentos (M_2 y M_3), con el fin de simular los resultados de los daños observados en la Figura 74. En esta viga de amarre no se formaron rótulas plásticas, puesto que se desprenden directamente de la columna por corte en la unión, sin existir daño en el elemento estructural.

5.6 Modelamiento de la estructura sin apuntalamiento

Dentro del modelamiento de la estructura CR sin apuntalamientos, se trató de adaptar las condiciones más cercanas a la realidad de la edificación como se muestra en las figuras Figura 72, Figura 73 y Figura 74. El modelamiento 3D y el dimensionamiento de cada elemento estructural de la edificación se pueden observar en la Figura 91; la razón de la división de las losas se explica en la sección 5.7.

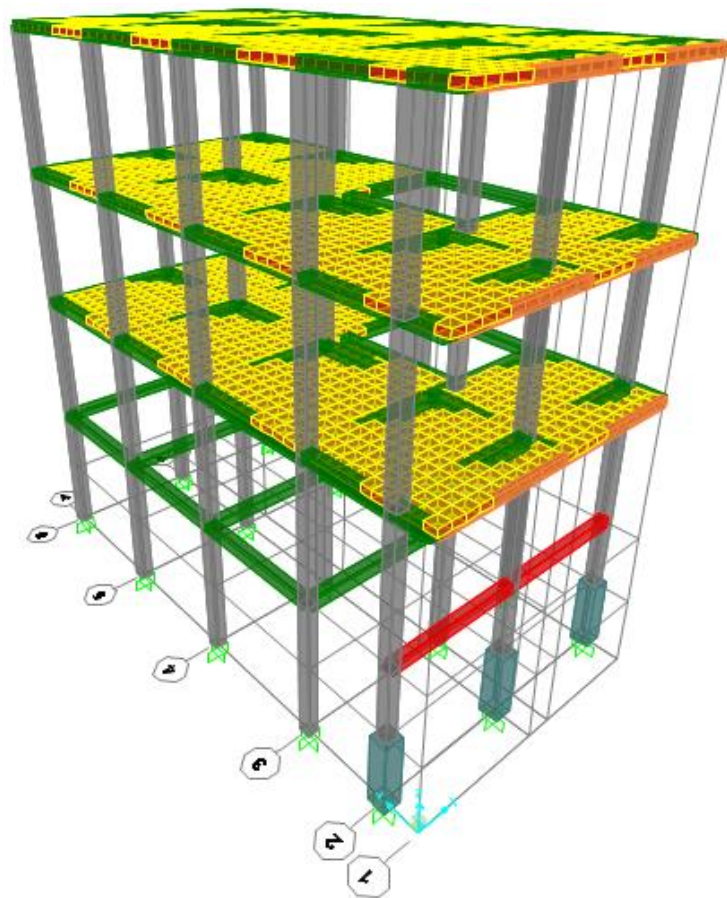


Figura 91. Estructura modelada sin apuntalamiento

5.7 Modelamiento de la estructura con apuntalamiento

Para el modelamiento de la estructura CR con apuntalamientos se partió del análisis estático no lineal obtenido de la estructura sin apuntalamientos, la cual mostró los elementos estructurales que sufrieron mayor daño, lo cual condicionó el lugar de empleo de los apuntalamientos necesarios para el análisis de esta sección.

Los apuntalamientos seleccionados para este caso de análisis fueron los apuntalamientos verticales en T y tipo Caja como se muestra en la Figura 92. Para la implementación de los mismos dentro del modelamiento, se realizó la división de las losas en elementos finitos de modo que coincidan los puntos de apoyo de cada apuntalamiento con las divisiones de las losas. La razón de este procedimiento se debe que, al existir contacto estos puntos de apoyo, se asegura una adecuada transmisión de esfuerzos de la losa hacia el apuntalamiento; asegurando que el aporte de los apuntalamientos a la estabilidad de la estructura se vea evidenciado en los resultados.

Se restringieron los movimientos laterales (U_1 y U_2) debido a que, al momento de existir contacto de la losa con los apuntalamientos genera una fuerza de fricción que asegura el desplazamiento en conjunto de los apuntalamientos y la losa.

Los apuntalamientos fueron ubicados dependiendo el sentido en el que mejor se ubiquen. Para el caso del tramo entre los pórticos 2 y 3 por tener una menor dimensión en el sentido (Y) se ubicó el apuntalamiento caja con sus puntos de apoyo en el sentido corto (Y). Mientras que, en las áreas cuadradas formadas por cada pórtico se utilizó el

apuntalamiento vertical tipo caja en el sentido (X). Por último, en el sector de los volados se utilizaron dos apuntalamientos verticales en T por cada área comprendida entre los pórticos A, B y D.

5.7.1 Secciones utilizadas en los apuntalamientos seleccionados

El tipo de apuntalamiento, clase de madera y las dimensiones de los apuntalamientos se seleccionaron de acuerdo a la guía de apuntalamiento señalada en la sección 5.3. El tipo de madera utilizado como apuntalamiento para la estructura de estudio es de clase A.

Las dimensiones de los apuntalamientos tipo caja ubicados en las áreas comprendidas por los pórticos 3, 4, 5 y 6 con los pórticos A, B y D precisaron secciones rectangulares de 7x6 cm y 7x14 cm para elementos diagonales y horizontales respectivamente, y sección circular con un diámetro de 10 cm para los elementos verticales. Así mismo, para las áreas comprendidas por los pórticos 2 y 3 con los pórticos A, B y D se utilizaron secciones de 7x14 cm para elementos horizontales y verticales, mientras que, para los elementos diagonales se utilizó una sección de 6x7 cm.

Por otro lado, para las áreas de los volados en la parte frontal se utilizaron apuntalamientos verticales en T, con secciones cuadradas de 14x14 cm para el elemento vertical y secciones rectangulares 7x14 cm para los elementos horizontales de apoyo superior e inferior. Todas las dimensiones propuestas se pueden diferenciar por colores en la Figura 92.

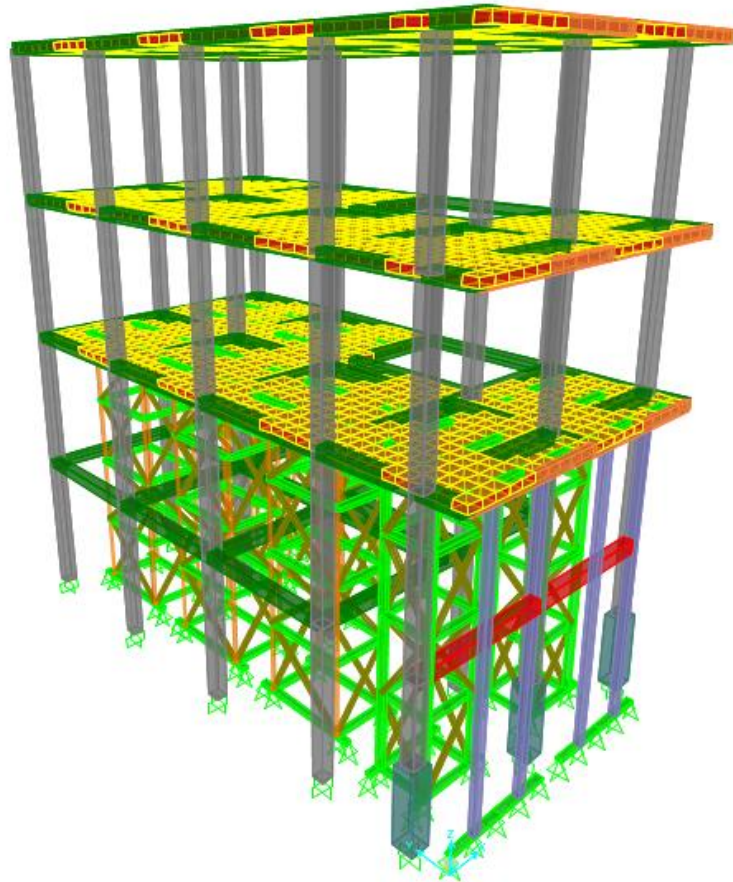


Figura 92. Estructura modelada con apuntalamiento

5.8 Análisis del comportamiento de la estructura sin apuntalamiento

La estructura sin apuntalamiento frente a las cargas sísmicas consideradas presentó mayor afectación en los pisos 1 y 2 como se muestra en la Figura 93. Esto se debe a la existencia de piso blando en esa zona, que prácticamente fue destinada para ser área comercial en la estructura.

En la Figura 93, se presenta el grado de afectación (daño de los elementos estructurales) en cada formación de rótula plástica para el límite de seguridad de vida (LS) correspondiente a cada sentido de análisis. La mayor cantidad de daño para ambas direcciones se presenta en las rótulas de las columnas del primer, segundo y tercer piso. Así también, se puede observar que los pedestales de las columnas frontales de la estructura sufren una afectación en el cambio de sección.

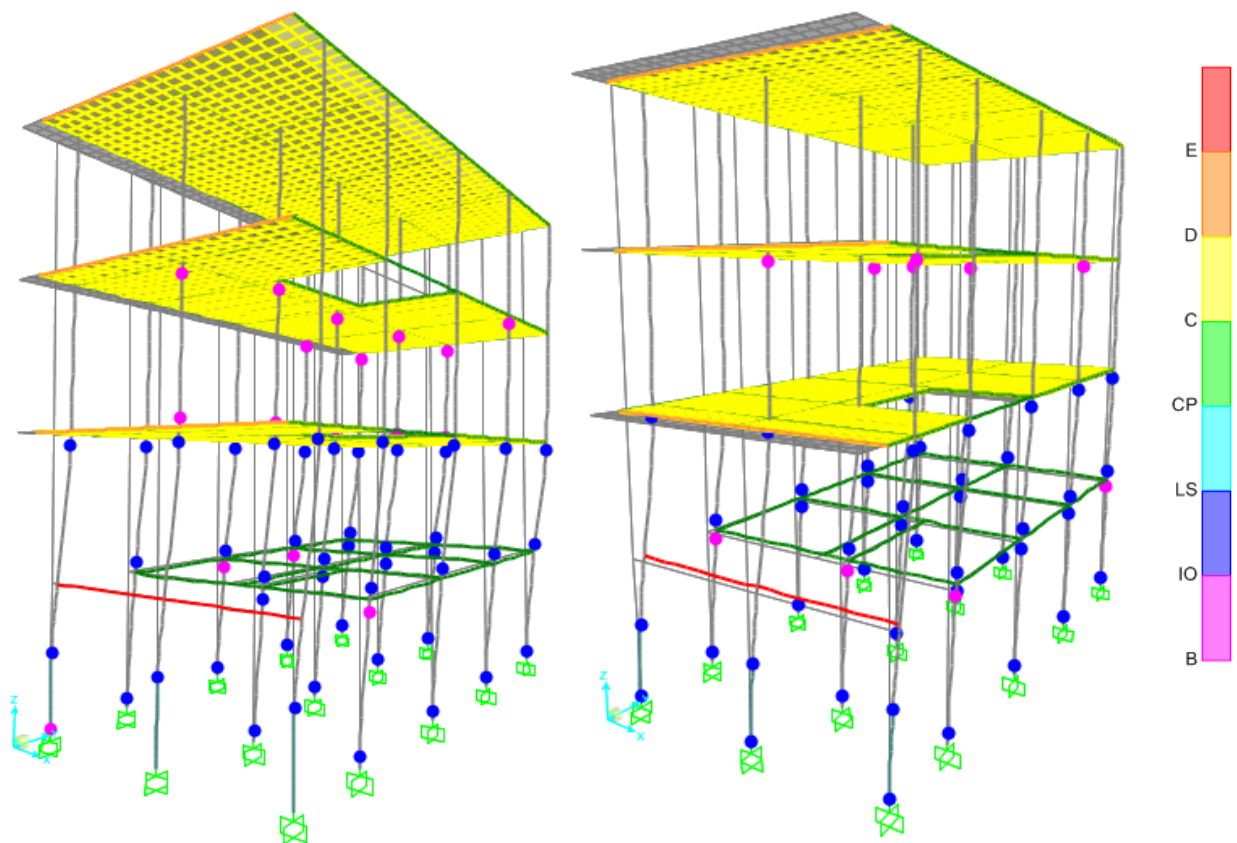


Figura 93. Daño en rótulas al límite (LS), dirección X (izq) y dirección Y (der)

En la Tabla 36, se muestran los desplazamientos y cortantes basales obtenidos del análisis en ambas direcciones hasta llegar al fallo de las rótulas plásticas (colapso de los elementos estructurales).

Tabla 36

Curva de Capacidad Pushover para Estructura sin Apuntalamiento

Análisis	Desplaz. (cm)	Cortante Basal (Tonf)	Análisis	Desplaz. (cm)	Cortante Basal (Tonf)
Dirección X	0.00	0.00	Dirección Y	0.00	0.00
Dirección X	3.48	21.68	Dirección Y	3.67	22.27
Dirección X*	4.81	29.52	Dirección Y*	5.18	30.16
Dirección X	6.73	34.47	Dirección Y	6.82	34.36
Dirección X	7.22	35.15	Dirección Y	7.63	35.66
Dirección X	9.51	37.21	Dirección Y	10.20	37.34
Dirección X	9.51	37.23	Dirección Y	10.73	37.90
Dirección X	9.66	37.43	Dirección Y	10.73	37.80
Dirección X	10.51	37.82	Dirección Y	10.94	38.11
Dirección X	11.37	38.61	Dirección Y	12.73	39.54
Dirección X	11.97	38.84	Dirección Y	13.62	39.72
Dirección X	12.20	39.05	Dirección Y	13.97	39.90
Dirección X	13.03	39.08	Dirección Y	14.54	39.91
Dirección X	13.41	39.38	Dirección Y**	15.73	40.26
Dirección X	14.71	39.79	Dirección Y	16.67	40.37
Dirección X	15.14	39.79	Dirección Y	16.80	40.43
Dirección X**	15.22	39.84	Dirección Y	17.41	40.56
Dirección X	15.61	39.96	Dirección Y	17.41	40.56
Dirección X	15.98	40.02	Dirección Y	17.47	40.56
Dirección X	16.30	40.02	Dirección Y	17.47	40.38
Dirección X	16.47	40.07	Dirección Y	17.57	40.45

Dirección X	16.71	40.24	Dirección Y	17.69	40.48
Dirección X	16.85	40.30	Dirección Y	17.82	40.49
Dirección X	17.47	40.40	Dirección Y	17.82	40.48
Dirección X***	18.18	40.44	Dirección Y	17.91	40.56

CONTINÚA

Dirección X	18.32	40.46	Dirección Y	18.72	40.58
Dirección X	18.63	40.45	Dirección Y***	18.92	40.59
Dirección X	18.96	40.42	Dirección Y	19.13	40.58
Dirección X	19.14	40.40	Dirección Y	19.49	40.51
Dirección X	20.06	40.20	Dirección Y	19.94	40.45

* Indica que se llegó al límite de Ocupación Inmediata (IO)

** Indica que se llegó al límite de Seguridad de Vida (LS)

*** Indica que se llegó al límite de Prevención de colapso (CP)

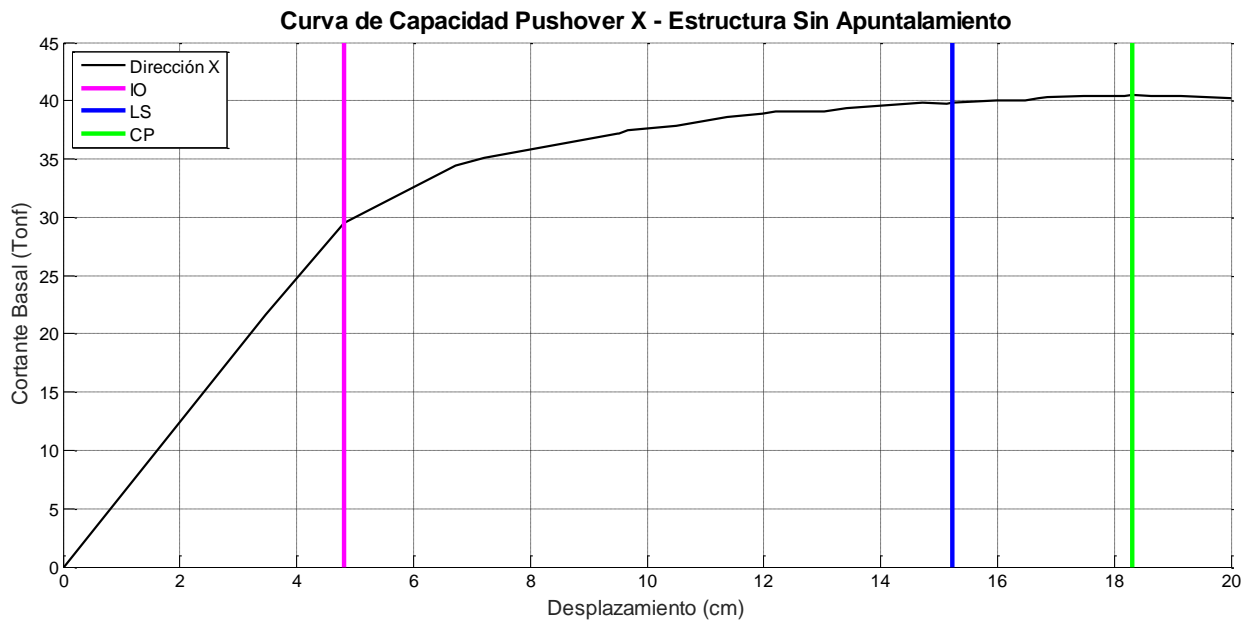


Figura 94. Curva de Capacidad (Dirección X) de la estructura sin apuntalamiento

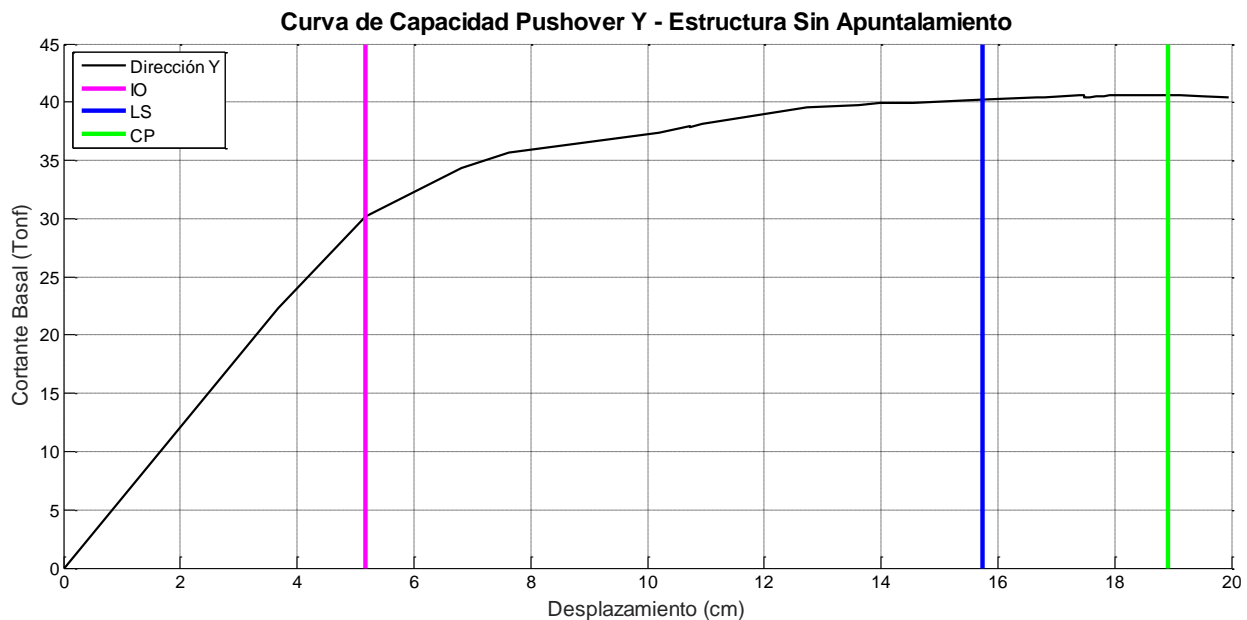


Figura 95. Curva de Capacidad (Dirección Y) de la estructura sin apuntalamiento

Las figuras Figura 94 y Figura 95, muestran la curva de capacidad de la estructura cuando no dispone de ningún tipo de apuntalamiento para ambos sentidos de análisis, en dichas gráficas se ha plasmado los límites de cada nivel de desempeño sísmico que existen en las formaciones de las rótulas que poseen las vigas y columnas. Con la finalidad de comparar con las figuras Figura 99 y Figura 100, que contienen a las curvas de capacidad pero de la estructura con los apuntalamientos seleccionados de la guía de estudio.

También se pudo capturar el daño de las rótulas plásticas, al momento de fallo de los elementos estructurales del modelo cuando no dispone de apuntalamiento, como se puede observar en la Figura 96.

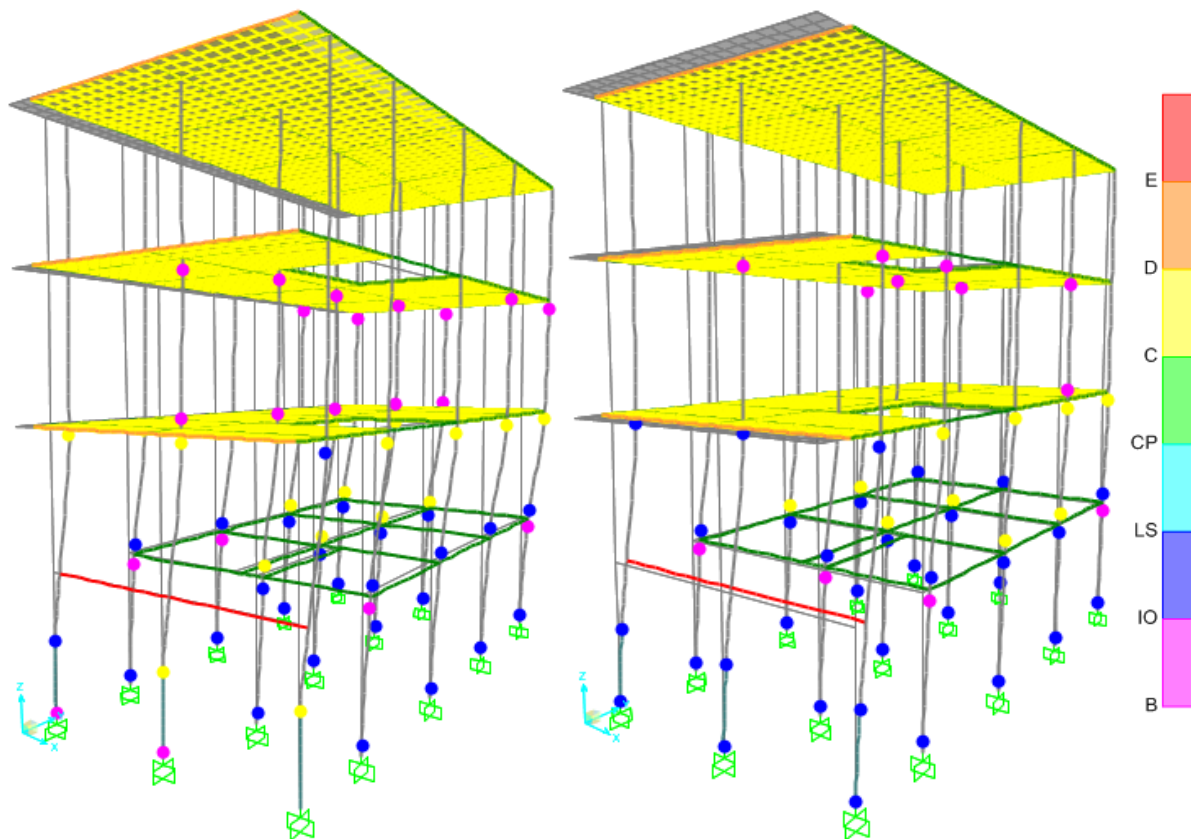


Figura 96. Rótulas plásticas cuando fallan, dirección X (izq) y dirección Y (der)

En el pórtico frontal de la estructura que se muestra en la Figura 97, se puede observar los daños reales que existieron en los elementos estructurales luego de suscitado el sismo del 16 de abril del 2016 (Muisne). Mientras que, en la Figura 98, se muestran los daños de los elementos estructurales registrados de acuerdo al modelamiento realizado en ambas direcciones. Si se compara estas gráficas con la primera mencionada es claro que se pudo reflejar en el modelo los daños que más se asemejan a la realidad observada.



Figura 97. Daño estructurales del pórtico frontal
Fuente: (Lanning et al., 2016)

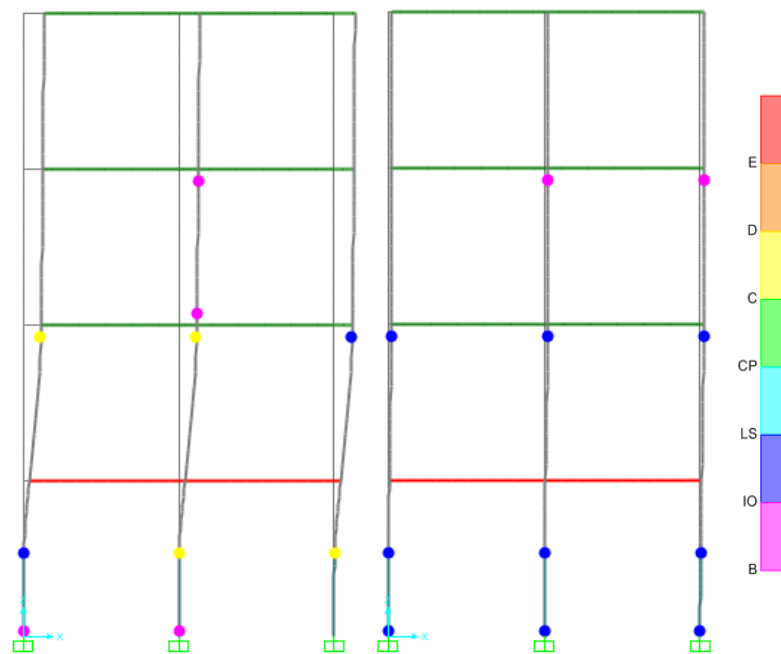


Figura 98. Momento de falla del pórtico frontal, dirección X (der) y dirección Y (izq)

5.8.1 Comportamiento de la estructura con apuntalamiento

El análisis ideal de la estructura con apuntalamiento debe ser la modelación de la estructura cuando ya recibió una afectación estructural por causa de un sismo, y a partir de ese momento, se procedería a la aplicación de los apuntalamientos para verificar el aporte que brindan estos a la estructura durante una réplica. La limitación del software utilizado no permite el modelamiento de los apuntalamientos para una estructura que ya registre condiciones de afectación por un sismo principal o por sus réplicas.

En este estudio, se recurrió a modelar la estructura en condiciones favorables y aplicar los registros de un sismo principal (Muisne) para provocar los respectivos daños. La finalidad radica en comparar los desplazamientos obtenidos a lo largo del tiempo y los cortantes en la base, entre los modelos con y sin apuntalamientos para verificar el grado de aporte que generan éstos a la estructura.

En la Tabla 37, se observan los desplazamientos y cortantes basales registrados del análisis en ambas direcciones para la estructura con apuntalamientos propuestos en la guía de apuntalamiento. Para el caso de análisis en la dirección (Y), no se pudo registrar desplazamientos que conlleven a establecer el límite de prevención de colapso.

Tabla 37

Curva de Capacidad Pushover para Estructura con Apuntalamiento

Análisis	Desplaz. (cm)	Cortante Basal (Tonf)	Análisis	Desplaz. (cm)	Cortante Basal (Tonf)
Dirección X	0.00	0.00	Dirección Y	0.00	0.00
CONTINÚA					

Dirección X	0.75	15.66	Dirección Y	1.95	38.71
Dirección X	2.24	44.10	Dirección Y	2.40	46.06
Dirección X*	2.38	45.37	Dirección Y	2.52	46.98
Dirección X	2.67	46.72	Dirección Y	2.64	47.45
Dirección X	2.97	47.39	Dirección Y	2.78	47.80
Dirección X	3.77	48.24	Dirección Y*	2.88	47.95
Dirección X	4.16	48.87	Dirección Y**	5.98	48.54
Dirección X	4.68	49.06	Dirección Y	10.40	48.80
Dirección X	4.83	49.31	Dirección Y	10.59	49.34
Dirección X	5.17	49.55			
Dirección X	5.22	49.63			
Dirección X	5.47	49.91			
Dirección X	5.92	50.01			
Dirección X**	6.11	50.36			
Dirección X	6.86	50.52			
Dirección X	7.12	50.94			
Dirección X	7.30	51.10			
Dirección X	7.43	51.16			
Dirección X	7.50	51.17			
Dirección X***	7.56	51.20			
Dirección X	8.02	51.08			
Dirección X	8.45	51.06			
Dirección X	8.59	51.06			
Dirección X	8.69	51.05			
Dirección X	8.81	51.04			
Dirección X	10.17	50.74			
Dirección X	20.17	45.32			

* Indica que se llegó al límite de Ocupación Inmediata (IO)

** Indica que se llegó al límite de Seguridad de Vida (LS)

*** Indica que se llegó al límite de Prevención de colapso (CP)

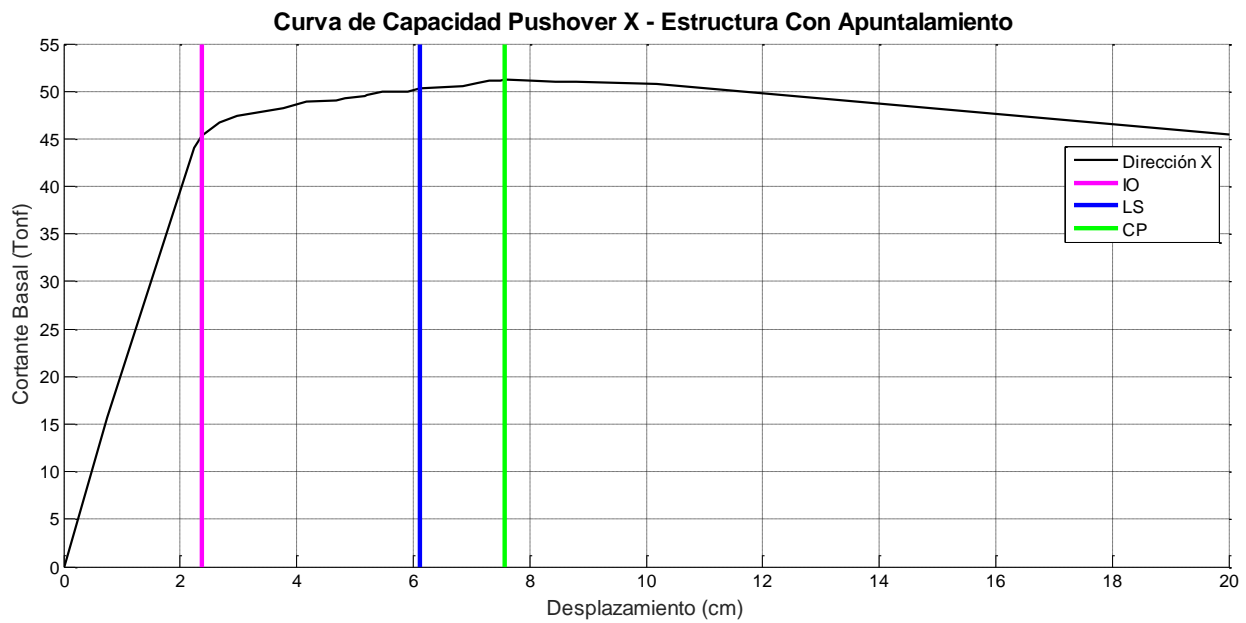


Figura 99. Curva de Capacidad (Dirección X) de la estructura con apuntalamiento

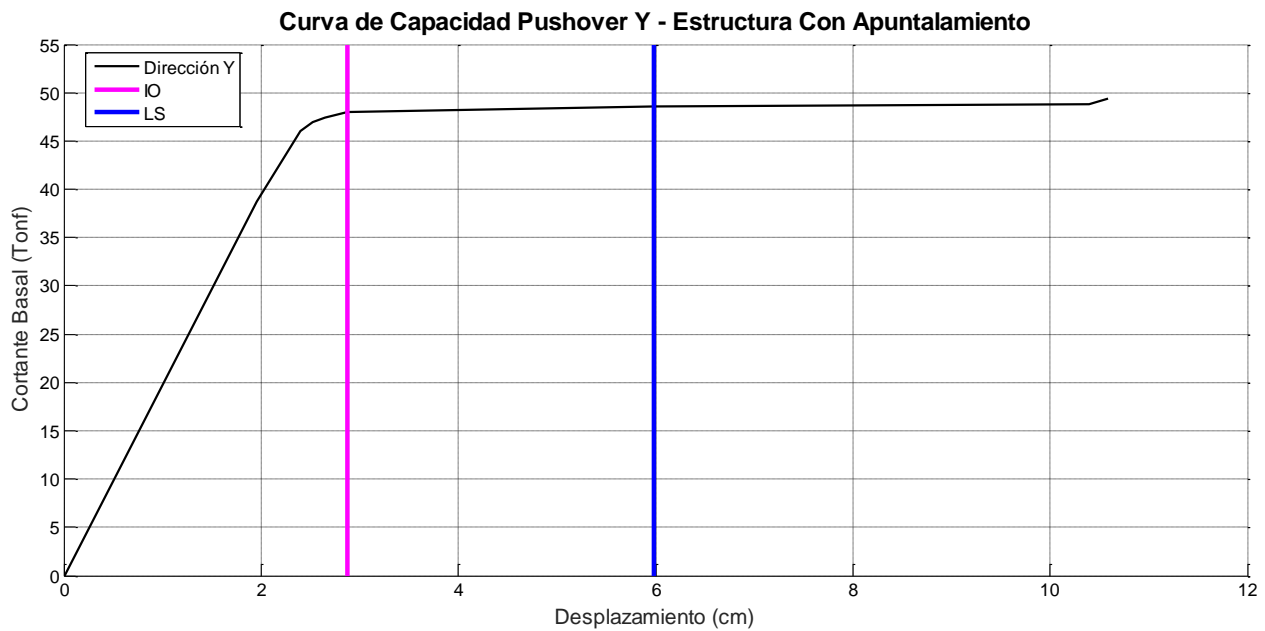


Figura 100. Curva de Capacidad (Dirección Y) de la estructura con apuntalamiento

5.9 Comparación de resultados del modelamiento

5.9.1 Análisis Estático No Lineal (Pushover)

Los resultados del modelamiento de la estructura en base al análisis estático no lineal permitirán la comparación de los cortantes basales alcanzados cuando la edificación no dispone de apuntalamientos y cuando se hace uso de los mismos. En la Figura 101, se muestran las curvas de capacidad en la dirección (X) que se obtuvieron de los modelamientos de la estructura con y sin apuntalamientos.

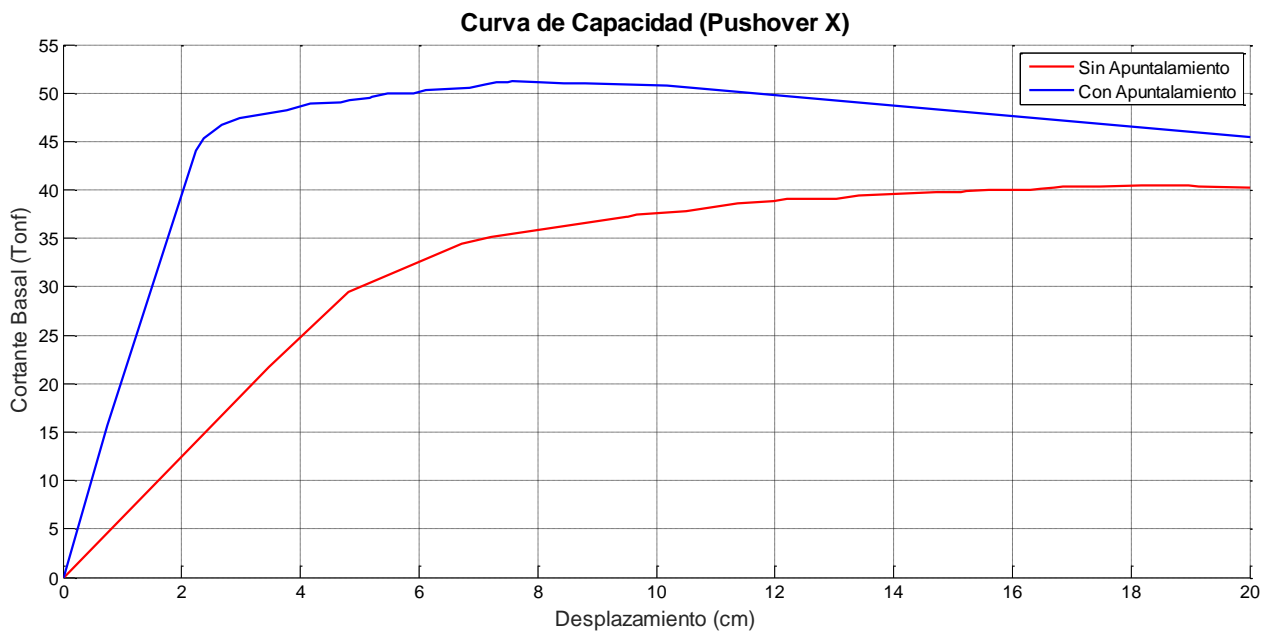


Figura 101. Curvas de Capacidad Cortante vs Desplazamiento (Dirección X)

Se puede observar que la curva de capacidad de la estructura con apuntalamientos alcanza cortantes basales más altos en desplazamientos más cortos, en comparación a

la curva de capacidad de la estructura sin apuntalamientos. Es decir, estos a primera instancia aportan a la estructura capacidad de soportar fuerzas laterales mayores que cuando no se los implemente.

En la Figura 102, se puede observar las curvas de capacidad en la dirección (Y) del análisis, donde se puede visualizar el mismo comportamiento que en la curva de capacidad obtenida del análisis en la dirección (X). Es decir, en desplazamientos menores a 5 cm alcanzaron cortantes basales superiores a 45 Tonf.

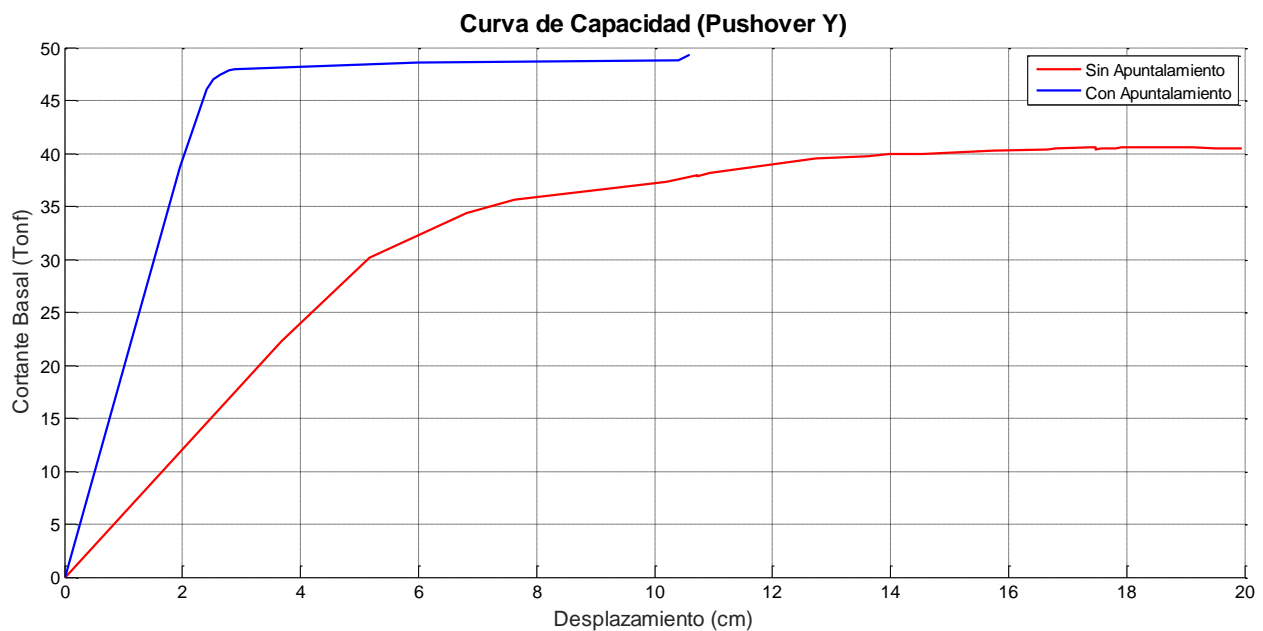


Figura 102. Curvas de Capacidad Cortante vs Desplazamiento (Dirección Y)

Así mismo se ha realizado la comparación de curvas de capacidad en las dos direcciones de análisis, basado en el rango de daño por generación de rótulas visualizadas en las figuras Figura 103 y Figura 104. La variación de las curvas anteriores

plasmadas en las figuras Figura 101 y Figura 102, radican en los colores que indican cada uno de los rangos de deterioro por fuerza y deformación.

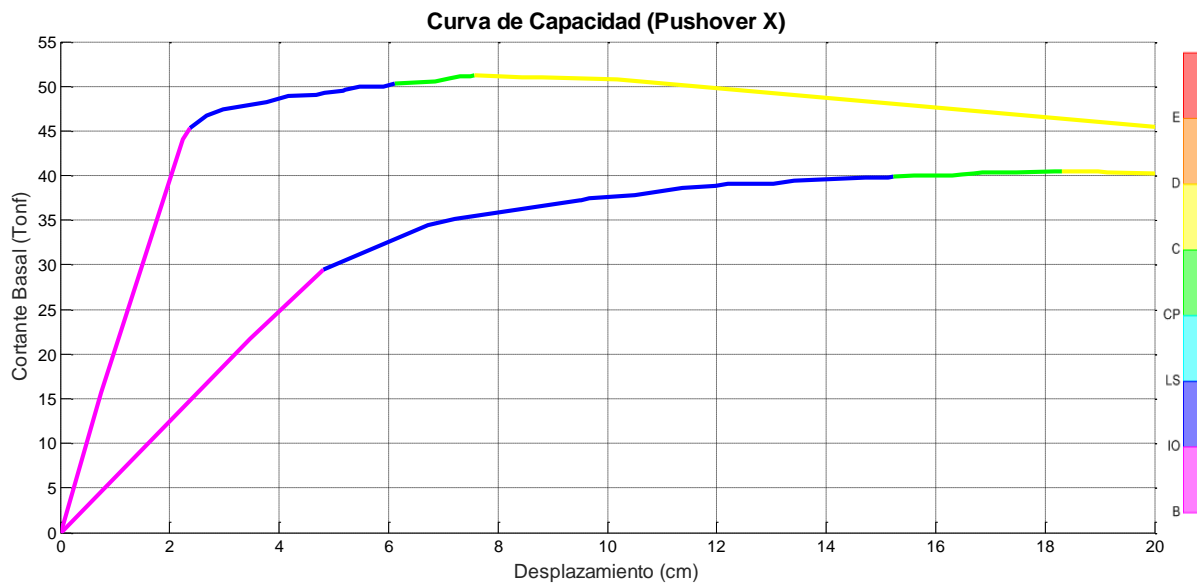


Figura 103. Curvas de Capacidad por Rango de Daños (Dirección X)

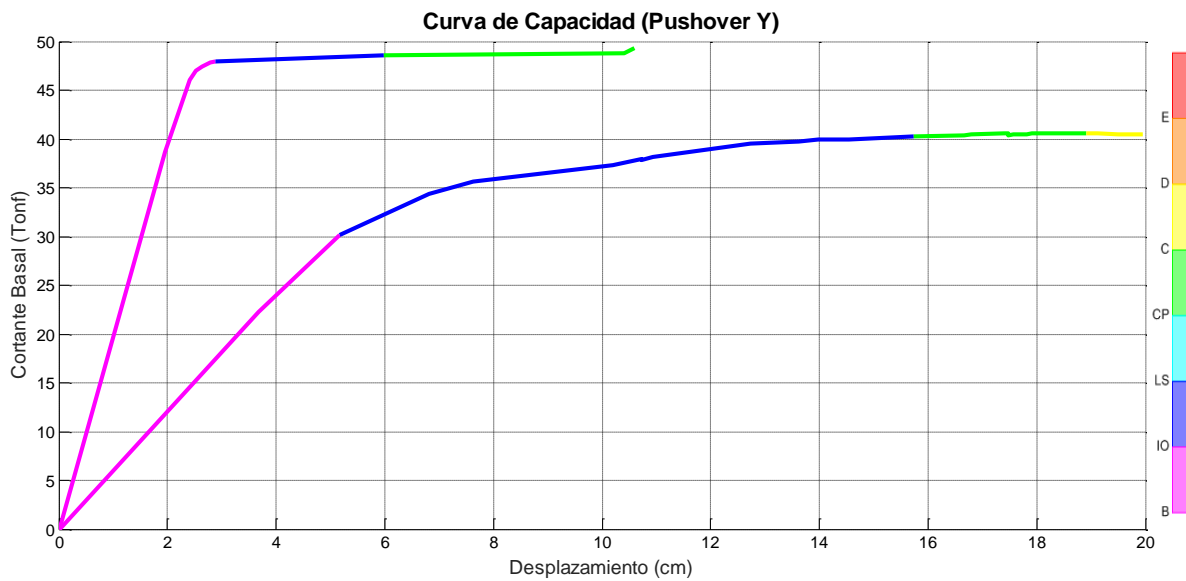


Figura 104. Curvas de Capacidad por Rango de Daños (Dirección Y)

Un parámetro de comparación entre las curvas de capacidad del modelamiento de la estructura con y sin apuntalamiento, es la relación que existe entre los cortantes alcanzados al llegar al límite del rango “seguridad de vida, *LS* por sus siglas en inglés” por cada dirección de análisis.

Es decir, que la relación entre el cortante basal (obtenido para el límite del rango mencionado) de la estructura con apuntalamiento, y el cortante basal (en iguales condiciones) de la estructura sin apuntalamiento; nos permite conocer el porcentaje de resistencia adicional que proveen los apuntalamientos seleccionados para soportar mayores cargas sísmicas. Esto repercute en que proporcionan a la estructura mayor estabilidad y de una u otra forma brindan seguridad si ésta se ve afectada por sismos o sus réplicas.

En la Tabla 38, se indican los desplazamientos y cortantes basales que alcanzaron los modelamientos de la estructura con y sin apuntalamiento, en el instante que llegan al límite del nivel de desempeño sísmico *LS*. Evidentemente, los apuntalamientos reducen los desplazamientos y permiten alcanzar cortantes basales más altos que cuando no se los emplea en la estructura; la relación que se muestra en esta tabla es el parámetro de comparación que se mencionó en el párrafo anterior.

Tabla 38

*Resultados de la comparación de los modelamientos al límite de *LS**

Análisis	Descripción	Desplazamiento (cm)	Cortante Basal (Tonf)	Relación de Cortantes (adim)
				CONTINÚA

Dirección X	Estructura sin Apuntalamiento	15.22	39.84	1.26
	Estructura con Apuntalamiento	6.11	50.36	
Dirección Y	Estructura sin Apuntalamiento	15.73	40.26	1.21
	Estructura con Apuntalamiento	5.98	48.54	

Según los resultados expuestos en la Tabla 38, en el análisis en la dirección (X) la estructura con apuntalamientos soporta un 26% más las cargas sísmicas actuantes en comparación a cuando ésta no dispone de ninguno de ellos. Por otro lado, en la dirección (Y) se puede notar que la estructura con apuntalamientos tiene una capacidad de soportar un 21% más las cargas sísmicas actuantes que cuando no dispone de estos.

Los desplazamientos en el análisis estático no lineal (Pushover) no son objeto de discusión, puesto que estos se tomaran en cuenta en el análisis de la respuesta que tiene la estructura con y sin apuntalamientos en función al tiempo.

5.9.2 Análisis de la respuesta en el tiempo

A partir del análisis del comportamiento de la estructura con y sin apuntalamientos a lo largo del tiempo, se ha escogido como parámetro de comparación la relación que existe entre los desplazamientos máximos obtenidos de cada uno de los modelamientos para cada sentido de análisis. Esto con la finalidad de comprobar que los apuntalamientos utilizados permiten reducir desplazamientos; la relación obtenida del resultado de este

análisis de historia en el tiempo tendrá el mismo objetivo que la relación mencionada en la sección 5.9.1. Es decir, nos permitirá conocer qué porcentaje aportan los apuntalamientos seleccionados en favor a la edificación para reducir desplazamientos cuando esta se vea afectada por la existencia de una actividad sísmica.

En las figuras Figura 105, Figura 106, Figura 107 y Figura 108, se observan las respuestas en el tiempo que tuvieron cada uno de los modelamientos de la estructura con y sin apuntalamiento en los respectivos sentidos de análisis.

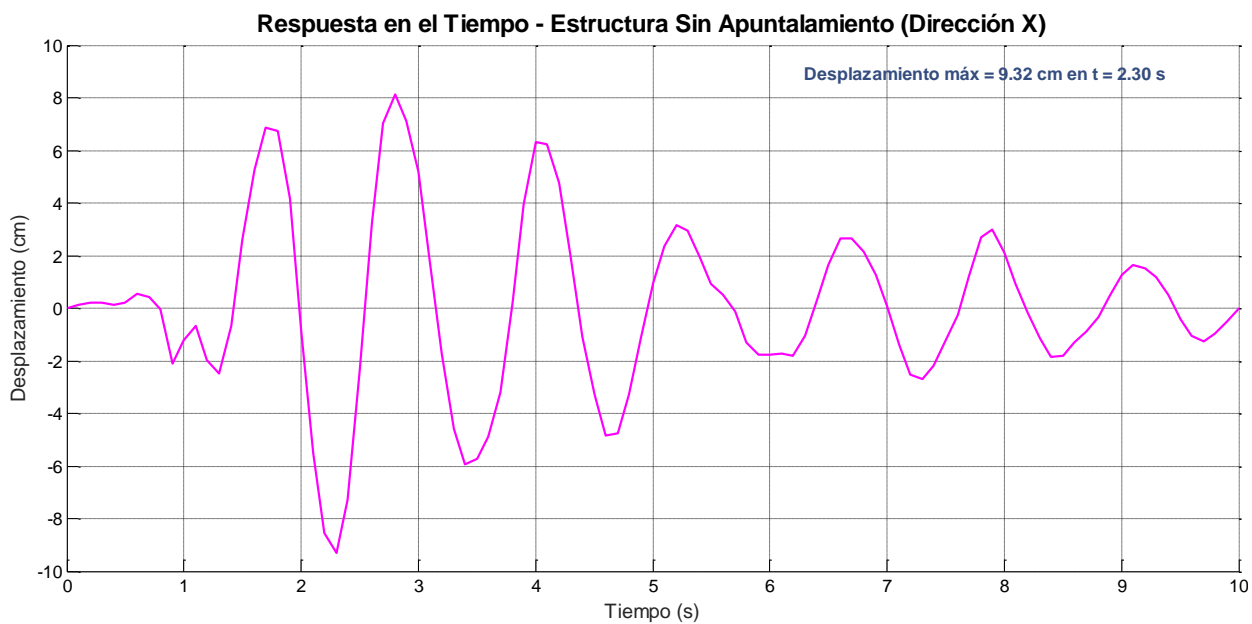


Figura 105. Respuesta en el tiempo de la estructura sin apuntalar (Dirección X)

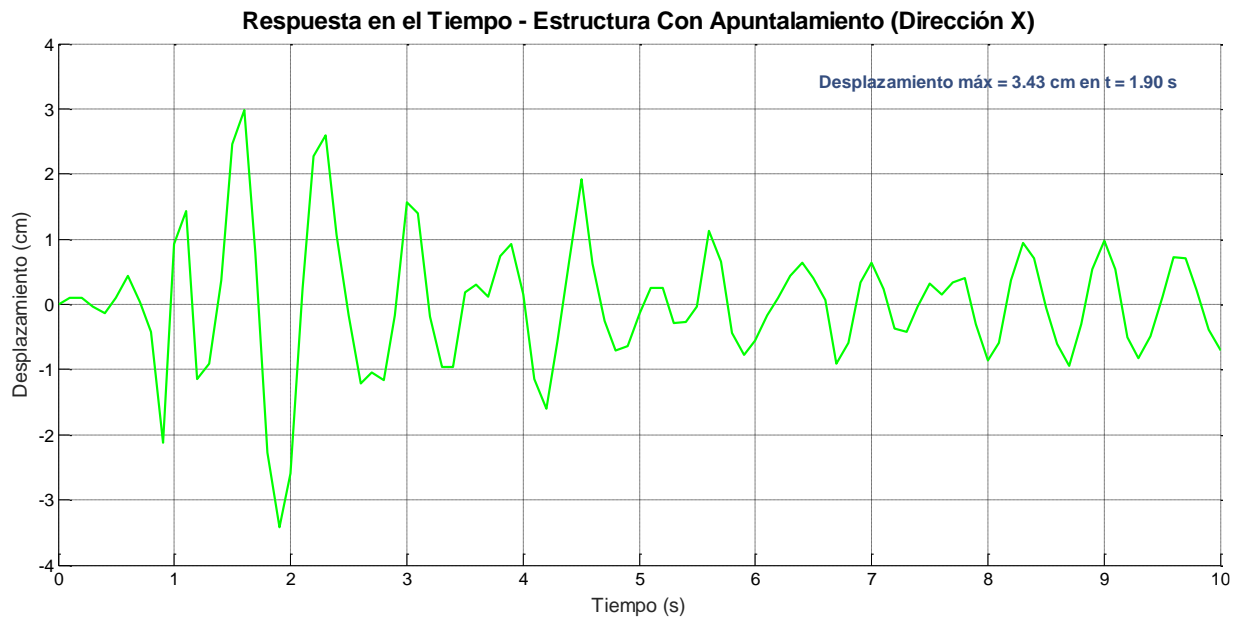


Figura 106. Respuesta en el tiempo de la estructura apuntalada (Dirección X)

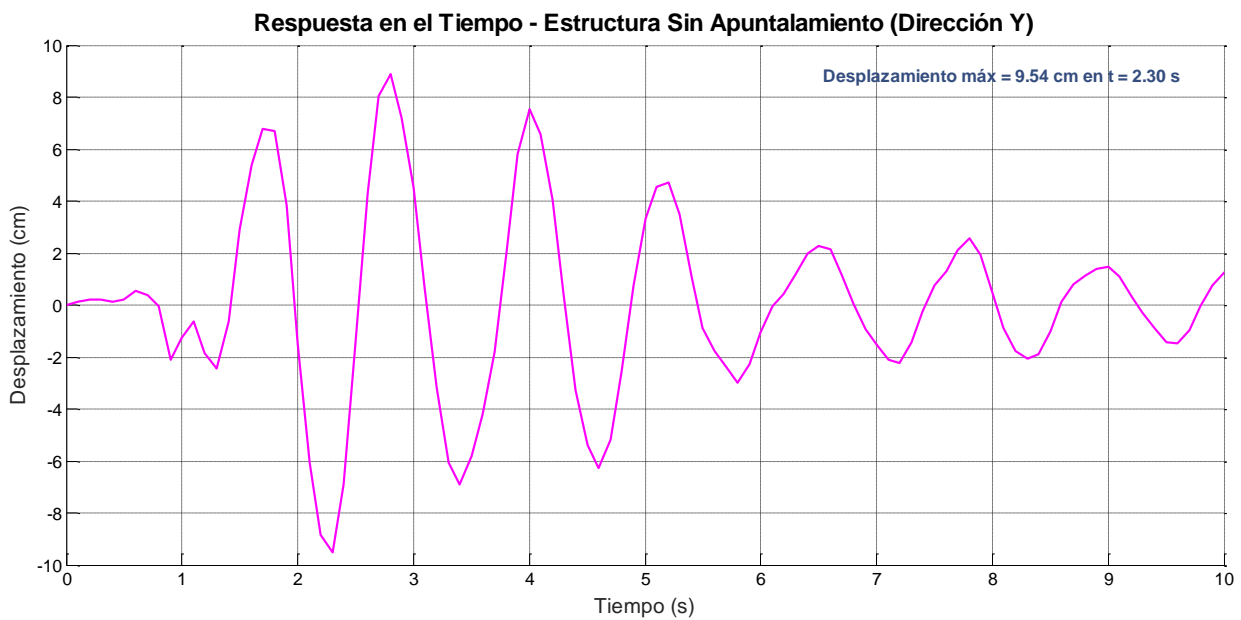


Figura 107. Respuesta en el tiempo de la estructura sin apuntalar (Dirección Y)

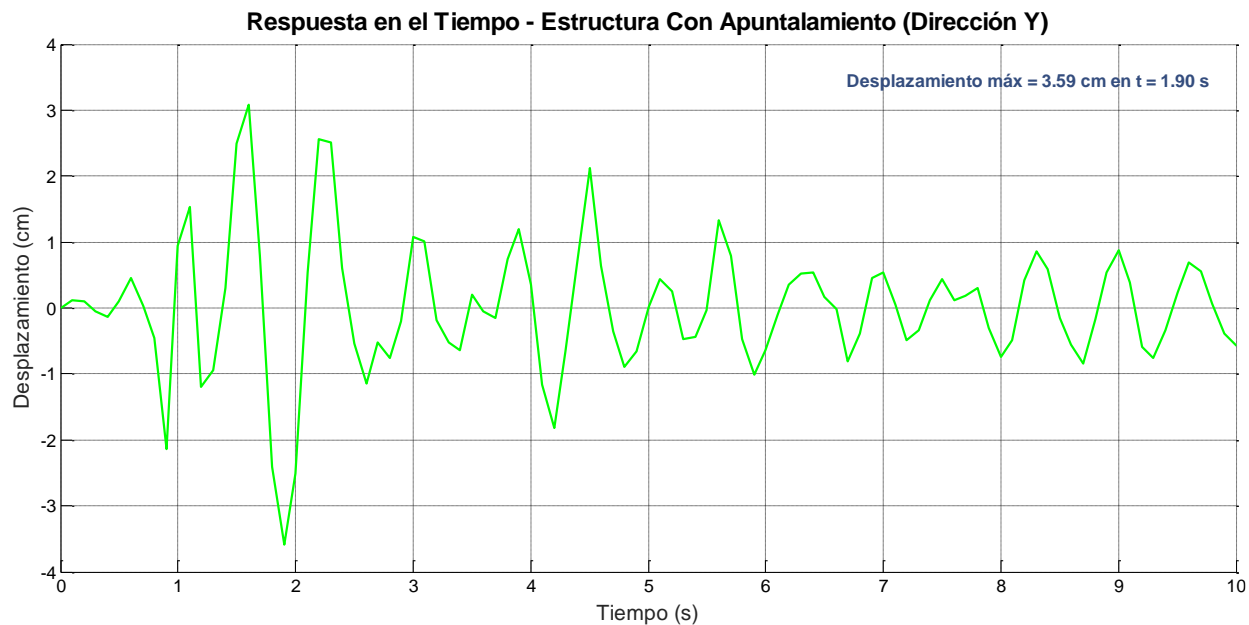


Figura 108. Respuesta en el tiempo de la estructura apuntalada (Dirección Y)

En la Tabla 39, se visualizan los desplazamientos máximos absolutos que alcanzaron los modelamientos de la estructura con y sin apuntalamiento a lo largo del tiempo. Es evidente notar que los apuntalamientos redujeron los desplazamientos cuando la estructura no dispone de ninguno de estos; la relación que se muestra en esta tabla es el parámetro de comparación que permite validar el funcionamiento de los apuntalamientos seleccionados de la GA-MD-HA.

Tabla 39

Resultados de la comparación de los modelamientos al límite de LS

Análisis	Descripción	Desplazamiento (cm)	Relación (adim)
Dirección X	Estructura sin Apuntalamiento	9.32	CONTINÚA

	Estructura con Apuntalamiento	3.43	0.37
Dirección Y	Estructura sin Apuntalamiento	9.54	0.38
	Estructura con Apuntalamiento	3.59	

Según la Tabla 39, los apuntalamientos implementados en la estructura permiten reducir un 37% los desplazamientos en la dirección (X), que cuando ésta no dispone de ninguno de ellos. Así mismo, se observa que el desplazamiento máximo obtenido en la dirección (Y) se reduce en un 38%, con la variación del 1% (de reducción) entre ambos sentidos de análisis.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La determinación de la carga admisible de cada apuntalamiento fue determinada primero a través del diseño por esfuerzos admisibles presentado por el Manual de Maderas del Grupo Andino y posteriormente se verificaron las deflexiones a través del modelamiento en software, garantizando el buen comportamiento de cada uno de estos sistemas de apuntalamiento.
- De todos los apuntalamientos propuestos, el que presenta una mayor capacidad de carga es el apuntalamiento vertical tipo caja, mismo que, con su sección rectangular o circular y con madera clase A alcanza a soportar 8,000 kg antes de fallar por corte y se propone su uso en todo caso de apuntalamiento de losas de hormigón armado.
- De todos los apuntalamientos propuestos, el apuntalamiento con menor capacidad de carga es el apuntalamiento inclinado a fricción que en el mejor de los casos (sección circular y madera clase A) soporta una carga admisible de 1,000 kg por lo cual se recomienda su uso solamente en situaciones donde el apuntalamiento deba realizarse de manera inmediata sin disponibilidad de retirar escombros, y

posteriormente debería ser intercambiado por un apuntalamiento tipo zapata mural que brinda mejores condiciones de estabilidad y soporte.

- Los resultados del análisis estático no lineal (Pushover) evidencian que el empleo de los apuntalamientos seleccionados de la guía propuesta en este estudio permiten soportar mayores cargas sísmicas (cortantes basales altos) cuando estas actúan en conjunto con la estructura a diferencia de cuando no se disponen de ninguno de ellos.
- Los apuntalamientos verticales en T y tipo caja utilizados en el caso específico del modelamiento de la estructura con apuntalamientos, permitieron alcanzar cortantes basal de 50.36 Tonf y 48.54 Tonf, correspondientes a un 26% y 21% superiores a los obtenidos del modelamiento de la estructura sin apuntalamientos, los valores señalados corresponden al análisis en la dirección (X) y (Y) respectivamente.
- Los resultados del análisis del comportamiento de la estructura a lo largo del tiempo (Times-History) comprueban que la utilización de los apuntalamientos seleccionados de la guía propuesta en este estudio permiten reducir desplazamientos que se susciten en la edificación cuando se ve afectada por un evento sísmico en comparación a cuando la estructura no dispone de ningún tipo de apuntalamiento.
- Para el caso específico del modelamiento de la estructura utilizando apuntalamientos verticales en T y tipo Caja, se pudo comprobar que estos reducen los desplazamientos máximos obtenidos del análisis en el tiempo de 9.32 cm y

9.52 cm a 3.43 cm y 3.59 cm proporcionados por los análisis en las direcciones (X) y (Y) respectivamente; la relación entre la variación de estos valores corresponden a una reducción del 37% y 38% respectivamente.

- Los sistemas de apuntalamiento descritos en esta investigación presentan resultados propios dependiendo de la sección y las dimensiones que fueron adoptadas y pueden ser utilizados siempre y cuando se respete las dimensiones establecidas; en caso de utilizarse secciones distintas a las propuestas en la guía anexa, los resultados aquí expuestos no garantizan la seguridad del apuntalamiento.

6.2 Recomendaciones

- Se propone continuar con esta investigación a través del análisis, modelamiento y aplicación de apuntalamientos metálicos con el fin de generar información adicional que permita aplicar distintos tipos de materiales en una situación de emergencia post-terremotos como se ha hecho en este trabajo con el uso de madera.
- Cada uno de los apuntalamientos analizados pueden ser ocupados en una u otra situación dependiendo del elemento estructural que se pretenda apuntalar y de las condiciones del sitio, por lo cual se debe prestar una detallada atención a estos factores de modo que la selección del apuntalamiento sea la óptima.

- En el caso de utilizar apuntalamientos con dimensiones mayores a las especificadas en este trabajo o secciones más pequeñas, debe aplicarse la metodología de diseño especificada en el Manual Pacto Andino y verificar que todas las piezas que formen parte del apuntalamiento presenten esfuerzos menores a los admisibles.
- Al momento de apuntalar una estructura se debe tener una especial atención respecto a si la edificación se encuentra estable y no presenta patologías que pongan en riesgo al equipo de trabajo, en caso de que una edificación sea muy riesgosa para ser apuntalada se recomienda establecer un perímetro de seguridad y evitar la intervención.
- En caso de recurrir a un modelamiento para validar algunos de los otros apuntalamientos propuestos por la guía objeto de este estudio, se recomienda seguir al pie de la letra los pasos y lineamientos que se especifican para la construcción y empleo de cada uno de ellos; con la finalidad de tomar en cuenta la disposición y ubicación de estos cuando se vaya a intervenir cada elemento estructural.
- Si se va a realizar el modelamiento de cualquier estructura que se vea afectada por un sismo se recomienda utilizar la metodología de validación de la guía propuesta en este estudio a fin de realizar un proceso minucioso para verificar el funcionamiento y aporte de cada apuntalamiento que pueda ser objeto de empleo; se debe tomar en cuenta los materiales, secciones, ubicación y condiciones reales de cada elemento estructural así como la edificación en conjunto.

- El modelamiento de la estructura de esta investigación resultó ser un caso particular de aplicación de la GA-MD-HA, puesto que se aplicaron apuntalamientos que superaron los 3 metros de altura; se recomienda que de existir condiciones similares a este caso de estudio, en cuanto a alturas de los apuntalamientos superiores a las especificadas en la guía, se verifiquen los esfuerzos y cargas admisibles de los sistemas de apuntalamientos que se utilizaran.
- Debido a que la estructura seleccionada para este caso particular de estudio, ya es una edificación existente y ya obtuvo una respuesta ante el sismo sometido durante el 16 de abril del 2016, no se recurrió a realizar los pasos preliminares que indica la GA-MD-HA como se especifica en el capítulo de Evaluación Inicial; sin embargo, se recomienda que se siga el respectivo orden y no se obvien ninguno de los lineamientos que se especifican en la guía para casos de emergencia post-terremotos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arroyo, A. L., & Berenguer, J. V. (1999). Metodología Simplificada para el Análisis del Riesgo Sísmico. *Física de La Tierra*, 11, 269–284.
- Barros, L. M. B., & Peñafiel, M. J. P. (2015). *Análisis comparativo económico – estructural entre un sistema aporticado, un sistema aporticado con muros estructurales y un sistema de paredes portantes, en un edificio de 10 pisos* (Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10314>
- CAMICON, & MIDUVI. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-MD - Estructuras de Madera*. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962013000200001>
- Carrillo, C. (2008). *Comparación de la respuesta sísmica incorporando y desacoplando la mampostería y técnicas de reforzamiento*. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE-.
- CNPCM, C. N. de P. C. de M. (2016a). *Evaluación de Seguridad Estructural de Edificios*.
- CNPCM, C. N. de P. C. de M. (2016b). *Seguridad Hospitalaria en México: Consideraciones en el Diseño Estructural*. Recuperado de http://www.cenapred.gob.mx/es/documentosWeb/Enaproc/EvaluacionEstructuras_.pdf
- COOPI, C. I. (2011). *Manual técnico para obras provisionales de apuntalamiento* (S. Pratali, S. Los Ríos, E. M. Bolovich, M. Zucchelli, T. Vicario, G. Tieni, ... (Architettura SenzaFrontiere/ONLUS), Eds.). Ministerio de Cultura del Perú.

Diaz, B. (2015). *Comportamiento sísmico de edificios aporticados de hormigón armado*. 131–184.

EERI. (2016). Registro Fotográfico. Recuperado de <http://learningfromearthquakes.org/2016-04-16-muisne-ecuador/photo-gallery>

Espinosa, P., Proaño, D., Barrera, L., Arpi, E., Morejón, J. F., Lazo, I., ... Anthony, C. (2018). *Catálogo de madera estructural en el Ecuador* (Universida). Cuenca: Universidad del Azuay.

GAD Portoviejo, G. A. D. M. del C. P. (2019). *Construcción Edificaciones Calle Francisco de P. Moreira*. Recuperado de <https://www.portoviejo.gob.ec/>

Gonzalez de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica* (PEARSON ED). Madrid.

Google. (2019). Mapa de Portoviejo, Ecuador en Google Maps - Ubicación Estructura de CR. Recuperado de <https://www.google.com/maps/place/1°03'12.6%22S+80°27'13.1%22W/@-1.053491,-80.4558327,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d-1.053491!4d-80.453644>

IG, I. G. del E. (2013). Hoy se recuerda el terremoto del Revetador de 1987. Recuperado de <https://www.igepn.edu.ec/cayambe/762-hoy-se-recuerda-el-terremoto-del-reventador-de->

INEC, I. E. de E. y C. (2017). *Reconstruyendo las cifras luego del sismo - Memorias* (Vol. 1). Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Memorias_13_abr_2017.pdf

ITTO, I. T. T. O. (2019). Tropical Timber - Lesser Used Species. Recuperado de <http://www.tropicaltimber.info/>

Lanning, F., Haro, A. G., Liu, M. K., Monzón, A., Monzón-Despang, H., Schultz, A., & Tola, A. (2016). *M7.8 Muisne, Ecuador Earthquake on M7.8 Muisne, Ecuador Earthquake on April 16, 2016*. Recuperado de <http://www.eqclearinghouse.org/2016-04-16-muisne/files/2016/11/EERI-Ecuador-2016-Recon-Report-Reduced.pdf>

Lara, L., Aguirre, H., & Gallegos, M. (2018). Estructuras Apoticadas de Hormigón Armado que Colapsaron en el Terremoto del 16 de Abril de 2016 en Tabuga – Ecuador. *Revista Politécnica*, 42(1), 37–46. <https://doi.org/10.33333/rp.v42i1.961>

MA-GAP, M. de A. G. P. y A. (2016). Ecuador Forestal. Recuperado de Programa de Incentivos para la reforestación con fines comerciales website: <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2016/08/FOLLETO-PIF-2016.pdf>

MIDUVI, M. de D. U. y V. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS Cargas sísmicas - Diseño sismorresistente. *Norma Ecuatoriana de La Construcción*, 91–112. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

MIDUVI, M. de D. U. y V., & CAMICON, C. de la I. de la C. (2015). Norma NEC-SE-CG Cargas (No Sísmicas). *Nec, Capítulo 1*, 1689–1699. Recuperado de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-CG.pdf>

Morea, M. (2013). La erótica de la arquitectura forense. Recuperado de <https://blogs.20minutos.es/arquitectacion/2013/08/07/la-erotica-de-la-arquitectura->

forense/

Murillo, C. G. (2004). *Análisis de las causas que dieron origen a los daños estructurales, en las edificaciones del Estado de Puebla, provocados por el sismo del 15 de junio de 1999* (Universidad de las Américas Puebla). Recuperado de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/murillo_j_cg/

Navarro, C. P. (2009). *Diseño alternativo de un edificio sismo resistente de ocho pisos que sea el más adecuado y económico para los pobladores de la ciudad de Ambato* (Universidad Técnica de Ambato). Recuperado de http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23065/1/Tesis_t1117ec.pdf

PADT-REFORT, P. andinos de desarrollo tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales. (1984). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino* (J. del A. de C. JUNAC, Ed.). Lima: Junta del Acuerdo de Cartagena.

Quinde, P. M., & Reinoso, E. A. (2016). Estudio De Peligro Sísmico De Ecuador Y Propuesta De Espectros De Diseño Para La Ciudad De Cuenca. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 26(94), 1. <https://doi.org/10.18867/ris.94.274>

Sambrano, M. (2015). Flexión en Vigas. Recuperado de <https://es.slideshare.net/mikelitox/flexin-en-vigas>

San Bartolomé, A. (2010). El problema del piso blando. *Boletín Construcción Integral Corporación Aceros Arequipa SA, Ed, 10*.

San Bartolomé, Á., Quiun, D., & Silva, W. (2011). Comentarios relativos al tipo de falla en los muros de concreto de edificios chilenos en el sismo del 27 de febrero del 2010.

Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo, 3(1), 36–48.

Sánchez, J. (2015). Prueba de Carga de Apuntalamiento Tipo Torre. Recuperado de <https://rescateurbanousar.wordpress.com/2015/09/18/prueba-de-carga-de-apuntalamiento-tipo-torre/>

Sánchez, J. J. F. (2015). *Técnicas de búsqueda y rescate en estructuras colapsadas*. Recuperado de <https://www.paraninfo.es/catalogo/9788428337151/tecnicas-de-busqueda-y-rescate-en-estructuras-colapsadas>

Serrano, R. L. (2001). Comportamiento Estructural en Obra Civil. Recuperado de https://www.academia.edu/14809338/Capítulo_IV_descripción_de_fallas_más_comunes_en_estructuras

UCR, U. de C. R. (2012). Daños en edificios públicos. Terremoto Sámara 05 de septiembre, 2012. Recuperado de <http://www.lis.ucr.ac.cr/734>

US&R, G. de B. y R. U. (2013). *Guía De Operaciones De Apuntalamiento - GOA -*. Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU.

Villarreal, G. C. (2009). *Análisis Estructural* (A. N. de Rectores, Ed.). Recuperado de <https://sistemasnava.wordpress.com/2014/09/03/analisis-estructurado/>

Yépez, F., Barbat, A. H., & Canas, J. A. (1995). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería* (p. 105). p. 105. Barcelona: Editor A.D. Barbat.