

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

Comparación mediante el método de capacidad espectral de las curvas de capacidad estructural para edificios equivalentes de muros con losas planas (sin vigas) y edificios con muros y vigas (sistema de muros y duales)

Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Mariela Cuevillas Mora

Director del Proyecto de Graduación:

Ing. Carlos Fernández Chaves, M.Sc.

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Hoja de Aprobación



Ing. Carlos Fernández Chaves, MSc.
Director



Mariela Cuevillas Mora
Estudiante



Ing. José Manuel Camacho Castro, MSc.
Asesor



Ing. Alejandro Navas Carro, MSc.
Asesor

Derechos de Propiedad Intelectual

Fecha: 7 de mayo del 2020

La suscrita, **Mariela Cuevillas Mora**, cédula 1-1603-0771, estudiante de la carrera de Licenciatura de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B42207**, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación "**Comparación mediante el método de capacidad espectral de las curvas de capacidad estructural para edificios equivalentes de muros con losas planas (sin vigas) y edificios con muros y vigas (sistema de muros y duales)**", bajo la Dirección del **Ing. Carlos Fernández Chaves, M.SC.**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N°6683, Artículo 7 (versión actualizada el 2 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Dedicatorias

A mi mamá, a mi papá y a mi hermana: esto es para ustedes. Gracias infinitas.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial al director de este proyecto, Ing. Carlos Fernández Chaves, M.Sc., por guiarme durante todo el proceso y creer en mi capacidad para desarrollar el trabajo. Muchas gracias por compartir su conocimiento conmigo y por apoyarme y motivarme a explorar el área de ingeniería estructural.

A los asesores, Ing. José Manuel Camacho Castro, M.Sc., e Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc., gracias por su seguimiento y apoyo durante el trabajo.

A los ingenieros Juan Pablo González y Adrián Sevilla por su ayuda durante el proceso de modelaje y su amable disposición en todo momento.

A mis papas y mi hermana, quienes creyeron en mí y fueron apoyo incondicional durante todos estos años de carrera. Gracias por ser mi guía y las personas que más admiro.

A mis amigos universitarios les agradezco por todos los recuerdos que creamos durante estos años, las largas noches de estudio y la amistad que quedará para siempre.

A Ale, por ser la mejor compañía en estos meses de trabajo y motivarme a ser mejor cada día.

Tabla de contenidos

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Tema	1
1.2 Justificación	1
1.2.1 El problema específico	1
1.2.2 Importancia	2
1.2.3 Antecedentes teóricos y práctico del problema.....	2
1.3 Objetivo	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Delimitación del problema	5
1.4.1 Alcance	5
1.4.2 Limitaciones.....	6
1.5 Descripción de la metodología utilizada	7
Capítulo 2: Desempeño histórico de losas planas	10
Capítulo 3: Descripción de sistemas estructurales	14
3.1 Conceptos relevantes.....	14
3.1.1 Ductilidad	14
3.1.2 Estructuras sismorresistentes	15
3.1.3 Sobrerresistencia.....	16
3.1.4 Curvas de capacidad estructural	17
3.1.5 Diagramas momento-curvatura	18
3.2 Edificios del sistema estructural tipo muro con losas planas	21
3.3 Edificios del sistema estructural tipo muro	23
3.4 Edificios del sistema estructural tipo dual	24
Capítulo 4: Principios de diseño de losas planas	25

4.1 Aspectos generales	25
4.2 Sistema losa-columna	25
4.2.1 Clasificación de conexiones.....	26
4.2.2 Principios de diseño de conexiones que transfieren cortante.....	29
4.2.3 Principios de diseño de conexiones que transfieren cortante y momento	30
4.3 Refuerzo por cortante	31
4.4 Relación entre resistencia del concreto y deriva lateral.....	33
4.5 Rigidez lateral	37
4.6 Ductilidad, distorsiones y sobrerresistencia	37
Capítulo 5: Metodologías de análisis y desplazamientos límite.....	39
5.1 Aspectos generales	39
5.2 Consideraciones y límites de desplazamientos y derivas	39
5.3 Método estático.....	41
5.4 Método dinámico	43
5.5 Método de capacidad espectral	43
5.5.1 Criterios de aceptabilidad de desempeño	51
Capítulo 6: Descripción de los modelos, distribución y dimensiones.....	54
Capítulo 7: Diseño de los elementos.....	59
7.1 Aspectos generales.....	59
7.2 Modelo del sistema estructural tipo muro con losas planas	60
7.3 Modelo del sistema estructural tipo muro convencional	62
7.4 Modelo del sistema estructural tipo dual convencional	64
Capítulo 8: Resultados de los modelos tipo muro con losas planas.....	68
8.1 Análisis pseudo dinámico.....	68
8.1.1 Período.....	68
8.1.2 Derivas inelásticas	71

8.1.3 Cortantes basales.....	73
8.2 Análisis de capacidad espectral.....	75
8.2.1 Período.....	75
8.2.2 Derivas inelásticas.....	76
8.2.3 Curva de capacidad estructural y ductilidad en el punto de desempeño.....	83
8.2.4 Cortantes basales.....	91
8.2.5 Sobrerresistencia.....	95
Capítulo 9: Resultados de los modelos del sistema estructural tipo muro convencional.....	103
9.1 Análisis pseudo dinámico.....	103
9.1.1 Período.....	103
9.1.2 Derivas inelásticas.....	105
9.1.3 Cortantes basales.....	107
9.2 Análisis de capacidad espectral.....	108
9.2.1 Período.....	108
9.2.2 Derivas inelásticas.....	110
9.2.3 Curva de capacidad estructural y ductilidad en punto de desempeño.....	116
9.2.4 Cortantes basales.....	122
9.2.5 Sobrerresistencia.....	125
Capítulo 10: Resultados de los modelos del sistema estructural tipo dual convencional.....	132
10.1 Análisis pseudo dinámico.....	132
10.1.1 Período.....	132
10.1.2 Derivas inelásticas.....	132
10.1.3 Cortantes basales.....	132
10.2 Análisis de capacidad espectral.....	132
10.2.1 Período.....	132
10.2.2 Derivas inelásticas.....	133

10.2.3 Curva de capacidad estructural y ductilidad en punto de desempeño.....	139
10.2.4 Cortantes basales	146
10.2.5 Sobrerresistencia	149
Capítulo 11: Comparación de resultados entre sistemas estructurales	156
11.1 Período	156
11.2 Derivas inelásticas	156
11.3 Ductilidades en el punto de desempeño	160
11.4 Cortantes basales en el punto de desempeño.....	162
11.5 Sobrerresistencia en el punto de desempeño.....	164
Capítulo 12: Conclusiones y recomendaciones.....	166
Fuentes de consulta.....	171
Apéndice A: Cálculos para modelos con losas planas	175
A.1 Propiedades obtenidas de Xtract.....	175
A.2 Cálculo de derivas inelásticas.....	178
A.2.1 Análisis pseudo dinámico	178
A.2.2 Análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño	183
A.2.3 Análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso.....	187
A.3 Cálculo del punto de desempeño	192
Apéndice B: Cálculos para modelos del sistema tipo muro convencional	202
B.1 Propiedades obtenidas de Xtract.....	202
B.2 Cálculo de derivas inelásticas.....	206
B.2.1 Análisis pseudo dinámico	206
B.2.2 Análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño	210
B.2.3 Análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso.....	215
B.3 Cálculo del punto de desempeño	220
Apéndice C: Cálculos para modelos tipo dual convencional.....	231

C.1 Propiedades obtenidas de Xtract.....	231
C.2 Cálculo de derivas inelásticas	235
C.2.1 Análisis pseudo dinámico	235
C.2.2 Análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño.....	239
C.2.2 Análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso	244
C.3 Cálculo del punto de desempeño	249

Tabla de figuras

Figura 1. Sistemas mixtos con losas planas.....	6
Figura 2. Diagrama de la metodología propuesta para la tesis de graduación.....	9
Figura 3. Falla de columna y falle en unión losa-columna en el terremoto de México, 2017 ..	11
Figura 4. Fuerzas actuantes en edificios y tipos de losas planas.....	12
Figura 5. Losas de transferencia en el terremoto de Chile 2010	13
Figura 6. Modelo elastoplástico con un solo grado de libertad empleado para definir la energía de absorción, de disipación y la ductilidad	15
Figura 7. Curva de capacidad	17
Figura 8. Deformación de un miembro a flexión	18
Figura 9. Relaciones momento-curvatura para secciones de viga simplemente reforzadas. a) Sección que falla a tensión b) Sección que falla a compresión	19
Figura 10. Curva idealizada momento-curvatura para una sección simplemente reforzada que falla a tensión	20
Figura 11. Tipos de losas armadas en dos sentidos	23
Figura 12. Configuraciones típicas de uniones losa-columna	25
Figura 13. Ejemplos de secciones críticas de cortante	27
Figura 14. Tipos de refuerzo por cortante	31
Figura 15. Razón de derivas en función del cortante de gravedad.....	33
Figura 16. a) Experimento para conexiones losa-columna interiores de concreto reforzado sin refuerzo de cortante b) Experimento para conexiones losa-columna interiores de concreto reforzado con refuerzo de cortante	35
Figura 17. Comparación de los límites del ACI 318-08 de los resultados de las conexiones losa-columna para losas de concreto reforzado	36
Figura 18. Comparación de los resultados de las conexiones losa-columna para losas de concreto y postensadas.....	36
Figura 19. Diagrama del método de capacidad espectral.....	45
Figura 20. Curva de capacidad de la estructura. Estimación del punto de cedencia.....	46
Figura 21. Procedimiento para trazar bilineal según ASCE41-17	47
Figura 22. Determinación gráfica del punto de desempeño para zona III, sitio tipo S2.....	50
Figura 23. Niveles de desempeño de una estructura	52
Figura 24. Distribución en planta de edificios del sistema con losas planas	55

Figura 25. Modelo tridimensional del sistema de muros con LP8.....	55
Figura 26. Distribución en planta de edificios del sistema de muros y dual	56
Figura 27. Modelo tridimensional de M8 y D8.....	57
Figura 28. Aproximación del período de oscilación con los resultados del diseño de la ingeniera Carolina Bogantes	69
Figura 29. Gráfica del período en función del número de niveles obtenidos mediante el análisis pseudo dinámico para los modelos del sistema de muros con LP	70
Figura 30. Deriva inelástica obtenida mediante el análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema de muros con LP dirección X	72
Figura 31. Deriva inelástica obtenida mediante el análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema de muros con LP dirección Y	72
Figura 32. Gráfica de las fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema de muros con LP	73
Figura 33. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis pseudo dinámico LP4 dirección X	74
Figura 34. Gráfica del período en función del número de niveles obtenido del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema de muros con LP	76
Figura 35. Deriva inelástica LP4X.....	78
Figura 36. Deriva inelástica LP4Y	78
Figura 37. Deriva inelástica LP6X	79
Figura 38. Deriva inelástica LP6Y	79
Figura 39. Deriva inelástica LP8X	80
Figura 40. Deriva inelástica LP8Y	80
Figura 41. Deriva inelástica LP10X	81
Figura 42. Deriva inelástica LP10Y	81
Figura 43. Deriva inelástica LP12X	82
Figura 44. Deriva inelástica LP12Y	82
Figura 45. Determinación del punto de desempeño según el ATC-40	84
Figura 46. Punto de desempeño LP4X	84
Figura 47. Punto de desempeño LP4Y	85
Figura 48. Punto de desempeño LP6X	85
Figura 49. Punto de desempeño LP6Y	86
Figura 50. Punto de desempeño LP8X	86

Figura 51. Punto de desempeño LP8Y	87
Figura 52. Punto de desempeño LP10X	87
Figura 53. Punto de desempeño LP10Y	88
Figura 54. Punto de desempeño LP12X	88
Figura 55. Punto de desempeño LP12Y	89
Figura 56. Ductilidad en el punto de desempeño obtenido del método de capacidad espectral para los modelos del sistema de muros con LP.....	90
Figura 57. Aproximación polinomial de grado 4 de la curva de capacidad del sistema de muros con LP4X	92
Figura 58. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP4X	94
Figura 59. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP4X.....	94
Figura 60. Gráfica de las fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema de muros con LP.....	95
Figura 61. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP4X.....	96
Figura 62. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP4Y.....	96
Figura 63. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP6X.....	97
Figura 64. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP6Y.....	97
Figura 65. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP8X.....	98
Figura 66. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP8Y.....	98
Figura 67. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP10X	99
Figura 68. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP10Y	99
Figura 69. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP12X	100
Figura 70. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP12Y	100
Figura 71. Sobrerresistencia en el punto de desempeño según el número de niveles para los modelos del sistema de muros con LP	102
Figura 72. Gráfica del período en función del número de niveles obtenidos mediante el análisis pseudo dinámico para los modelos del sistema con muros y dual	104
Figura 73. Deriva inelástica obtenida mediante el análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema tipo muro y dual dirección X.....	106
Figura 74. Deriva inelástica obtenida mediante el análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema tipo muro y dual dirección Y.....	106

Figura 75. Gráfica de las fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema tipo muro y dual	107
Figura 76. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis pseudo dinámico M4X	108
Figura 77. Gráfica del período en función del número de niveles obtenido del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema tipo muro	109
Figura 78. Deriva inelástica M4X	111
Figura 79. Deriva inelástica M4Y	111
Figura 80. Deriva inelástica M6X	112
Figura 81. Deriva inelástica M6Y	112
Figura 82. Deriva inelástica M8X	113
Figura 83. Deriva inelástica M8Y	113
Figura 84. Deriva inelástica M10X	114
Figura 85. Deriva inelástica M10Y	114
Figura 86. Deriva inelástica M12X	115
Figura 87. Deriva inelástica M12Y	115
Figura 88. Punto de desempeño M4X	116
Figura 89. Punto de desempeño M4Y	117
Figura 90. Punto de desempeño M6X	117
Figura 91. Punto de desempeño M6Y	118
Figura 92. Punto de desempeño M8X	118
Figura 93. Punto de desempeño M8Y	119
Figura 94. Punto de desempeño M10X	119
Figura 95. Punto de desempeño M10Y	120
Figura 96. Punto de desempeño M12X	120
Figura 97. Punto de desempeño M12Y	121
Figura 98. Ductilidad en el punto de desempeño obtenido del método de capacidad espectral para los modelos del sistema tipo muro	122
Figura 99. Aproximación polinomial de grado 4 de la curva de capacidad de M4X	123
Figura 100. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M4X	124
Figura 101. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M4X	124

Figura 102. Gráfica de las fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema tipo muro.....	125
Figura 103. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M4X.....	126
Figura 104. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M4Y.....	126
Figura 105. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M6X.....	127
Figura 106. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M6Y.....	127
Figura 107. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M8X.....	128
Figura 108. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M8Y.....	128
Figura 109. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M10X.....	129
Figura 110. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M10Y.....	129
Figura 111. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M12X.....	130
Figura 112. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M12Y.....	130
Figura 113. Sobrerresistencia en el punto de desempeño según el número de niveles para los modelos del sistema tipo muro.....	131
Figura 114. Gráfica del período en función del número de niveles obtenido del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema estructural tipo dual.....	133
Figura 115. Deriva inelástica D4X.....	134
Figura 116. Deriva inelástica D4Y.....	135
Figura 117. Deriva inelástica D6X.....	135
Figura 118. Deriva inelástica D6Y.....	136
Figura 119. Deriva inelástica D8X.....	136
Figura 120. Deriva inelástica D8Y.....	137
Figura 121. Deriva inelástica D10X.....	137
Figura 122. Deriva inelástica D10Y.....	138
Figura 123. Deriva inelástica D12X.....	138
Figura 124. Deriva inelástica D12Y.....	139
Figura 125. Punto de desempeño D4X.....	140
Figura 126. Punto de desempeño D4Y.....	140
Figura 127. Punto de desempeño D6X.....	141
Figura 128. Punto de desempeño D6Y.....	141
Figura 129. Punto de desempeño D8X.....	142
Figura 130. Punto de desempeño D8Y.....	142
Figura 131. Punto de desempeño D10X.....	143

Figura 132. Punto de desempeño D10Y.....	143
Figura 133. Punto de desempeño D12X.....	144
Figura 134. Punto de desempeño D12Y.....	144
Figura 135. Ductilidad en el punto de desempeño obtenido del método de capacidad espectral para los modelos del sistema estructural tipo dual	146
Figura 136. Aproximación polinomial de grado 4 de la curva de capacidad de D4X.....	147
Figura 137. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D4X	148
Figura 138. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D4X.....	148
Figura 139. Gráfica de las fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema estructural tipo dual	149
Figura 140. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D4X	150
Figura 141. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D4Y	150
Figura 142. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D6X	151
Figura 143. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D6Y	151
Figura 144. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D8X	152
Figura 145. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D8Y	152
Figura 146. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D10X	153
Figura 147. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D10Y	153
Figura 148. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D12X	154
Figura 149. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D12Y	154
Figura 150. Sobrerresistencia en el punto de desempeño según el número de niveles para los modelos del sistema estructural tipo dual.....	155
Figura 151. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis pseudo dinámico en la dirección X para a) losas planas b) muros c) dual.....	157
Figura 152. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis pseudo dinámico en la dirección Y para a) losas planas b) muros c) dual.....	158
Figura 153. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño en la dirección X para a) losas planas b) muros c) dual	159

Figura 154. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño en la dirección Y para a) losas planas b) muros c) dual.....	159
Figura 155. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso en la dirección X para a) losas planas b) muros c) dual.....	160
Figura 156. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso en la dirección Y para a) losas planas b) muros c) dual.....	160
Figura 157. Comparación de las ductilidades en el punto de desempeño en la dirección X para los diferentes sistemas.....	161
Figura 158. Comparación de las ductilidades en el punto de desempeño en la dirección Y para los diferentes sistemas.....	162
Figura 159. Comparación del cortante basal en el punto de desempeño en la dirección X para los diferentes sistemas.....	163
Figura 160. Comparación del cortante basal en el punto de desempeño en la dirección Y para los diferentes sistemas.....	163
Figura 161. Comparación de la sobrerresistencia en el punto de desempeño en la dirección X para los diferentes sistemas	165
Figura 162. Comparación de la sobrerresistencia en el punto de desempeño en la dirección Y para los diferentes sistemas	165
Figura 163. Salidas del programa Xtract para CLP10-1	175
Figura 164. Salidas del programa Xtract para MLP10X	176

Tabla de cuadros

Cuadro 1. Factor de modificación para cortante resistido por el concreto	29
Cuadro 2. Factor de desplazamiento inelástico, α	40
Cuadro 3. Límite superior de la razón de deriva inelástica, $\Delta i/H_i$, según categoría de edificación y sistema estructural	41
Cuadro 4. Propiedades de los modelos	57
Cuadro 5. Secciones transversales y espesores de elementos.....	58
Cuadro 6. Dimensiones de muros perimetrales	58
Cuadro 7. Cargas asignadas al modelo	59
Cuadro 8. Parámetros de ingreso en SAP2000	59
Cuadro 9. Demandas últimas y diseño de columnas en modelos del sistema de muros con LP	61
Cuadro 10. Demandas últimas y diseño de muros en modelos del sistema de muros con LP	62
Cuadro 11. Demandas últimas y diseño de columnas en modelos del sistema tipo muro.....	63
Cuadro 12. Demandas últimas y diseño de muros en modelos del sistema tipo muro	64
Cuadro 13. Demandas últimas y diseño de vigas en modelos del sistema tipo muro.....	64
Cuadro 14. Demandas últimas y diseño de columnas en modelos del sistema estructural tipo dual	65
Cuadro 15. Demandas últimas y diseño de muros en modelos del sistema estructural tipo dual	66
Cuadro 16. Demandas últimas y diseño de vigas en modelos del sistema estructural tipo dual	66
Cuadro 17. Revisión de 25% cortante en columnas para sistema estructural tipo dual	67
Cuadro 18. Períodos obtenidos del análisis pseudo dinámico para los modelos del sistema de muros con LP.....	68
Cuadro 19. Comparación de períodos obtenidos mediante el análisis pseudo dinámico para LP	70
Cuadro 20. Fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema de muros con LP.....	73
Cuadro 21. Períodos obtenidos del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema de muros con LP	75

Cuadro 22. Resumen de ductilidades en el punto de desempeño para los modelos del sistema de muros con LP	90
Cuadro 23. Resumen de ductilidades obtenidas por Carolina Bogantes (2019) para los modelos del sistema de muros con LP	91
Cuadro 24. Fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema de muros con LP	93
Cuadro 25. Resumen de sobrerresistencias obtenidas mediante el método de capacidad espectral para los modelos del sistema de muros con LP.....	101
Cuadro 26. Períodos de acuerdo con el análisis pseudo dinámico de los modelos del sistema tipo muro y dual.....	103
Cuadro 27. Comparación de períodos obtenidos mediante el análisis pseudo dinámico	104
Cuadro 28. Fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema tipo muro y dual	107
Cuadro 29. Períodos obtenidos del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema tipo muro.....	109
Cuadro 30. Resumen de ductilidades en el punto de desempeño para los modelos del sistema tipo muro.....	122
Cuadro 31. Fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema tipo muro.....	123
Cuadro 32. Resumen de sobrerresistencias obtenidas mediante el método de capacidad espectral para los modelos del sistema tipo muro.....	131
Cuadro 33. Períodos obtenidos del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema estructural tipo dual.....	132
Cuadro 34. Resumen de ductilidades en el punto de desempeño para los modelos del sistema estructural tipo dual.....	145
Cuadro 35. Fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema estructural tipo dual	147
Cuadro 36. Resumen de sobrerresistencias obtenidas mediante el método de capacidad espectral para los modelos del sistema estructural tipo dual.....	155
Cuadro 37. Comparación de períodos entre sistemas utilizando ambos análisis	156
Cuadro 41. Comparación de la ductilidad en el punto de desempeño para los diferentes sistemas	160

Cuadro 42. Comparación de los cortantes basales en el punto de desempeño para los diferentes sistemas.....	162
Cuadro 43. Comparación de sobrerresistencias en el punto de desempeño para los diferentes sistemas.....	164
Cuadro 44. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para columnas del modelo del sistema de muros con LP extraídas de Xtract.....	177
Cuadro 45. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para muros del modelo del sistema de muros con LP extraídas de Xtract.....	178
Cuadro 46. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP4X.....	178
Cuadro 47. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP4Y.....	179
Cuadro 48. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP6X.....	179
Cuadro 49. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP6Y.....	179
Cuadro 50. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP8X.....	180
Cuadro 51. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP8Y.....	180
Cuadro 52. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP10X....	181
Cuadro 53. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP10Y....	181
Cuadro 54. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP12X....	182
Cuadro 55. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP12Y....	182
Cuadro 56. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP4X.....	183
Cuadro 57. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP4Y.....	183
Cuadro 58. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP6X.....	183
Cuadro 59. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP6Y.....	184
Cuadro 60. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP8X.....	184
Cuadro 61. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP8Y.....	185
Cuadro 62. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP10X.....	185

Cuadro 63. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP10Y	186
Cuadro 64. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP12X	186
Cuadro 65. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP12Y	187
Cuadro 66. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP4X	187
Cuadro 67. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP4Y	188
Cuadro 68. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP6X	188
Cuadro 69. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP6Y	188
Cuadro 70. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP8X	189
Cuadro 71. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP8Y	189
Cuadro 72. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP10X.....	190
Cuadro 73. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP10Y.....	190
Cuadro 74. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP12X.....	191
Cuadro 75. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP12Y.....	192
Cuadro 76. Cálculo de constantes para punto de desempeño LP	192
Cuadro 77. Cálculo del punto de desempeño LP4X	193
Cuadro 78. Cálculo del punto de desempeño LP4Y	193
Cuadro 79. Cálculo del punto de desempeño LP6X	194
Cuadro 80. Cálculo del punto de desempeño LP6Y	194
Cuadro 81. Cálculo del punto de desempeño LP8X	195
Cuadro 82. Cálculo del punto de desempeño LP8Y	196

Cuadro 83. Cálculo del punto de desempeño LP10X	197
Cuadro 84. Cálculo del punto de desempeño LP10Y	198
Cuadro 85. Cálculo del punto de desempeño LP12X	199
Cuadro 86. Cálculo del punto de desempeño LP12Y	200
Cuadro 87. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para columnas del modelo del sistema tipo muro extraídas de Xtract.....	202
Cuadro 88. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para muros del modelo del sistema tipo muro extraídas de Xtract.....	202
Cuadro 89. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para vigas del modelo del sistema tipo muro extraídas de Xtract	203
Cuadro 90. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M4X.....	206
Cuadro 91. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M4Y.....	206
Cuadro 92. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M6X.....	206
Cuadro 93. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M6Y.....	207
Cuadro 94. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M8X.....	207
Cuadro 95. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M8Y.....	208
Cuadro 96. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M10X.....	208
Cuadro 97. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M10Y.....	209
Cuadro 98. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M12X.....	209
Cuadro 99. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M12Y.....	210
Cuadro 100. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M4X	210
Cuadro 101. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M4Y	211
Cuadro 102. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M6X	211
Cuadro 103. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M6Y	211
Cuadro 104. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M8X	212
Cuadro 105. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M8Y	212

Cuadro 106. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M10X.....	213
Cuadro 107. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M10Y.....	213
Cuadro 108. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M12X.....	214
Cuadro 109. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M12Y.....	215
Cuadro 110. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M4X.....	215
Cuadro 111. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M4Y.....	216
Cuadro 112. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M6X.....	216
Cuadro 113. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M6Y.....	216
Cuadro 114. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M8X.....	217
Cuadro 115. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M8Y.....	217
Cuadro 116. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M10X.....	218
Cuadro 117. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M10Y.....	218
Cuadro 118. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M12X.....	219
Cuadro 119. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M12Y.....	220
Cuadro 120. Cálculo de constantes para punto de desempeño en el sistema de muros.....	220
Cuadro 121. Cálculo del punto de desempeño M4X.....	221
Cuadro 122. Cálculo del punto de desempeño M4Y.....	222
Cuadro 123. Cálculo del punto de desempeño M6X.....	223
Cuadro 124. Cálculo del punto de desempeño M6Y.....	224

Cuadro 125. Cálculo del punto de desempeño M8X	225
Cuadro 126. Cálculo del punto de desempeño M8Y	226
Cuadro 127. Cálculo del punto de desempeño M10X	227
Cuadro 128. Cálculo del punto de desempeño M10Y	228
Cuadro 129. Cálculo del punto de desempeño M12X	229
Cuadro 130. Cálculo del punto de desempeño M12Y	230
Cuadro 131. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para columnas del modelo del sistema estructural tipo dual extraídas de Xtract	231
Cuadro 132. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para muros del modelo del sistema estructural tipo dual extraídas de Xtract	232
Cuadro 133. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para vigas del modelo del sistema tipo dual extraídas de Xtract	232
Cuadro 134. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D4X	235
Cuadro 135. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D4Y	235
Cuadro 136. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D6X	235
Cuadro 137. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D6Y	236
Cuadro 138. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D8X	236
Cuadro 139. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D8Y	237
Cuadro 140. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D10X....	237
Cuadro 141. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D10Y....	238
Cuadro 142. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D12X....	238
Cuadro 143. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D12Y....	239
Cuadro 144. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D4X.....	239
Cuadro 145. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D4Y.....	240
Cuadro 146. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D6X.....	240
Cuadro 147. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D6Y.....	240
Cuadro 148. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D8X.....	241

Cuadro 149. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D8Y	241
Cuadro 150. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D10X	242
Cuadro 151. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D10Y	242
Cuadro 152. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D12X	243
Cuadro 153. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D12Y	244
Cuadro 154. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D4X.....	244
Cuadro 155. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D4Y.....	245
Cuadro 156. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D6X.....	245
Cuadro 157. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D6Y.....	245
Cuadro 158. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D8X.....	246
Cuadro 159. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D8Y.....	246
Cuadro 160. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D10X.....	247
Cuadro 161. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D10Y.....	247
Cuadro 162. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D12X.....	248
Cuadro 163. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D12Y.....	249
Cuadro 164. Cálculo de constantes para punto de desempeño en el sistema estructural tipo dual	249
Cuadro 165. Cálculo del punto de desempeño D4X.....	250

Cuadro 166. Cálculo del punto de desempeño D4Y.....	251
Cuadro 167. Cálculo del punto de desempeño D6X.....	252
Cuadro 168. Cálculo del punto de desempeño D6Y.....	254
Cuadro 169. Cálculo del punto de desempeño D8X.....	256
Cuadro 170. Cálculo del punto de desempeño D8Y.....	257
Cuadro 171. Cálculo del punto de desempeño D10X.....	258
Cuadro 172. Cálculo del punto de desempeño D10Y.....	259
Cuadro 173. Cálculo del punto de desempeño D12X.....	260
Cuadro 174. Cálculo del punto de desempeño D12Y.....	261

Resumen

Cuevillas Mora, Mariela.

Comparación mediante el método de capacidad espectral de las curvas de capacidad estructural para edificios equivalentes de muros con losas planas (sin vigas) y edificios con muros y vigas (sistema de muros y duales)

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José. C.R.:

M. Cuevillas M., 2020

xxxiv, 175, [87]h; ils. col – 26 refs.

En esta investigación se modelaron edificios equivalentes de muros con losas planas y edificios con muros y vigas que se analizaron mediante el método de capacidad espectral para comparar diferentes factores como: los períodos, derivas, las ductilidades en el punto de desempeño, cortantes basales y sobrerresistencias.

Para la realización de este proyecto, se modelaron edificios de 4, 6, 8, 10 y 12 niveles utilizando los lineamientos de diseño y análisis recomendados por el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR-10). Primeramente, se hizo un análisis pseudo dinámico de donde se obtuvieron las demandas últimas para diseñar las columnas, muros y vigas. Luego, se utilizó el análisis de capacidad espectral para obtener las curvas de capacidad espectral y así, comparar los diferentes parámetros mencionados anteriormente, entre los sistemas de tipo muros con losas planas, muros y dual.

El análisis demostró que el Código subestima los períodos para los sistemas de tipo muros con losas planas y muros y, consecuentemente, sobreestima la rigidez lateral de los edificios. También se demuestra que las derivas inelásticas obtenidas por medio del análisis de capacidad espectral son mayores que aquellas obtenidas mediante el análisis pseudo dinámico. La ductilidad de diseño del sistema tipo muro, con un valor de 2,0, no se alcanza en un gran porcentaje de los modelos analizados pero la sobrerresistencia, con un valor también de 2,0, sí se cumple. M.C.M

LOSAS PLANAS; SISTEMA ESTRUCTURAL DE TIPO MURO; SISTEMA ESTRUCTURAL TIPO DUAL; CURVA DE CAPACIDAD ESPECTRAL; PUNTO DE DESEMPEÑO; DUCTILIDAD; SOBRERRESISTENCIA

Ing. Carlos Fernández Chaves, M.Sc.
Escuela de Ingeniería Civil

Capítulo 1: Introducción

1.1 Tema

Comparación mediante el método de capacidad espectral de las curvas de capacidad estructural para edificios equivalentes de muros con losas planas (sin vigas) y edificios con muros y vigas (sistema de muros y duales)

1.2 Justificación

1.2.1 El problema específico

En Costa Rica, las losas planas se han convertido en un sistema atractivo en la industria de la construcción. A pesar de que el auge trae muchas oportunidades y beneficios en el mercado costarricense debido a la rapidez constructiva, aprovechamiento de mayores alturas de los edificios y menor costo de materiales, se deben enfrentar retos y desafíos técnicos tanto en el diseño como en la construcción. En el país, la principal restricción que se tiene para la implementación de losas planas es que no existe normativa nacional que las regule.

En el país hay una faltante de información técnica con respecto a las losas planas. La Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica 2010 revisión 2014 (de ahora en adelante CSCR-10) indica que el artículo 4.2.1 del Código aborda la limitación en cuanto a losas planas. De acuerdo con la clasificación de los sistemas estructurales, específicamente aquellos de tipo marco

Se incluyen dentro de este tipo aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismorresistentes constituidos por marcos de concreto reforzado, acero o madera, vinculados o no, por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero u otros, en cada nivel. No forman parte de este tipo los sistemas estructurales constituidos exclusivamente por columnas y losas planas, los cuales se prohíben expresamente como sistemas sismorresistentes. (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2010, pág. 4/4)

Por lo tanto, se aclara que la limitación aplica para un sistema estructural, no a un elemento en particular como lo es la losa plana. También, se dice que el sistema de columnas junto con **las losas planas se puede utilizar** "si se cuenta en la estructura con otro tipo de sistema sismorresistente que asuma la tarea de equilibrar las fuerzas sísmicas y disipar la energía

sísmica si se considera el sistema trabajando en el rango no lineal durante **los terremotos**” (Comisión Permanente de Estudio y Revisión del CSCR, 2010). De acuerdo con lo expuesto, el sistema combinado de muros de cortante con losas planas sí está permitido por el Código debido a que cumple con la característica de ser un sistema sismorresistente. Las losas pueden ser de varios tipos: normalmente reforzadas, postensadas o, más comúnmente, prefabricadas.

El uso de losas planas, en general, requiere de experiencia previa tanto en la parte de diseño como en la ejecución durante el proceso constructivo, por lo que es un sistema innovador y no muy común en el país, pero que cada día va tomando más participación en el mercado de la construcción y que ha presentado un crecimiento constante importante. Además, los inversionistas o dueños de futuros proyectos inmobiliarios no están familiarizados con el sistema, por lo que el mercado es reducido.

La Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica 2010 revisión 2014 indica que cuando hay losas planas en sistemas estructurales tipo marcos con columnas exclusivamente, sin la presencia de vigas, las columnas serían los elementos llamados a disipar la energía sísmica en la zona de capiteles. El detallado de estas no se realiza con el propósito de ser zonas de rótula plástica y, por lo tanto, el comportamiento de estos marcos estaría comprometido, lo cual es cierto en losas normalmente reforzadas o en losas postensadas.

1.2.2 Importancia

El desarrollo de este proyecto es importante porque va a proporcionar información valiosa que puede ser tomada en cuenta para el desarrollo de los lineamientos para el diseño de edificaciones con losas planas que se incluirá dentro de la siguiente versión del Código Sísmico de Costa Rica. El propósito de incluir esta nueva sección es regular el diseño de las losas planas para que estas sean elementos seguros tanto en sus condiciones de servicio, como con sus cargas permanentes y temporales mayoradas. Además, es vital que la estructura pueda resistir un eventual evento sísmico y que sus derivas, fuerzas y momentos no excedan las capacidades de las losas para evitar que esta falle. Por lo tanto, se debe analizar el comportamiento de las losas para determinar si los lineamientos de diseño para un edificio convencional de vigas y columnas pueden aplicarse para asegurar la seguridad de las losas planas.

1.2.3 Antecedentes teóricos y práctico del problema

Recientemente en el país y, especialmente en la Universidad de Costa Rica, se han desarrollado investigaciones que pretenden estudiar el comportamiento de edificaciones con losas planas.

Como se mencionó anteriormente, en Costa Rica no existe un Código que regule el diseño de las losas planas, por lo que, a través de los estudios que se han realizado, se ha procurado sacar conclusiones pertinentes para generar un documento escrito formal que incluya lineamientos para el diseño.

La ingeniera Carolina Bogantes León desarrolló **su tesis de graduación “Importancia de la resistencia a la compresión del concreto en el comportamiento sísmico de edificios con losas planas y muros estructurales”**. El tema de investigación es la importancia de la resistencia a la compresión del concreto en el comportamiento sísmico de edificios con losas planas y muros estructurales. El objetivo general del trabajo es determinar la influencia de la resistencia del concreto en el sistema sismorresistente y en la demanda teórica de las derivas de edificaciones con losas planas, por medio del método de capacidad espectral y según el CSCR-10.

Se concluyó que, al aumentar la resistencia del concreto en los muros, el comportamiento sísmico de los edificios mejora ya que se aumenta la ductilidad, se disminuyen los desplazamientos inelásticos y derivas, se reduce el cortante en la base y se alcanza una resistencia en la unión de la losa más cercana a la estimada originalmente. Adicionalmente, al aumentar la resistencia a la compresión de los muros, la curva de capacidad se aproxima más a la demanda de diseño, lo cual permite un diseño más acertado con respecto al nivel de fuerzas obtenido originalmente del análisis espectral de la estructura.

Otro trabajo final de graduación relacionado con losas planas es el de la ingeniera Ana Artavia Camacho, **titulado “Utilización del método de capacidad espectral para verificación de las demandas de desplazamiento lateral en edificaciones con losas planas diseñadas de acuerdo con el Código Sísmico de Costa Rica”**. **Dentro de las principales conclusiones se tiene que**

Los desplazamientos obtenidos por medio del método de capacidad espectral resultaron ser considerablemente mayores que los obtenidos por medio del análisis espectral tradicional. Lo anterior podría conllevar a una menor capacidad en las conexiones entre la losa y las columnas y al incumplimiento en los límites de deriva del CSCR 2010. (Artavia, 2017)

De acuerdo con la misma autora, debido a las **diferencias obtenidas por ambos métodos**, “para tomar en cuenta el comportamiento real de este tipo de estructuras al utilizar el método de análisis tradicional se debería utilizar un factor incremental adicional de al menos 2 en modelos de acuerdo con el CSCR, **con sistema gravitacional articulado o continuo.**”

En el 2017 el ingeniero Iván Bogantes Miranda realizó su investigación titulada “**Comportamiento de edificios con losas planas y sistemas sismorresistentes de marcos perimetrales**”. El análisis demostró que la metodología del CSCR-10 y su propuesta para losas planas, podría sobrestimar la capacidad de las conexiones losas columna, producto de una subestimación en los desplazamientos de las edificaciones. Para el caso de edificios de losas planas con sistemas sismo resistente a base de marcos, reducir la ductilidad de estos sistemas a valores hasta 3.0 podría dar como resultado valores poco conservadores de los desplazamientos.

En el ámbito internacional se han estudiado a mayor profundidad el sistema con losas planas. El *American Concrete Institute* (ACI) ha redactado y publicado varias guías para el diseño de estas como lo es el *ACI 421.1R-08: Guide to Shear Reinforcement for Slabs*, el *ACI 421.2R-10: Guide to Seismic Design of Punching Shear Reinforcement in Flat Plates* y el *ACI 352.1R-11: Guide for Design of Slab-Column Connections in Monolithic Concrete Structures*. Estas guías se enfocan en el diseño de las conexiones de la losa-columna para evitar una falla frágil, que es un problema en este tipo de sistema.

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo general

Comparar mediante el uso del método de capacidad espectral el desempeño estructural de edificios equivalentes que cuenten con un sistema sismorresistente a base de muros y losas planas (sin vigas) y edificios con un sistema sismorresistente de muros y vigas en toda la retícula horizontal.

1.3.2 Objetivos específicos

- Estimar las dimensiones de edificios equivalentes de 4, 6, 8, 10 y 12 niveles con un sistema sismorresistente a base de muros y losas planas (sin vigas) y edificios con un sistema sismorresistente de muros y vigas en toda la retícula horizontal, de acuerdo con los requisitos del CSCR-10.
- Modelar los edificios equivalentes de 4, 6, 8, 10 y 12 niveles en el programa de análisis estructural SAP2000, cuyo resultado permita distinguir tendencias de comportamiento tanto de estructuras con losas planas como de estructuras con muros.
- Dimensionar los edificios equivalentes de acuerdo con el análisis realizado de la aplicación del método dinámico del CSCR-10.

- Diseñar el sistema sismorresistente para edificios tipo muro y el sistema gravitacional de columnas de edificios con losas planas de acuerdo con el análisis realizado de la aplicación del método dinámico del CSCR-10.
- Desarrollar las curvas momento-curvatura para la sección donde se formarán las rótulas plásticas.
- Determinar las curvas de capacidad estructural por medio del software SAP2000 y mediante la aplicación del método de capacidad espectral.
- Comparar los resultados de las curvas de capacidad estructural obtenidos mediante el uso del método de capacidad espectral para el edificio con sistema sismorresistente a base de muros y losas planas (sin vigas) y para edificios con un sistema sismorresistente de muros y vigas en toda la retícula horizontal.
- Recomendar lineamientos para el análisis y diseño de edificios con losas planas.

1.4 Delimitación del problema

1.4.1 Alcance

El trabajo tiene como alcance la comparación de las curvas de capacidad de estructuras para edificios de muros con losas planas (sin vigas) y edificios con muros y vigas (sistema de muros y dual), mediante el método de capacidad espectral. Los edificios modelados serán de 4, 6, 8, 10 y 12 niveles

De acuerdo con **Cruz (s.f.) los “edificios que contengan losas planas** como sistema gravitacional y otros sistemas sismo-resistentes con ductilidad se denominarán tipo mixto con losa plana en **la nueva versión del CSCR en preparación”**. En la siguiente figura se muestran los diferentes tipos de sistemas que existen con losas planas. La investigación se centrará en los edificios con sistemas de muros con losas planas, muros y dual.

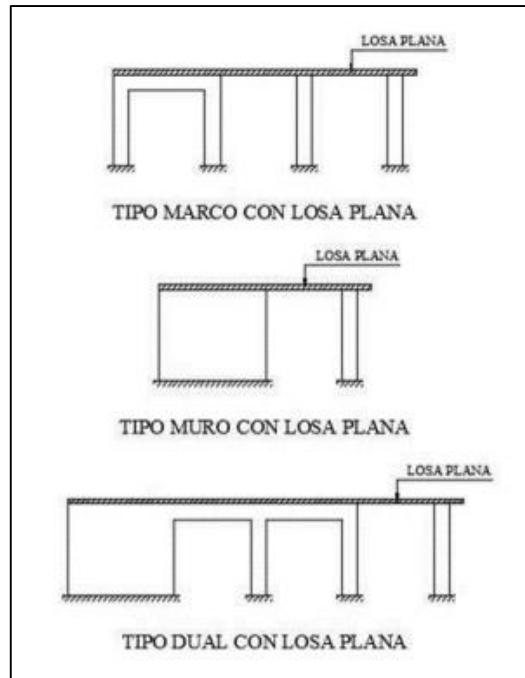


Figura 1. Sistemas mixtos con losas planas

Fuente: Cruz, s.f.

Para la modelación de los edificios se utilizó una resistencia **del concreto (f'_c) convencional de 280 kg/cm²**. Además, los edificios fueron clasificados como regulares en altura y en planta de acuerdo con lo que se define en el CSCR-10. El Código permite establecer que el suelo sea tipo 3 cuando las propiedades del sitio no se conocen y se considera que las estructuras están en una zona sísmica tipo III. Los edificios que se modelaron son considerados con sistema estructural de muros y en ningún momento se consideran los marcos.

1.4.2 Limitaciones

El trabajo realizado fue enfocado en el análisis del comportamiento de las edificaciones por medio del software de análisis estructural SAP2000. No se realizaron modelos a escala natural ni reducida para verificar los resultados que despliega el software. La modelación en SAP2000 permite obtener resultados de cortante, momentos y derivas de acuerdo con los parámetros de ingreso como la resistencia del concreto, dimensiones de los elementos estructurales y otras propiedades de los materiales.

Como se mencionó, el edificio es de concreto reforzado para el cual se utilizó una resistencia convencional de 280 kg/cm². No se pretende modificar la resistencia del concreto para

determinar la variación en el comportamiento del edificio. La ingeniera Carolina Bogantes León desarrolló una tesis en este tema titulado “Importancia de la resistencia a la compresión del **concreto en el comportamiento sísmico de edificios con losas planas y muros estructurales**” para tomar en cuenta esta variación.

Adicionalmente, no se considera en el análisis el comportamiento de otros materiales como acero o madera; el análisis se limita a edificaciones de concreto. Tampoco se diseñaron las fundaciones ni se hizo un análisis económico sobre la edificación, ya que se sale del alcance del trabajo.

Debido a la limitante de que en el país no existe normativa que regule el uso de losas planas, se consultó bibliografía internacional referente al tema como referencia para el diseño.

1.5 Descripción de la metodología utilizada

La metodología seguida para la elaboración del proyecto propuesto se muestra en la Figura 2. La primera etapa del proyecto consistió en la fase teórica donde se hizo una revisión bibliográfica para aprender a diseñar losas planas y aprender sobre el método de capacidad espectral que se aplicó para poder obtener las curvas de capacidad estructural. Para el diseño de losas planas utilizó normativa internacional del *American Concrete Institute* tales como el ACI 421.2R-10, el ACI 421.1R-08 y ACI 352.1R-11 donde se indica el diseño de la losa como tal, el estudio de la conexión losa-columna y el cortante por punzonamiento. El estudio del método de capacidad espectral se hizo a profundidad, ya que fue el método seleccionado para modelar el comportamiento inelástico de las edificaciones. Este método para verificar demandas y desplazamientos inelásticos se hizo a través del software SAP2000, por lo que fue importante aprender el uso de este programa. Cabe resaltar que se utilizó la licencia del programa que tienen en la empresa de Camacho y Mora S.A. de acuerdo con el permiso otorgado por el director del trabajo final de graduación y socio de la compañía mencionada, Ing. Carlos Fernández Chaves, M.Sc.

La siguiente etapa consistió en la definición de las estructuras equivalentes y las propiedades de los materiales. El primer caso es el edificio con muros y losas planas, y el segundo es un edificio con muro y vigas. Se definieron parámetros como la altura entre pisos, dimensiones como el espesor, largo y ancho de la losa y muros. Para el diseño de los elementos estructurales se siguieron los lineamientos del ACI 318S-14 y el Código Sísmico de Costa Rica, además de los conceptos aprendidos en los cursos de Ingeniería Estructural I y II Concreto I y II de la

Universidad de Costa Rica. También se seleccionaron los parámetros como la ductilidad de diseño de la estructura. Con el pre dimensionamiento y propiedades definidas se procedió a modelar los edificios en SAP2000.

Con los resultados obtenidos del análisis estructural mediante el método dinámico del CSCR-10 se procedió a realizar el diseño de todos los elementos estructurales. Una vez seleccionadas las zonas de rótulas plásticas se desarrollaron las curvas de momento-curvatura y su simplificación bilineal. Posteriormente, con esta información se procedió a hacer el análisis utilizando el método de capacidad espectral.

Por último, se redactaron los entregables: conclusiones y recomendaciones más relevantes obtenidos del análisis a partir de las diferencias o similitudes encontradas en las curvas de capacidad de ambas estructuras. Adicionalmente se redactó el artículo técnico donde se resumió el desarrollo del proyecto.

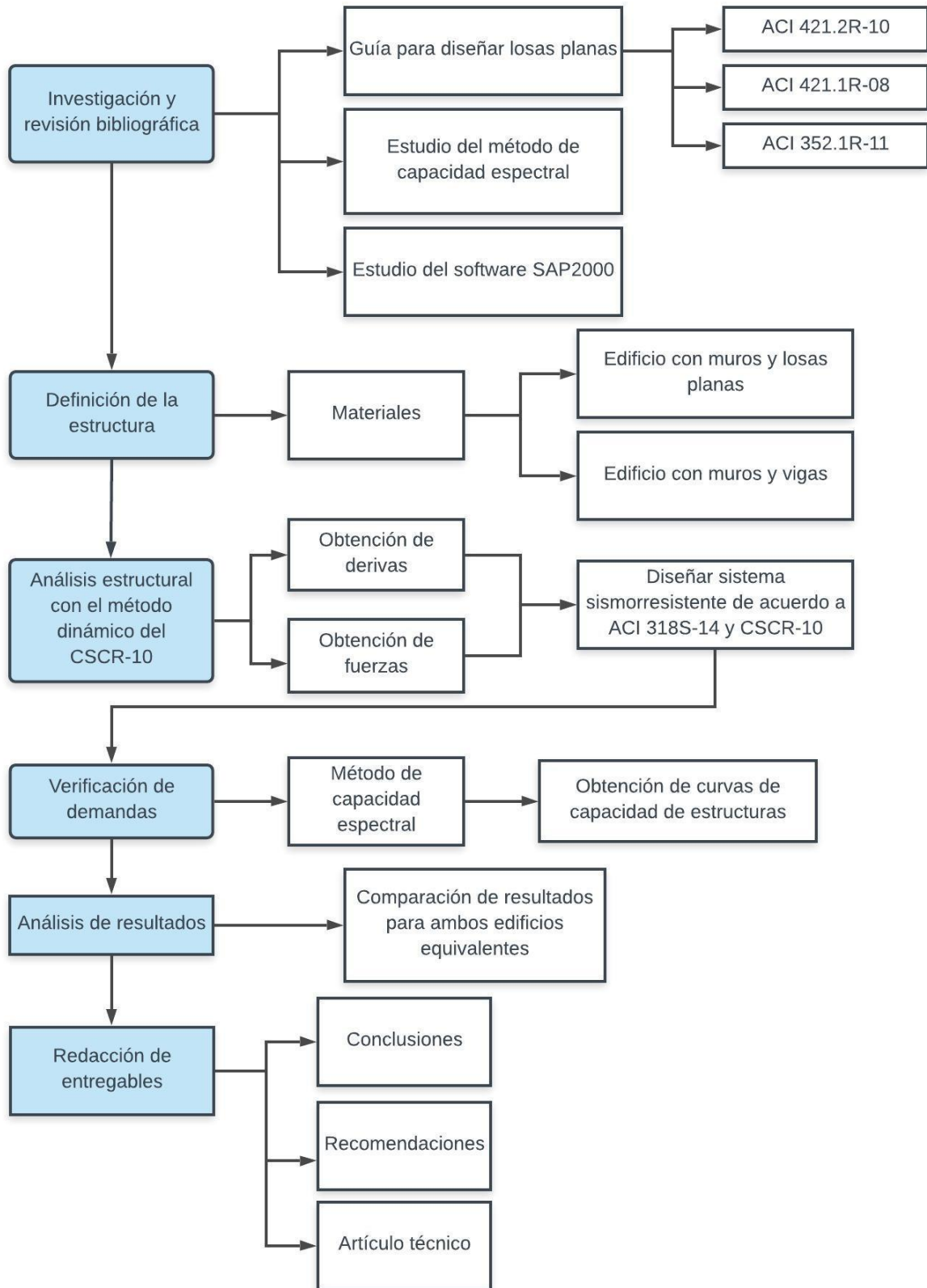


Figura 2. Diagrama de la metodología propuesta para la tesis de graduación

Capítulo 2: Desempeño histórico de losas planas

El sistema con losas planas no es una solución constructiva nueva, se utiliza desde inicios de 1900. A lo largo del tiempo han existido casos de colapso de estructuras construidas mediante este sistema, entre los más reconocidos está el del sismo de la Ciudad de México el 19 de setiembre del 2017. Dicho sismo fue de 7,1 en la escala de Richter y dejó más de 200 muertos y 44 edificios colapsados. Exactamente 32 años antes, en 1985, hubo un terremoto de 8,1 en Michoacán. Posterior a esto, se realizaron estudios que permitieron caracterizar los suelos por zonas y se hicieron evaluaciones estructurales. Con estos insumos, entre otros, en 1897 se creó un nuevo código de construcción civil donde se estableció que los sistemas de losas planas son ineficientes, mas no se prohibió su uso.

Posterior al evento, unos ingenieros de la Universidad de Stanford publicaron resultados de una investigación realizada en el sitio del terremoto. En el artículo (19-S: El tipo de estructura que causó más de la mitad de los derrumbes en la CDMX, 2017) **se indica que** "Ingenieros de la Universidad de Stanford analizaron las construcciones derrumbadas tras el sismo del 19 de septiembre del 2017 y encontraron que 61 por ciento de los casos habían sido erigidos con una técnica que favoreció el colapso del inmueble". **Además, se expone que el** ente investigador concluyó que el problema de los edificios colapsados obedece al uso de estructuras de concreto armado de losa plana, cuya edad es anterior a 1985, como también influyó mucho la resistencia de las estructuras laterales, y el hecho de que muchas construcciones sean del tipo de pisos blandos. En la siguiente imagen se muestra uno de los edificios afectados con fallas en las columnas. Es evidente que se dio tanto una falla por punzonamiento en la unión losa-columna, como un colapso de la columna.



Figura 3. Falla de columna y falle en unión losa-columna en el terremoto de México, 2017

Fuente: 19-S: El tipo de estructura que causó más de la mitad de los derrumbes en la CDMX, 2017

UNO TV (2017), un canal mexicano, dio a conocer la noticia del desastre ocurrido en una escuela donde murieron 26 personas, la mayoría de ellas niños, a causa del colapso de columnas y las conexiones losas-columna.

En el diario mexicano del estado de Nueva León "La Razón" se publicó un afiche con ilustraciones que identifican los tipos de losas planas, las fuerzas actuantes y los elementos de una estructura de seis niveles. En la siguiente imagen de Arturo Ramírez se muestra la publicación donde las fuerzas actuantes señaladas con flechas son torsión, compresión, flexión, compresión axial y tracción.

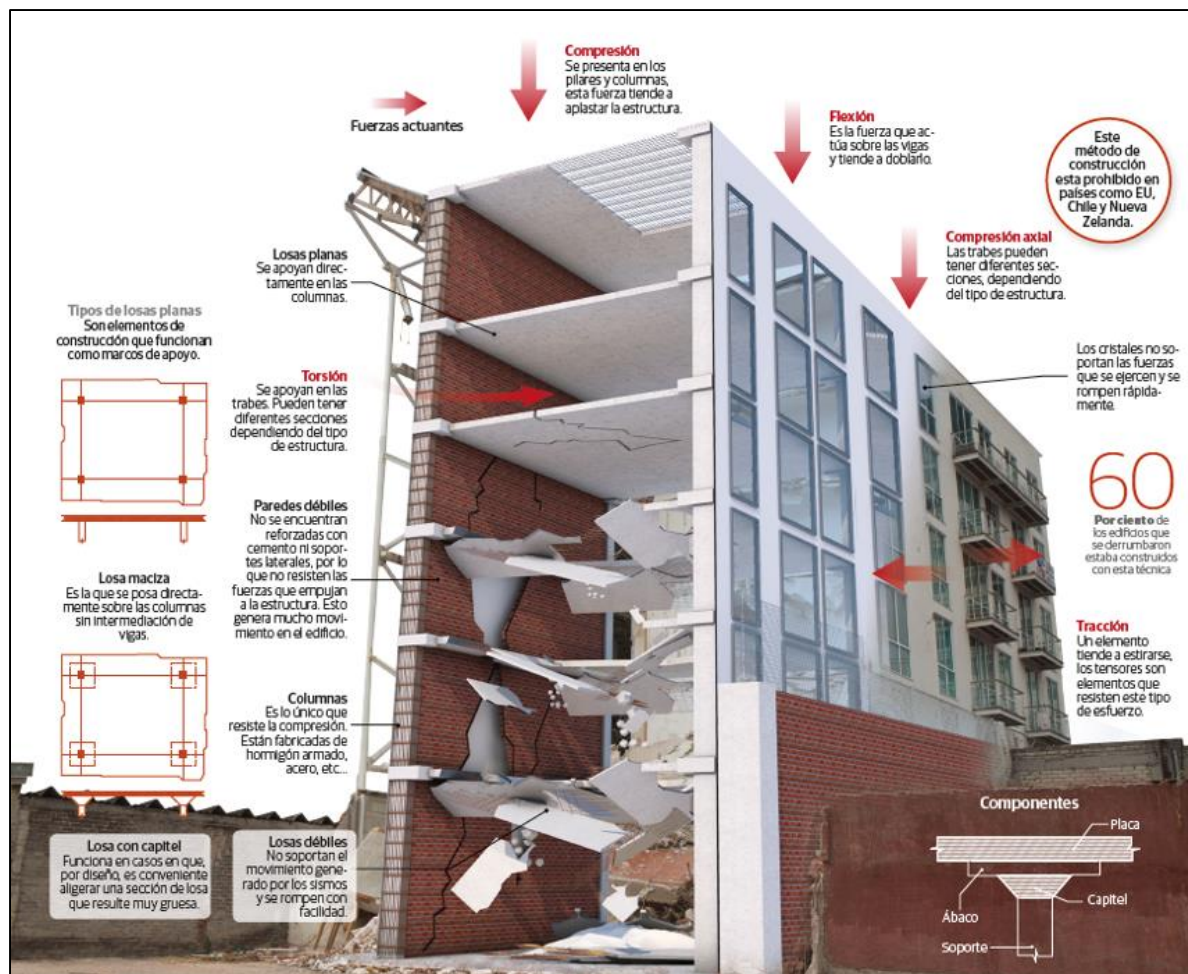


Figura 4. Fuerzas actuantes en edificios y tipos de losas planas

Fuente: Ramírez, 2017

El portal mexicano de internet Obras Web, cuyo objetivo es transmitir noticias de negocios, tendencias, nuevas tecnologías y análisis del sector construcción, publicó las normas que se establecieron para rehabilitar los inmuebles dañados después del sismo de setiembre 2017. Dichas normas "dictan que los edificios identificados como de planta baja débil deberán ser corregidos, incluso los que no hayan sufrido daños estructurales graves" (Web, 2017). La norma explica que "planta baja" se refiere a edificios que están estructurados con columnas que forman marcos o soportan losas planas de claros considerables y con ausencia o escasez de muros. Durante el proceso de rehabilitación sísmica se le dio prioridad a: edificios con planta baja débil, edificios ubicados en esquinas y edificios con sistema de piso a base de losa plana de cuatro a diez niveles.

Otro terremoto importante fue el de Chile en el 2010. Una reconocida empresa peruana consultora en ingeniería estructural (Abb Ings) realizó un viaje a Chile con los 15 ingenieros que la conforman para hacer una evaluación de las edificaciones y conocer el diseño y construcción de los profesionales chilenos. El terremoto tuvo una magnitud de 8,9 y ocurrió cerca de la ciudad de Concepción. Como consecuencia del fuerte sismo, se produjo un tsunami posteriormente, dejando más de 150 muertos y 25 desaparecidos.

Durante la evaluación se detectó problemas con pisos blandos, también conocidas como losas de transferencia. Estas losas se caracterizan por tener columnas en niveles inferiores, comúnmente en sótanos o parqueos, y tienen muros en los niveles superiores. En la siguiente figura se muestra un caso típico de estas losas.



Figura 5. Losas de transferencia en el terremoto de Chile 2010

Fuente: Blanco & Terry, 2010

Capítulo 3: Descripción de sistemas estructurales

3.1 Conceptos relevantes

3.1.1 Ductilidad

Se puede definir una ductilidad para el material, una sección y para una estructura (global). La ductilidad del material corresponde de manera individual a la capacidad que tiene cada componente de deformarse plásticamente para un determinado ensayo. Por ejemplo, el acero es un material más dúctil que el concreto. La ductilidad de una sección se refiere a la capacidad de deformación de una determinada sección en una estructura, por ejemplo, vigas y columnas. La ductilidad global es la capacidad de una estructura de deformarse como un conjunto. Según (Mozzo & Barbat, 1999) por lo general, la ductilidad global es mayor que la ductilidad de una sección, y esta, a la vez, es mayor que la ductilidad a nivel de material.

El CSCR-10 establece en su sección 3.1 que:

“toda edificación debe tener un sistema estructural compuesto por uno o varios sistemas sismorresistente, de resistencia, rigidez, y ductilidad apropiadas, capaces de transmitir todas las fuerzas por medio de una o, preferiblemente, de varias trayectorias continuas y redundantes, desde su punto de aplicación hasta los cimientos de la estructura. También debe resistir deformaciones internas compatibles con los desplazamientos laterales correspondientes a la ductilidad global asignada o a la ductilidad global requerida, sin pérdida de su capacidad”.

La ductilidad se puede definir como

Ecuación 1

$$\mu = \frac{\text{máximo}(x_{\text{positivo}}, x_{\text{negativo}})}{x_y}$$

Donde x_{positivo} es el desplazamiento plástico positivo, x_{negativo} es el plástico negativo y x_y es el desplazamiento al límite de fluencia.

La ductilidad global puede representarse, según la siguiente figura, por medio de la curva de cortante en la base en relación con el desplazamiento total en el último piso de una edificación.

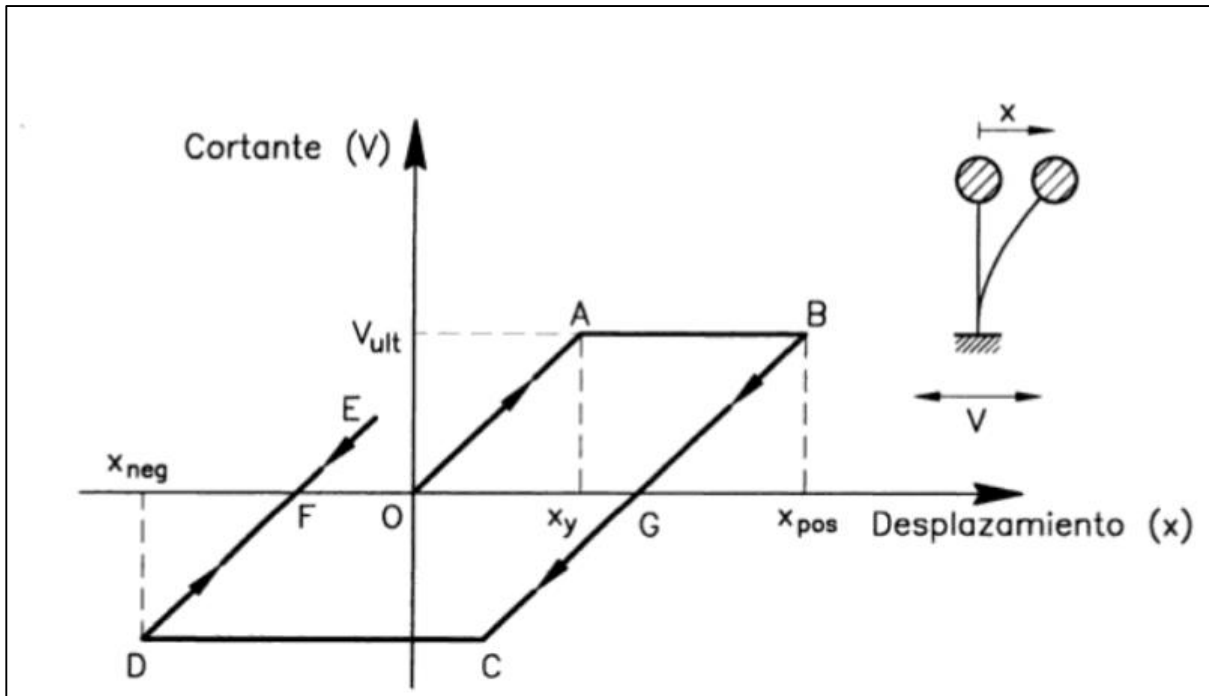


Figura 6. Modelo elasto-plástico con un solo grado de libertad empleado para definir la energía de absorción, de disipación y la ductilidad

Fuente: Mozzo & Barbat, 1999

3.1.2 Estructuras sismorresistentes

“En las regiones donde el riesgo sísmico es elevado, el diseño de estructuras, en general, es gobernado por los requerimientos de resistencia lateral necesarios para soportar las fuerzas sísmicas máximas esperadas durante la vida útil de la estructura” (Cerroloza & Flórez-López, 2000). En el diseño se debe evitar el colapso de la estructura, por lo que se permiten altas deformaciones en el rango elástico. La misma fuente indica que el diseño por capacidad implica un diseño de acuerdo con niveles de resistencia diferentes según la sollicitación, de tal manera que se deben controlar los modos de falla o de deformación deseables o indeseables, que son aquellos que ocurren repentinamente y que llevan al colapso de la estructura.

Para obtener deformaciones deseables, se debe controlar los daños y definir parámetros de diseño de acuerdo con la región en la que se encontrará la estructura, entre otros factores. En general, se debe diseñar la estructura con una ductilidad adecuada y suficiente para que esta evite el daño o colapso de la estructura, y que pueda disipar la energía inducida por el sismo.

Adicionalmente, se debe hacer una distribución de masas y definir la regularidad del edificio para que su respuesta sísmica sea adecuada.

Según (Cerrolaza & Flórez-López, 2000), el sistema sismorresistente puede subdividirse en tres subsistemas:

- a) Un subsistema de conexión de las masas principales con la superestructura. En el caso de edificios, este sistema está constituido por las losas de piso, o diafragmas.
- b) Un subsistema constituido por una subestructura espacial o por planos resistentes verticales, que se encargan de transmitir las fuerzas inerciales concentradas a nivel de cada piso hasta el terreno. Estos planos pueden estar formados por pórticos o paredes estructurales o pantallas.
- c) El sistema de fundaciones que vincula la estructura al terreno.

Como se mencionó en las limitaciones, el enfoque de este trabajo se centra en el diseño y modelado de los subsistemas a) y b). No se diseñaron las fundaciones de la estructura.

3.1.3 Sobrerresistencia

El CSCR-10 en la sección 3.3 define la sobrerresistencia (SR) como la razón entre la capacidad real sismorresistente y la capacidad nominal sismorresistente. Hay varias razones por las cuales la capacidad real sismorresistente normalmente es mayor que la capacidad nominal sismorresistente. Algunas de ellas son la diferencia entre la resistencia real de los materiales utilizados y los especificados, la diferencia entre lo especificado por el diseñador y la demanda considerada, redundancia presente en las estructuras, sobrestimación de cargas y proceso constructivo.

La ecuación [5-1] del CSCR-10 define el coeficiente sísmico como

Ecuación 2

$$C = \frac{a_{ef} I F E D}{SR}$$

donde es evidente que el valor de sobrerresistencia reduce el coeficiente sísmico, cuando es mayor que uno. En el capítulo 5 del CSCR-10 se especifica que cuando se utilizan los métodos de análisis estático o dinámico, la sobrerresistencia es igual a 2,0 para estructuras tipo marco, dual y muro, e igual a 1,2 para estructuras tipo voladizo y otros. Cuando se utilizan métodos alternos de análisis, la SR no debe aparecer como denominador en el coeficiente sísmico C sino

como lo que realmente es: un incremento de la capacidad nominal sismorresistente para estimar la capacidad sismorresistente. En consecuencia, el valor de SR que se asigna a la demanda sísmica según la Ecuación 2 es $SR=1,0$, pero se debe utilizar una $SR=1,2$ para estimar la capacidad real sismorresistente de la estructura.

3.1.4 Curvas de capacidad estructural

Las curvas o espectros de capacidad muestran el comportamiento de una estructura con respecto a la cortante en la base. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de la curva y se marcan tres puntos. El primer punto de capacidad de diseño representa la resistencia nominal del edificio, es decir, la resistencia teórica o la resistencia para que soporte un sismo. El segundo punto de capacidad elástica es aquel que considera las resistencias reales de los materiales del edificio ante la aplicación de cargas horizontales. El punto final es el de capacidad última e indica la resistencia máxima del edificio. Es en este momento que la estructura está totalmente plastificada.

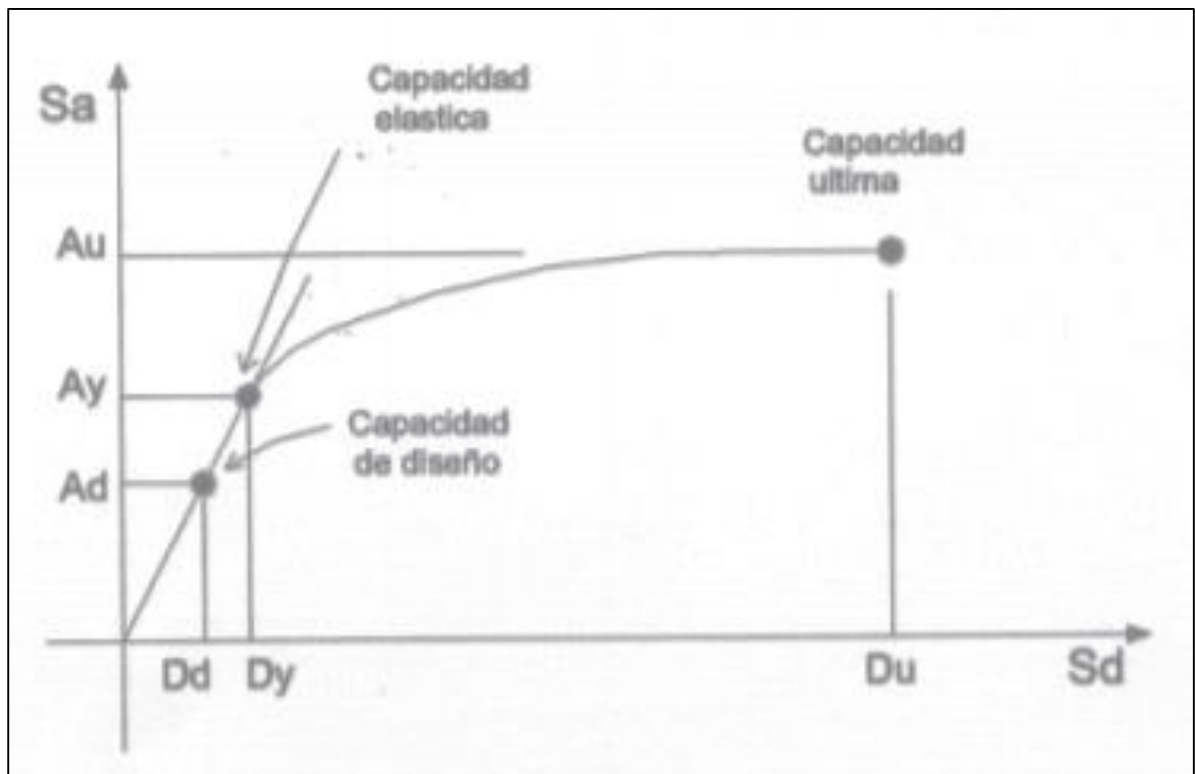


Figura 7. Curva de capacidad

Fuente: Chiroiu, Goula, Susagna, Barbat, & Pujades, 2001

3.1.5 Diagramas momento-curvatura

Para elementos de concreto se sabe que se deben evitar las fallas frágiles. Por lo general, las deformaciones de los miembros se dan por deformaciones asociadas con la flexión. Consecuentemente, se deben entender las características de carga y deformaciones de los miembros a flexión que dependen de las relaciones de momento-curvatura. En el diseño, se puede utilizar la redistribución de momentos flexionantes para reducir la cantidad de acero de una sección, especialmente en los apoyos de miembros continuos, lo cual permite disminuir los valores máximos de las envolventes de momento.

La curvatura en un elemento según Park & Paulay (1983) es la rotación por longitud unitaria del miembro y se puede representar mediante la siguiente ecuación

Ecuación 3

$$\varphi = \frac{1}{R} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d}$$

En la figura siguiente se muestra que R es el radio de curvatura medido hasta el eje neutro, kd es la profundidad hasta el eje neutro y ϵ son las deformaciones del concreto en la fibra extrema a compresión y del acero a tensión.

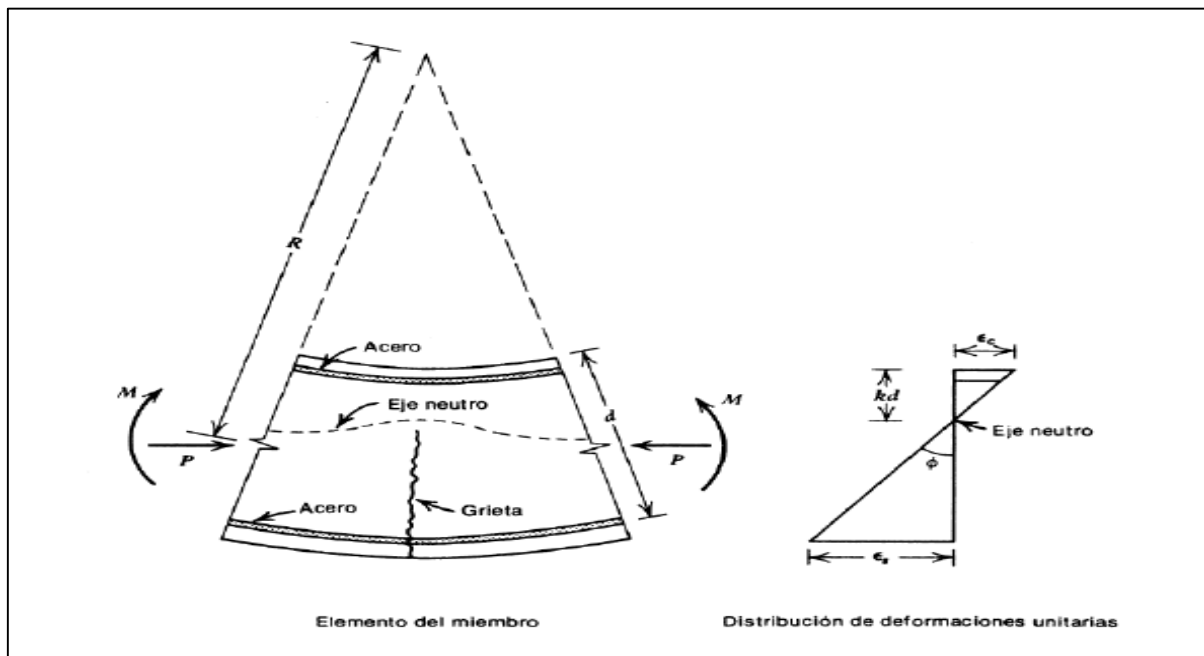


Figura 8. Deformación de un miembro a flexión

Fuente: Park & Paulay, 1983

De la figura anterior se entiende que la curvatura varía con la ubicación del eje neutro y, consecuentemente, de las deformaciones. En la siguiente figura se muestran las relaciones momento-curvatura para secciones de viga con fallas distintas.

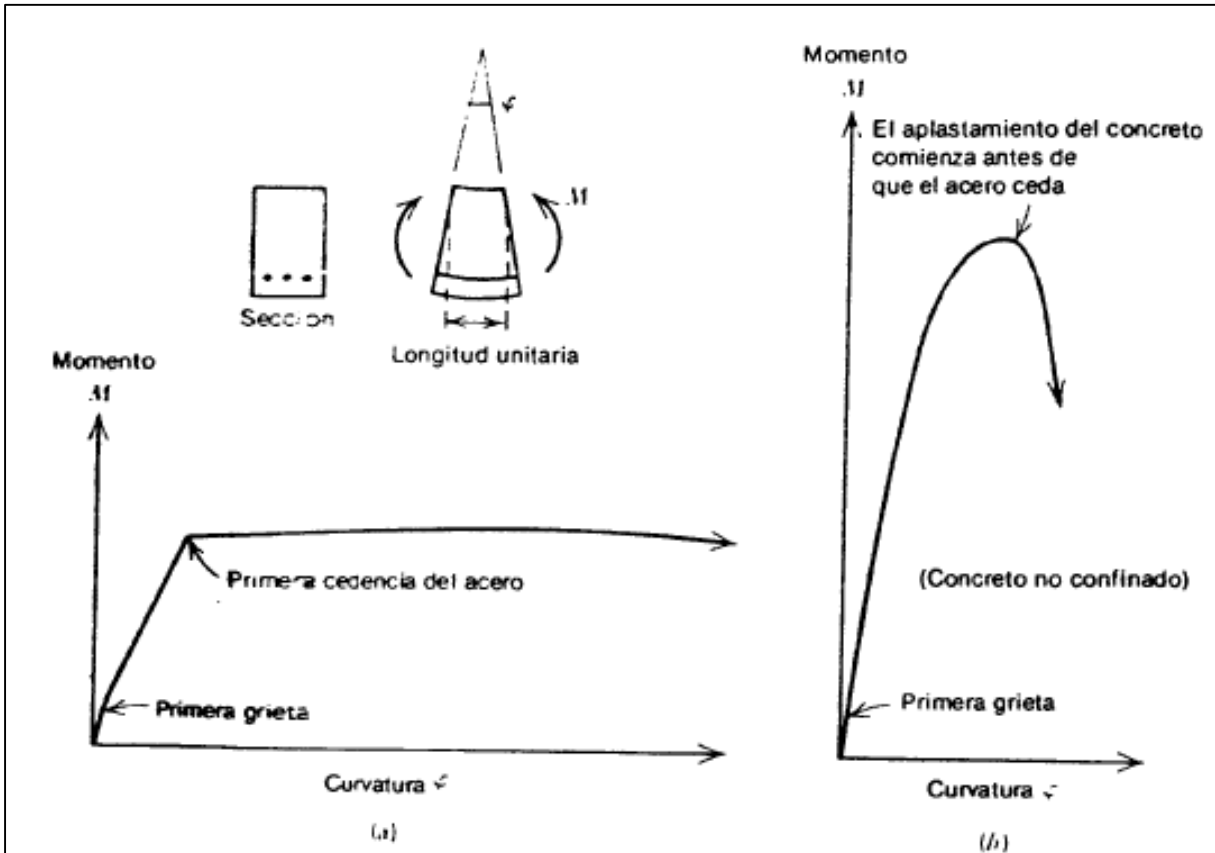


Figura 9. Relaciones momento-curvatura para secciones de viga simplemente reforzadas. a) Sección que falla a tensión b) Sección que falla a compresión

Fuente: Park & Paulay, 1983

Se observa que, en la primera parte de la curva, para ambas secciones de la Figura 9, esta es lineal. La rigidez a flexión de la sección se puede relacionar con la siguiente ecuación

Ecuación 4

$$EI = MR = \frac{M}{\varphi}$$

La cuantía de acero presente en una sección determina en comportamiento después del agrietamiento. Según Park & Paulay (1983), las secciones ligeramente reforzadas (sección a), producen una curva prácticamente lineal hasta el punto de cedencia del acero y aumenta

constantemente después de la cedencia. En este caso, el momento se eleva hasta un máximo debido a un aumento en el brazo de palanca interno, y luego decrece. Por otro lado, en la sección b, que representa una sección sobre reforzada, la curva es lineal hasta que el concreto entra en la parte inelástica de la relación de esfuerzo-deformación y se puede producir una falla frágil. Para evitar esta falla se puede confinar el concreto con abundantes estribos cerrados. Si se quiere asegurar un comportamiento dúctil, se deben utilizar cantidades de acero menores a los de la falla balanceada.

La siguiente figura es una idealización de la relación trilineal del momento-curvatura. La primera etapa es el agrietamiento, en la segunda el acero a tensión cede y por último se encuentra el límite de la deformación útil en el concreto.

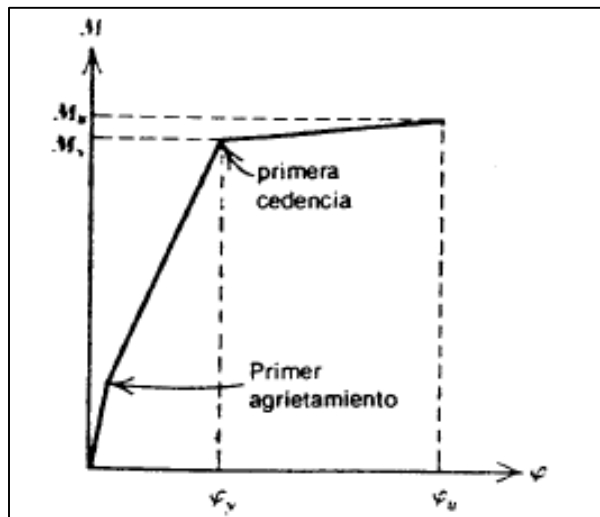


Figura 10. Curva idealizada momento-curvatura para una sección simplemente reforzada que falla a tensión

Fuente: Park & Paulay, 1983

En una investigación de Park & Paulay (1983) para la determinación teórica de la relación momento-curvatura, las curvas mostraron que para una deformación máxima dada del concreto, la ductilidad de las secciones simplemente reforzadas disminuye conforme se aumenta la cuantía de acero de tensión, que la presencia del acero de compresión aumenta significativamente la ductilidad, un aumento en la resistencia de cedencia del acero disminuye la ductilidad, un aumento en la resistencia del concreto aumenta la ductilidad y un aumento en la deformación de la fibra extrema del concreto en el momento último aumenta la ductilidad.

En cuanto a la carga axial, esta también influye en la curvatura. La presencia de carga axial reduce significativamente la ductilidad de una sección. En la misma bibliografía se muestran resultados que demuestran que, para secciones de columna de concreto no confinado, a niveles de carga axial superiores a la carga de falla balanceada, la ductilidad es despreciable, y solo se debe a la deformación inelástica del concreto. A niveles de carga menores a la carga balanceada, la ductilidad aumenta conforme se reduce el nivel de carga. En zona sísmica el ACI318 recomienda confinar los extremos de las columnas de marcos dúctiles con refuerzo transversal, cuando la carga axial supera 0,4 de la carga balanceada P_b .

Para miembros con concreto confinado y que tienen refuerzo transversal como estribos, aros o hélices cerrada, se puede aumentar la ductilidad del concreto al lograr un mejor comportamiento antes las cargas últimas. Se indicó que las hélices son más efectivas para confinar que los estribos o aros **“debido a que el acero de confinamiento en forma de círculo aplica una presión radial uniforme al concreto, en tanto que un rectángulo tiende a confinar el concreto principalmente en las esquinas”** (Park & Paulay, 1983).

También se hicieron pruebas que ilustran el comportamiento de miembros con concreto confinado. Para aquellos con una cuantía de acero de tensión de aproximadamente la mitad del valor de la falla balanceada, las vigas tuvieron una elevada capacidad rotacional sin disminución significativa en el momento último. Las curvas momento-rotación para vigas con una cantidad de acero igual a la falla balanceada demostraron que la ductilidad se incrementó de forma apreciable. Por último, aquellas vigas que tenían una cuantía de acero de tensión mayor que el valor balanceado, Park & Paulay (1983) indica que no solo se obtuvo un aumento en la ductilidad, sino que ocurre un aumento en la resistencia, debido a la gran influencia que tiene la mayor resistencia a compresión del concreto en este tipo de falla.

3.2 Edificios del sistema estructural tipo muro con losas planas

Las losas planas se empezaron a usar después de muchos años de estudio y análisis del comportamiento del sistema tradicional de losas armadas en dos sentidos apoyados sobre vigas en sus cuatro lados. Se prescindió de la función de las vigas cuando se determinó que las losas planas eran eficientes cuando actúan bajo cargas de gravedad. Sin embargo, dado que las losas tienen poca rigidez lateral, el sistema es poco conveniente para regiones altamente sísmicas como lo es Costa Rica.

Las losas planas presentan una serie de beneficios como que pueden ser erigidas en menos tiempo que un sistema convencional de vigas, columnas y losas. También permiten aprovechar mejor el espacio vertical o altura de los edificios debido a la ausencia de las vigas y los **espesores de las losas. "El tendido de tuberías también es más sencillo por la ausencia de vigas** en el techo. Por ello, en zonas de baja sismicidad, las losas planas son muy utilizadas. Son **económicas para luces mayores de 6 m"** (Harmsen, 2002). De las afirmaciones anteriores se puede concluir que los beneficios que se obtienen al utilizar las losas planas son meramente de costos, no se presentan beneficios estructurales.

Por otro lado, las losas planas presentan problemas de punzonamiento cuando no hay una transferencia adecuada de las cargas desde la losa hacia la columna. Según Harmsen (2002), en estas situaciones es posible incrementar el espesor de la losa sobre el apoyo para aumentar la sección de concreto que resiste el corte. Este ensanchamiento se denomina ábaco o panel. También se suele hacer uso de capiteles. En la Figura 11 se muestran los diversos tipos de losas armadas en dos sentidos. En orden de izquierda a derecha se encuentran: vigas y losas, losas planas, losas con ábacos y columnas con capitel y, por último, losas nervadas.

El código del ACI 318S-14 propone espesores mínimos para las losas que evitan deflexiones muy grandes. A mayores fuerzas cortantes se debe usar un mayor espesor de la losa. Sin embargo, el espesor no será nunca menor que 9 cm.

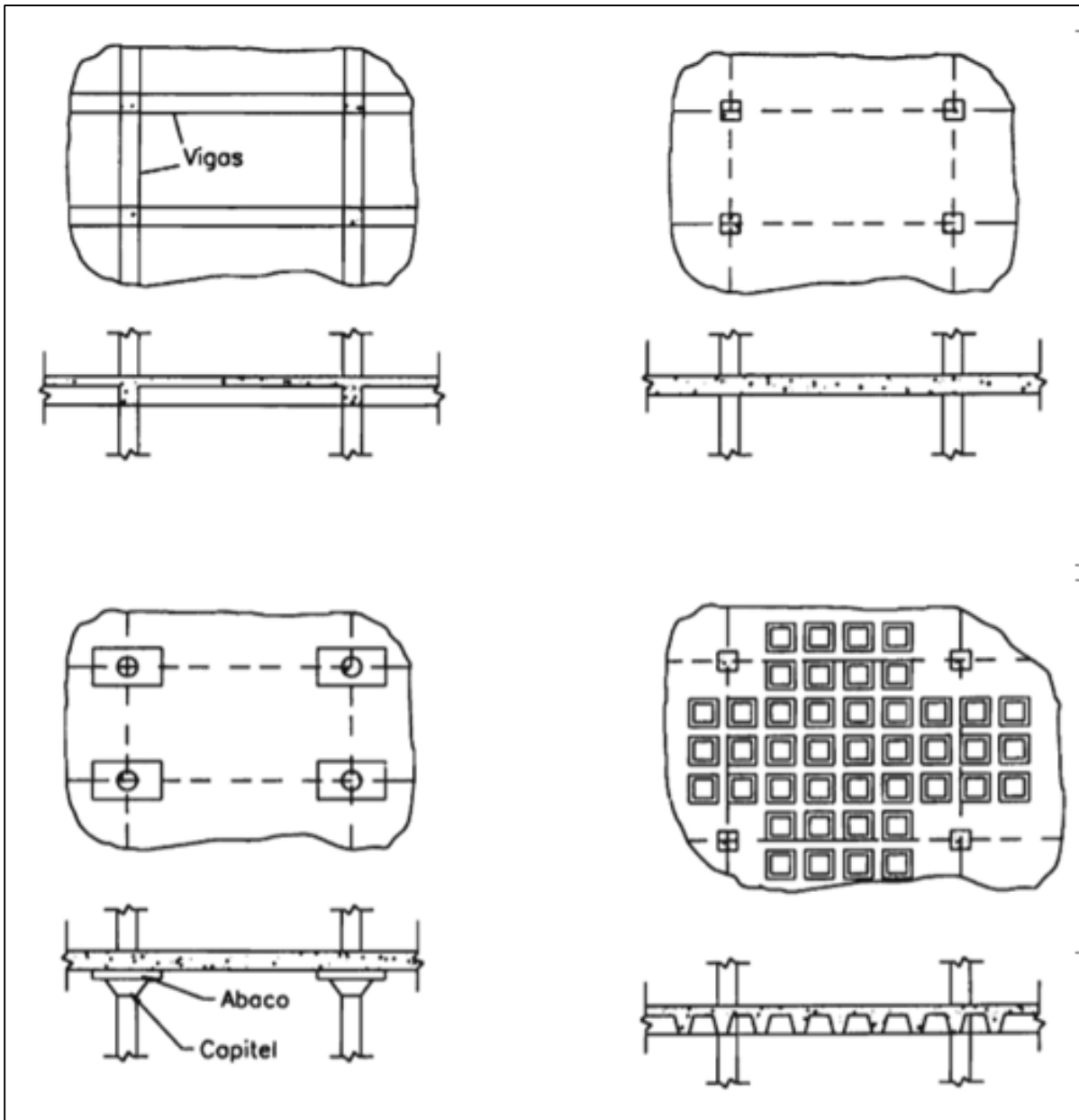


Figura 11. Tipos de losas armadas en dos sentidos

Fuente: Harmsen, 2002

3.3 Edificios del sistema estructural tipo muro

El CSCR-10 en su sección 4.2.3 define los edificios tipo muro como aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismorresistentes constituidos por a) marcos arriostrados de concreto reforzado, acero o madera, b) muros de concreto, mampostería reforzada, acero o madera, o c) la combinación de sistemas sismorresistentes

descritos en a) y b), comportándose de manera independiente o combinada, vinculados o no por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero y otros en cada nivel.

3.4 Edificios del sistema estructural tipo dual

El CSCR-10 en su sección 4.2.2 define los edificios tipo dual como aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismorresistentes constituidos por: a) marcos de concreto reforzado, acero o madera, y b) muros de concreto o de mampostería reforzada, marcos arriostrados de concreto reforzado, acero o madera. También se incluyen dentro de este tipo los sistemas sismorresistentes constituidos por marcos parcialmente arriostrados, solos o en combinación con alguno de los sistemas (a) y (b) anteriores. Estos sistemas están vinculados o no por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero y otros, en cada nivel.

Adicionalmente, el Código indica que, en cada nivel, para los marcos de los sistemas duales, la sumatoria de las fuerzas cortantes en las columnas, debe ser igual o mayor que el 25% de las fuerzas cortantes de diseño obtenidas del análisis para ese nivel. En caso contrario, la edificación se considera como tipo muro y los marcos no se consideran como parte de los sistemas sismorresistentes.

La fuerza cortante de cada columna se calcula como el menor valor de los siguientes: a) la sumatoria de su capacidad en flexión en los extremos superior e inferior dividida por su altura libre y b) su capacidad en cortante. Para la determinación de esta última, se considera la menor capacidad en la altura de la columna.

Capítulo 4: Principios de diseño de losas planas

4.1 Aspectos generales

En zonas de alta sismicidad, las uniones losa-columna y losa-muro no forman parte del sistema sismorresistente, pero si se toman en cuenta para resistir las cargas gravitacionales. Estas conexiones producen grandes esfuerzos de cortante debido a la aplicación de cargas gravitacionales. Por otro lado, en zonas donde la sismicidad es baja, las uniones sí se diseñan para resistir fuerzas laterales de viento y/o sismo.

4.2 Sistema losa-columna

Las losas planas pueden unirse directamente con la columna, ya que estos elementos son los que la soportan. También se pueden agregar capiteles para mejorar la conexión por cortante de la unión, esto debido a que se da un ensanchamiento de la sección, lo que permite tener más superficie para soportar la carga y, a la vez, se puede incrementar la cantidad de refuerzo en esta zona. El espesor del capitel se determina por medio de las fuerzas de cortante que afectan el perímetro de la columna. La extensión horizontal del capitel se determina de tal forma que se asegure que, en la zona crítica afuera de perímetro del capitel, los esfuerzos por cortante no sean excesivos y vayan a producir un fallo en la estructura. Ambos tipos de unión se pueden observar en la siguiente figura, a la izquierda se muestra la losa plana apoyada directamente sobre las columnas y a la derecha se indica la losa plana con capiteles en la unión losa-columna.

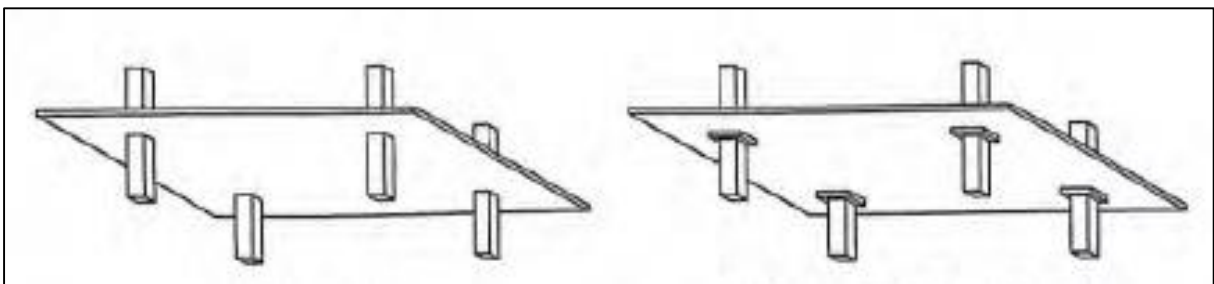


Figura 12. Configuraciones típicas de uniones losa-columna

Fuente: Moehle, 2014

De acuerdo al ACI (2012), el diseño de la conexión debe soportar la acción de diferentes efectos, tanto de forma individual como simultáneos: fuerzas axiales, de cortante, momentos de flexión y torsión aplicados a la conexión como consecuencia del peso propio, cargas

aplicadas externamente, movimientos de tierra, fluencia, contracción, temperatura y movimientos de la cimentación. Además, deben considerarse las cargas que se producen durante la construcción y durante la vida útil.

4.2.1 Clasificación de conexiones

Las secciones críticas de cortante se utilizan para determinar la resistencia al cortante de la conexión. La conexión debe ser diseñada para cumplir con las condiciones de servicio de una estructura y los estados límite para poder resistir las cargas y deformaciones inducidas.

En la Figura 13 se muestran ejemplos de secciones críticas típicas de cortante. En la imagen a) se muestra una conexión interior rectangular típica, en la b) una conexión interior con geometría irregular, en la c) se muestra que una columna circular puede ser representada conservadoramente como una columna cuadrada con el mismo perímetro que el círculo y en la d) se muestra una columna con un ábaco o capitel. En las imágenes e) y f) se observan conexiones exteriores que dependen de la distancia del borde de la losa a la cara de la columna (mayor o menor a $4h$, donde h es el espesor de la losa). Por último, las imágenes g) y h) muestran secciones críticas de cortantes alternativas. La distancia d' es la profundidad efectiva de la losa, c es la dimensión de la columna y l_v es la longitud de la pata de cortante medida desde el centro de la columna.

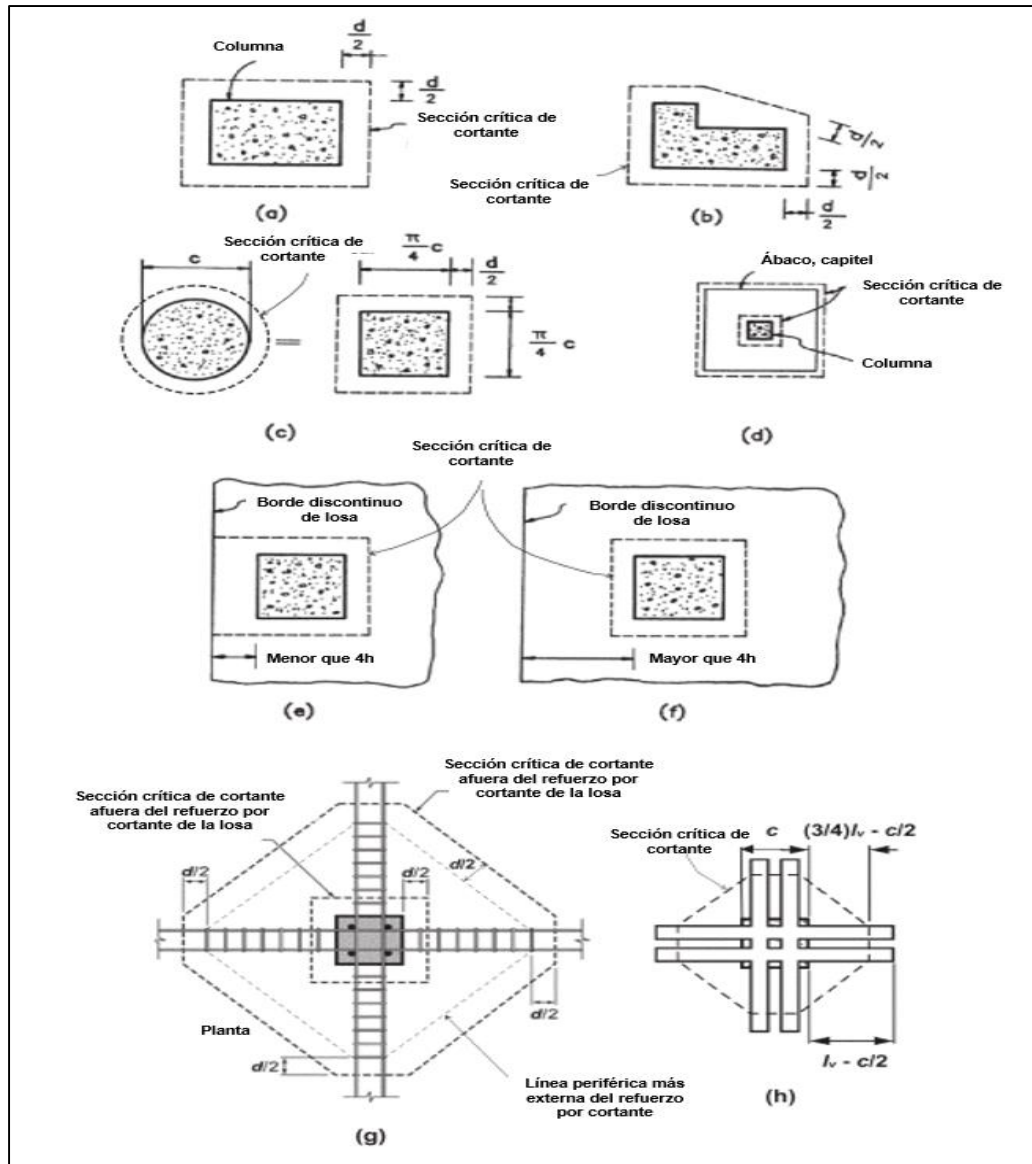


Figura 13. Ejemplos de secciones críticas de cortante

Fuente: American Concrete Institute, 2012

Modificado por Cuevillas, 2019

El American Concrete Institute (2012) clasifica las conexiones según la geometría y según el comportamiento esperado ante la aplicación de cargas. Básicamente existen dos grupos de conexiones, las interiores y las exteriores. Dentro de las exteriores se encuentran las conexiones de borde y las conexiones de esquina. En la "Guía de diseño de conexiones losa-columna en estructuras de concreto monolítico" del ACI (2012) se describen las siguientes características.

Una conexión de losa-columna es una conexión exterior si la distancia desde cualquier borde discontinuo hasta la cara de soporte más cercana es inferior a cuatro veces el grosor de la losa (h). Una conexión de borde es una conexión exterior para la cual se encuentra un borde discontinuo adyacente a una sola cara de soporte. Una conexión de esquina es una conexión exterior para la cual se encuentran bordes discontinuos adyacentes a dos caras de soporte contiguas.

Una abertura de losa vertical ubicada a menos de cuatro veces el grosor de la losa de la cara de soporte debe clasificarse como un borde discontinuo si las líneas radiales que se proyectan desde el centroide del área de soporte a los límites de la abertura encierran una longitud de la sección crítica de corte que excede la dimensión de soporte adyacente. Las aberturas o los bordes de la losa ubicados cerca del soporte interrumpen el flujo de cortante en la losa, inducen la transferencia de momento a los soportes, reducen las longitudes de anclaje disponibles y reducen el confinamiento efectivo de la junta.

Según las condiciones de carga de la conexión, estas se pueden clasificar como Tipo 1 según el ACI 352.IR-11 (2012).

(a) Tipo 1: corresponde a una conexión entre elementos que son diseñados para satisfacer los requisitos de resistencia, ductilidad y cargas de servicio del ACI 318S-14 y que no presentan deformaciones inelásticas ante un sismo. Es aceptable que las conexiones tipo 1 tengan un pandeo mínimo.

(b) Tipo 2: son aquellas diseñados para satisfacer los requisitos de resistencia, ductilidad y capacidad de servicio del ACI 318S-14 pero que pueden tener deformaciones inelásticas cuando son inducidas a un sismo. Las conexiones de tipo 2 que no forman parte del sistema sismorresistente tienen capacidad para soportar las cargas por gravedad al darse deformaciones inelásticas en el rango de moderado a significativo. Las conexiones de tipo 2 que forman parte del sistema sismorresistente deben mantener la fuerza e integridad suficiente para resistir las demandas de fuerza inducidas por terremotos, además de las cargas gravitacionales en presencia de deformaciones inelásticas. Es decir, este tipo de conexiones pueden estar sujetas a deformaciones altas en el rango inelástico sin fallar por punzonamiento. Es importante que, para estructuras asignadas a categorías de diseño sísmico alto, la conexión losa-columna debe clasificarse como tipo 2 aunque no se considere durante el diseño como parte del sistema sismorresistente

4.2.2 Principios de diseño de conexiones que transfieren cortante

La fuerza de cortante, cuando no se transfiere momento se calcula mediante la siguiente ecuación

Ecuación 5

$$V_0 = \varphi V_n = \varphi (C_v V_C + V_S)$$

Donde $\varphi = 0.75$ y V_n es la fuerza de cortante nominal que no debe exceder el siguiente valor

Ecuación 6

$$V_n < 1,6 \sqrt{f'_c} A_c$$

El valor de A_c es la sección transversal crítica de cortante y f'_c es la resistencia a compresión del concreto. El valor de C_v es un factor que depende del tipo de concreto utilizado o el tipo de conexión. Si no hay condición del Cuadro 1 aplicable al diseño, $C_v = 1$.

Cuadro 1. Factor de modificación para cortante resistido por el concreto

Condición	Factor de modificación C_v
Concreto liviano (concreto que contiene agregado fino y grueso de peso liviano)	0,75
Concreto liviano arenoso (concreto que contiene agregado grueso de peso liviano y arena de peso normal)	0,85
Conexiones tipo 2	0,75

Fuente: American Concrete Institute, 2012

Modificado por Cuevillas, 2019

Para concreto reforzado, V_C es el menor de los siguientes valores

Ecuación 7

$$V_C = \begin{cases} 0,53 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f'_c} A_c \\ 0,27 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right) \lambda \sqrt{f'_c} A_c \\ 1,1 \lambda \sqrt{f'_c} A_c \end{cases}$$

donde β es la razón entre las dimensiones larga y corta de la sección transversal de la columna. Conforme aumenta la razón β , el confinamiento debido a la compresión lateral a lo largo de la cara larga de la columna disminuye. Por lo tanto, el coeficiente β refleja la reducción de la fuerza del concreto debido a la reducción del confinamiento.

El coeficiente b_0 es el perímetro de la sección crítica para cortante en la losa, d es la profundidad efectiva de la losa, tomada como un promedio desde las fibras extremas del concreto en compresión al centroide del acero en tensión en ambas direcciones. Este valor no debe exceder $0,8h$ donde h es el espesor de la losa.

El valor de α_s es 40 para conexiones interiores, 30 para conexiones de borde y 20 para para conexiones de esquina.

Por último, λ es el factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión; $\lambda = 0,75$ para concretos de peso liviano, $\lambda = 0,85$ para concretos livianos arenosos y $\lambda = 0,75$ para concretos de peso normal.

4.2.3 Principios de diseño de conexiones que transfieren cortante y momento

El ACI 352.IR-11 (2012) también describe los principios de diseño para las conexiones que transfieren cortante y momento. Una fracción del momento de transferencia dado por $\gamma_f M_{ub}$ se transfiere por flexión en un ancho de losa efectivo entre líneas que son 1,5 veces el espesor de losa o del capitel, donde M_{ub} es el momento factorizado para ser transferido. El factor γ_f se usa para determinar el momento desequilibrado transferido por flexión en una conexión losa-columna y se calcula de la siguiente forma

Ecuación 8

$$\gamma_f = \frac{1}{1 + \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{\frac{b_1}{b_2}}}$$

donde b_1 es la dimensión de la sección crítica b_0 en la dirección para la cual se determinan los momentos y b_2 es la dimensión de la sección crítica b_0 medida perpendicular a b_1 . El valor de γ_f puede incrementarse en un 25% pero no debe superar $\gamma_f = 1,0$.

El restante del momento de transferencia $\gamma_v M_{ub}$ debe ser resistido por la excentricidad de cortante en el centroide de la sección crítica de cortante donde

Ecuación 9

$$\gamma_v = 1 - \gamma_f$$

4.3 Refuerzo por cortante

En las conexiones losa-columna se pueden agregar diversos elementos de refuerzo por cortante para mejorar la capacidad de cortante y la capacidad de desplazamiento lateral. Entre los más comunes son: estribos, pernos con cabeza y bandas de cortante y se pueden observar en la siguiente figura.

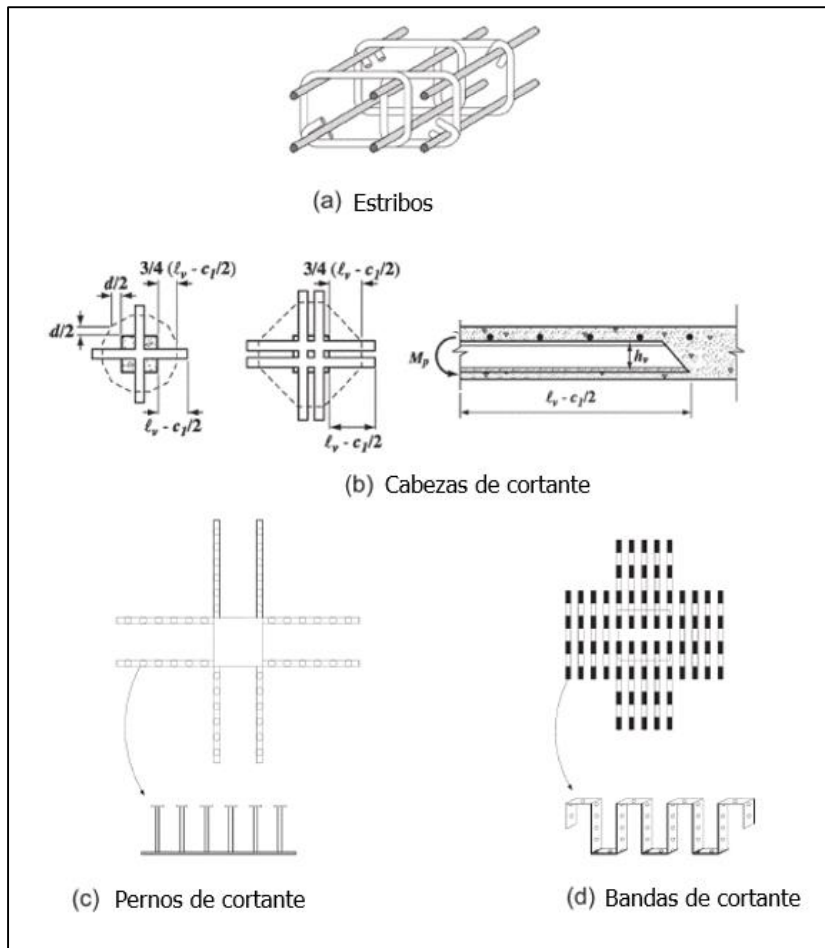


Figura 14. Tipos de refuerzo por cortante

Fuente: American Concrete Institute, 2012

Modificado por Cuevillas, 2019

De acuerdo a las especificaciones del American Concrete Institute en su "Guía de diseño de conexiones losa-columna en estructuras de concreto monolítico" (2012) las indicaciones para cada tipo de refuerzo son las siguientes:

a) Estribos de acero: los estribos de acero ubicados en la losa adyacente a la conexión losa-columna pueden ser aros cerrados de múltiples patas o estribos continuos. Para que el anclaje de los estribos sea efectivo, se requiere que cada pata vertical del estribo se acople a una barra de refuerzo longitudinal en la parte superior e inferior de la losa. También se puede usar barras dobladas que cruzan la grieta de corte prevista en conjunto con los estribos para aumentar tanto la capacidad de cortante de la conexión como la ductilidad.

b) Cabezas de cortante: pueden diseñarse para aumentar la capacidad de cortante de la losa adyacente a una conexión losa-columna.

c) Pernos de cortante: los pernos con cabeza orientados en la dirección del espesor de la losa pueden diseñarse para aumentar la capacidad de cortante de la conexión y la ductilidad de la losa adyacente a una conexión losa-columna. El área de la cabeza debe ser suficiente para desarrollar el esfuerzo del perno. Los pernos de cortante generalmente se prefabrican como un riel de pernos, donde varios pernos se unen a una sola placa, anclando un extremo del perno, mientras que el extremo opuesto se ancla con placas individuales unidas a los pernos. La investigación ha demostrado que el anclaje efectivo es proporcionado por una cabeza con un área igual a 10 veces el área de la sección transversal del perno.

d) Bandas de cortante: el refuerzo de la banda de cortante consiste en tiras de acero delgadas con agujeros circulares perforados a lo largo de la línea central. La delgada tira de acero se puede doblar en una variedad de formas. Las tiras pre-dobladas se colocan sobre la capa superior de las barras de losa superiores alrededor de la conexión losa-columna. El grosor de la tira puede variar entre 0.75-1.75 mm, y el ancho de la tira puede variar de 19-32 mm.

En la Ecuación 5, la resistencia al cortante V_s proporcionada por el refuerzo orientado perpendicular al plano de la losa se calcula con la siguiente ecuación.

Ecuación 10

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$$

donde A_v es el área de la sección transversal de todas las patas de refuerzo en un plano, que es geoméricamente similar al perímetro de la sección de la columna, f_{yt} es el límite elástico del refuerzo de cortante, que no debe superar los 60,000 psi (420 MPa), d es la distancia promedio desde la fibra de compresión extrema al centroide de refuerzo de tensión en las dos direcciones ortogonales y s es el espaciamiento del refuerzo de cortante.

El ACI 318S-14 (2014) incluye un refuerzo por cortante mínimo descrito por la siguiente ecuación

Ecuación 11

$$V_s \geq 0,29\sqrt{f'_c} A_c$$

donde A_c es área de la sección de concreto que resiste la transferencia de cortante.

4.4 Relación entre resistencia del concreto y deriva lateral

El ACI 352.IR-11 (2012) determina límites de capacidad de deriva para las conexiones tipo 2 sin refuerzo. En el ACI 318S-14 (2015) se muestra el siguiente gráfico donde se delimitan las derivas y capacidad de una conexión losa-columna.

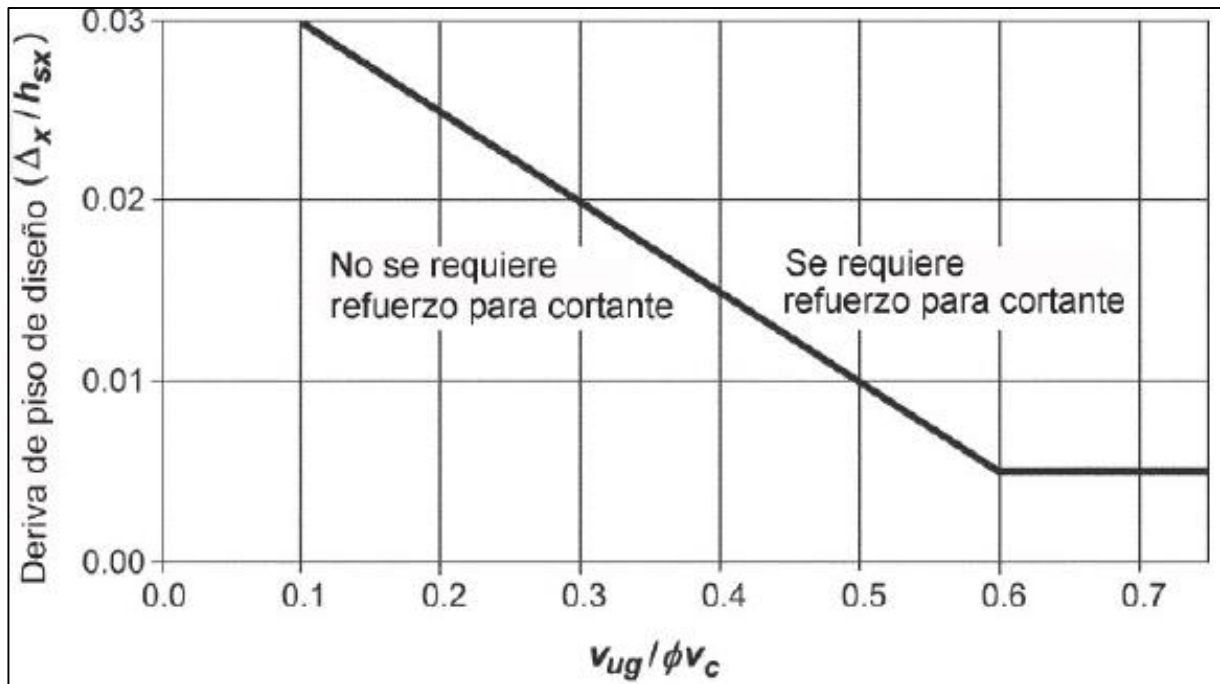


Figura 15. Razón de derivas en función del cortante de gravedad

Fuente: American Concrete Institute, 2015

De la Figura 15 se evidencia que conforme aumenta la razón de deriva en la conexión losa columna, las capacidades de la conexión disminuyen, por lo que se obliga a usar una capacidad de cortante de gravedad menor para la sección determinada. Dado que la resistencia del concreto al cortante por punzonamiento disminuye con el aumento de la deriva lateral, es importante estimar con mayor certeza las derivas laterales en este tipo de sistema.

Para las conexiones losa-columna en concreto reforzado sin refuerzo de cortante, la máxima razón de deriva se calcula mediante las siguientes ecuaciones

Ecuación 12

$$DR = \begin{cases} 0,035 - 0,05 VR & \text{para } 0 \leq VR < 0,6 \\ 0,005 & \text{para } 0,6 \leq VR < 1 \end{cases}$$

La primera expresión corresponde a la línea recta de la Figura 15, mientras que la segunda parte del gráfico es una constante con valor de 0,005.

Para las conexiones losa-columna postensadas sin refuerzo de cortante, la máxima razón de deriva se calcula mediante las siguientes ecuaciones

Ecuación 13

$$DR = \begin{cases} 0,045 - 0,05 VR & \text{para } 0 \leq VR < 0,6 \\ 0,015 & \text{para } 0,6 \leq VR < 1 \end{cases}$$

El término VR es la razón de cortante de gravedad aplicada al área tributaria de la conexión y se define con la siguiente ecuación

Ecuación 14

$$VR = \frac{V_{ug}}{\phi V_c}$$

donde V_c se calcula con la Ecuación 7 y el cortante de gravedad V_{ug} se determina usando la siguiente combinación de carga

Ecuación 15

$$CU = 1,2D + 1,0L + 0,2S$$

donde D es la carga muerta, L es la carga viva y S es el sismo.

El ACI 318S-14 (2015) en su capítulo 18 establece que los requisitos para refuerzo de cortante en las conexiones losa-columna intentan reducir la posibilidad de que se produzca una falla de

cortante por punzonamiento de la losa si la deriva de piso de diseño excede el valor especificado en las fórmulas anteriores. Si se superan los valores indicados (por encima de la línea continua), la normativa exige que se agregue refuerzo de cortante a la losa, aumentando el espesor de la losa, cambiando el diseño para reducir la deriva de piso de diseño, o una combinación de las anteriores. Si se utilizan capiteles, ábacos, descolgados para cortante, u otros cambios en el espesor de la losa se deben evaluar las condiciones en las secciones potencialmente críticas.

Durante las últimas cuatro décadas, se han estudiado las conexiones entre losas y columnas. Dentro de los aportes más relevantes que se han encontrado (Pan y Moehle 1988; Luo y Durrani 1995) es que la deriva máxima a la que fallará una conexión interior puede estimarse a partir de la relación de cortante por gravedad $\frac{V_{ug}}{\phi V_c}$.

En las siguientes figuras se muestran los resultados de un experimento que se realizó con conexiones losa-columna interiores para concreto reforzado con y sin refuerzo por cortante. Posteriormente se muestra la comparación de resultados en una misma gráfica para las conexiones de concreto reforzado (RC). Por último, se muestran los resultados obtenidos para el mismo ensayo, pero con conexiones losa-columna interiores para losas postensadas (PT).

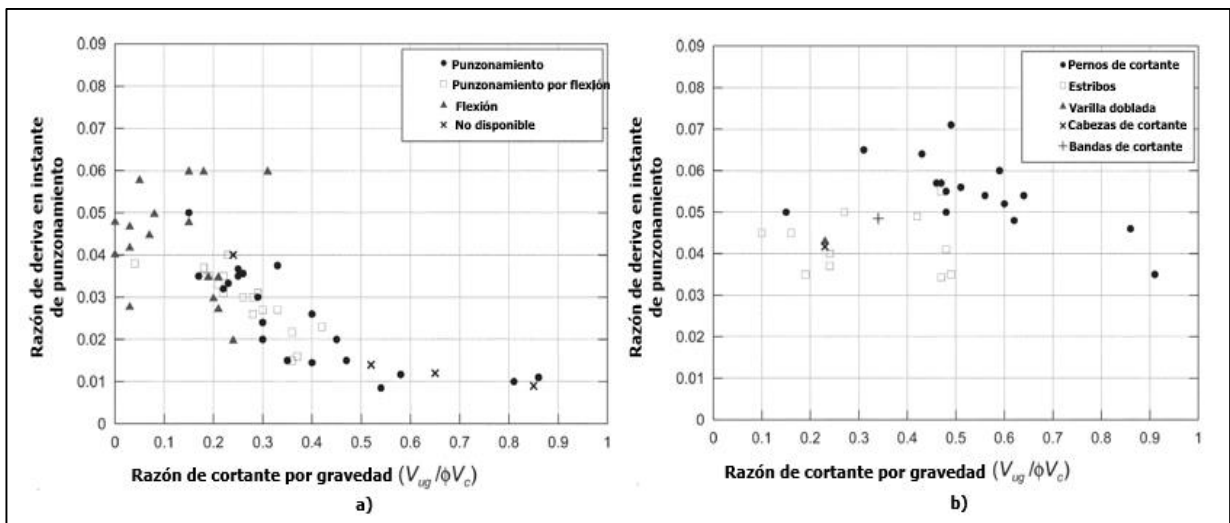


Figura 16. a) Experimento para conexiones losa-columna interiores de concreto reforzado sin refuerzo de cortante b) Experimento para conexiones losa-columna interiores de concreto reforzado con refuerzo de cortante

Fuente: American Concrete Institute, 2012

Modificado por Cuevillas, 2019

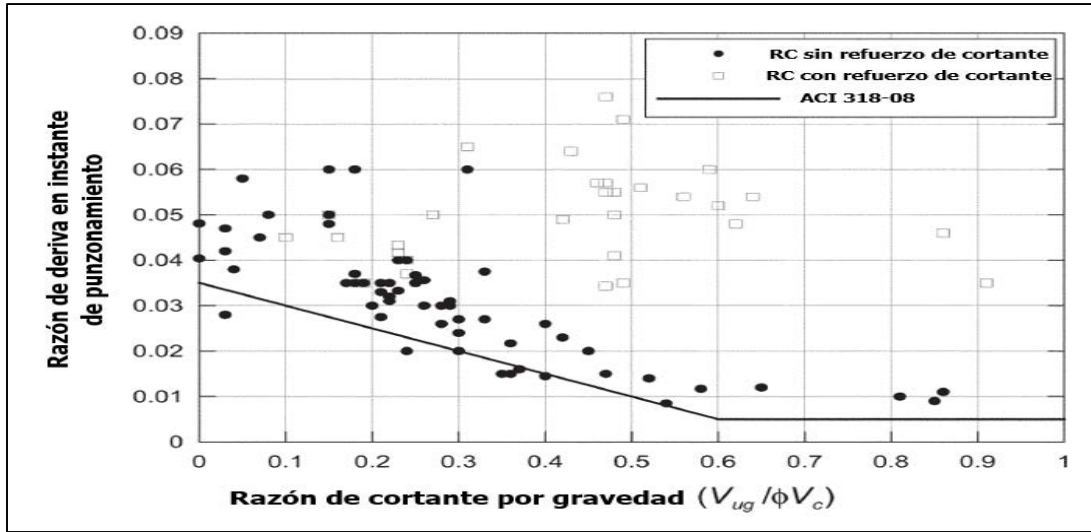


Figura 17. Comparación de los límites del ACI 318-08 de los resultados de las conexiones losa-columna para losas de concreto reforzado

Fuente: American Concrete Institute, 2012

Modificado por Cuevillas, 2019

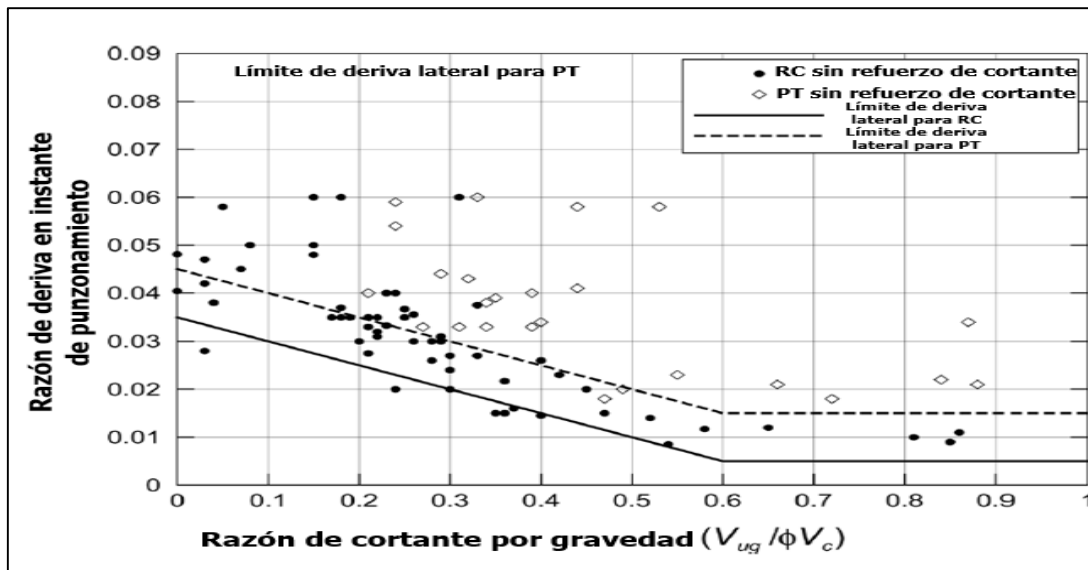


Figura 18. Comparación de los resultados de las conexiones losa-columna para losas de concreto y postensadas

Fuente: American Concrete Institute, 2012

Modificado por Cuevillas, 2019

Basado en los gráficos anteriores, el ACI 352.IR-11 (2012) concluye que las líneas de tendencia sugieren que las conexiones PT pueden mantener relaciones de deriva laterales más altas antes del punzonamiento que las conexiones RC comparables, sin refuerzo de cortante y bajo una variedad de tipos de carga. Las mayores capacidades de deriva se deben en parte a las mayores relaciones entre el ancho y el espesor (l/h) que se utilizan en la construcción de losas de PT, generalmente alrededor de 40, frente a aproximadamente 25 en la construcción de RC. Ese aumento hace que los sistemas PT sean más flexibles que los sistemas RC bajo deformaciones laterales, a pesar de que es probable que una losa PT esté menos agrietada. Las mayores capacidades de deriva también se deben en parte al aumento de la resistencia al corte V_c de la conexión entre losas y columnas como resultado de las tensiones de compresión generadas por los tendones de postensado.

4.5 Rigidez lateral

Como se ha mencionado, la unión de la losa-columna es una zona crítica. Por lo tanto, es de esperar que las mayores curvaturas y momentos de losas para cargas gravitacionales se concentran en las zonas adyacentes a las columnas, donde se concentran esfuerzos. Según (Moehle, 2014) **“las curvaturas decrecen conforme se aumenta la distancia transversal desde la columna. Por lo tanto, el refuerzo por flexión debería concentrarse cerca de las columnas”**.

Moehle (2014) indica que la rigidez lateral de la unión losa-columna se reduce por los efectos de las grietas en la losa. Las grietas se producen por la restricción de cambios de volumen y la aplicación de cargas externas. Las cargas de construcción aplicadas a una edad temprana en la losa pueden ser muy dañinas, pues tienden a incrementar no solo el tamaño y ancho de las grietas, sino también su cantidad en área de losa.

4.6 Ductilidad, distorsiones y sobrerresistencia

Según Arellano & González (2014) en su artículo DUCTILIDADES Y DISTORSIONES DE FALLA EN LOSAS PLANAS POSTENSADAS REFORZADAS CON PERNOS CONECTORES DE CORTANTE

Se realizaron pruebas experimentales de cinco especímenes de la conexión columna-losa postensada aligerada, para determinar el modo de falla, las distorsiones y ductilidades locales. Las variables del ensaye fueron 1) el refuerzo en forma de estribos o de pernos conectores de cortante, 2) la separación del refuerzo por cortante, 3) la relación entre la carga gravitacional aplicada, V_u y la carga que genera la penetración por cortante en una losa sin refuerzo por

cortante, V_{cR} . Se estudió especialmente la ductilidad de las conexiones debido a que generalmente este tipo de estructuras se consideran de mediana o baja ductilidad debido a que la penetración por cortante es una falla frágil.

Las losas planas se diseñan por flexión y se revisan por cortante. La revisión por cortante por punzonamiento es crítica en las uniones losa-columna, ya que generalmente esta es la sección de falla en este sistema. Cuando únicamente actúa carga axial, se generan esfuerzos cortantes en la sección crítica alrededor de la columna. En este caso, la falla es frágil, ya que el esfuerzo que se genera supera el cortante por penetración del concreto. Cuando se agrega refuerzo a la conexión, la sección crítica se aleja de la columna.

También se puede dar el caso en que actúan fuerzas cortantes y momentos. Cuando el esfuerzo máximo desarrollado en la sección crítica supera al esfuerzo resistente del concreto, la falla no es frágil y la ductilidad depende de los esfuerzos aplicados: carga axial, fuerza cortante y momento flexionante.

Dentro de las principales observaciones y conclusiones que se obtuvieron del estudio se encuentran:

- El tipo de falla que predominó en las pruebas fue el cortante por punzonamiento.
- La distorsión asociada a la falla se encuentra en el orden del 2%.
- Al estudiar el agrietamiento de los especímenes, se pudo identificar en la mayoría de los casos patrones de grietas que describen un cono truncado característico de la falla de penetración por cortante.
- Se comprobó que la distorsión de falla depende del nivel de carga gravitacional aplicado (P_u/V_{cR}).
- Se tiene una relación inversamente proporcional entre carga aplicada y distorsión de falla, es decir, cuanto mayor sea la carga aplicada, menor será la distorsión de falla.

Capítulo 5: Metodologías de análisis y desplazamientos límite

5.1 Aspectos generales

El CSCR-10 (2010) enlista las siguientes consideraciones en el capítulo 7 para el modelado de estructuras:

- a) En el análisis de edificios, para el cálculo de desplazamientos y acciones internas, se toman en cuenta los desplazamientos horizontales de los sistemas sismorresistentes en cada nivel y las rotaciones en todas las uniones. Los desplazamientos verticales de las uniones se deben tomar en cuenta cuando su efecto incida significativamente en las fuerzas internas y en los desplazamientos horizontales.
- b) Se debe verificar la rigidez y la capacidad de los diafragmas de entrepiso para transmitir las fuerzas sísmicas a los sistemas sismorresistentes verticales o inclinados.
- c) La rigidez axial de las vigas que sean parte de diafragmas rígidos se puede considerar infinita. El modelo debe incluir las condiciones reales de las masas en cada planta, que se pueden considerar concentradas a nivel de entrepiso.
- d) Los nudos de unión viga-columna o viga-muro se pueden considerar como elementos infinitamente rígidos de dimensiones iguales a las reales, de tal manera que la longitud libre de los elementos se considere cara a cara de los nudos. Alternativamente, la rigidez de los nudos se puede modificar de tal manera que incluya la deformación propia del nudo, pero se debe mantener la invariabilidad del ángulo de unión de los ejes del nudo.
- e) Toda estructura debe ser diseñada para solicitaciones sísmicas horizontales en dos direcciones ortogonales. El análisis para la solicitación sísmica en cada dirección se puede realizar en forma independiente. Para los métodos estático y dinámico descritos en la siguiente sección, las solicitaciones sísmicas horizontales se toman como la suma vectorial de los efectos en una dirección más el 30% de los efectos en la otra y se debe efectuar este procedimiento en ambas direcciones.

5.2 Consideraciones y límites de desplazamientos y derivas

Cuando se analizan estructuras utilizando los métodos estático o dinámico, el CSCR-10 propone ecuaciones para estimar los desplazamientos horizontales en cada nivel y las derivas, considerando las deformaciones en el rango elástico, necesarias para absorber y disipar energía. Las expresiones se definen a continuación:

Ecuación 16

$$\delta_i = \alpha \mu SR \delta_i^e$$

Ecuación 17

$$\Delta_i = \mu SR \Delta_i^e$$

donde δ_i corresponde al desplazamiento inelástico absoluto horizontal del nivel i , Δ_i es la deriva inelástica o desplazamiento inelástico relativo horizontal entre el nivel i y el nivel adyacente inferior, μ es la ductilidad global asignada y δ_i^e , Δ_i^e son los desplazamientos elásticos absolutos del nivel i y deriva elástica entre el nivel i y el nivel adyacente inferior respectivamente, calculados por medio del método estático o dinámico. El valor de α se elige con el siguiente cuadro, de acuerdo con el tipo de estructura analizada y supone que, para estructuras con más de un piso, es poco probable que se desarrolle la ductilidad global asignada simultáneamente en todos los niveles.

Cuadro 2. Factor de desplazamiento inelástico, α

Tipo de estructura	Factor α
tipo marco	0,7
tipo dual	0,7
tipo muro	0,7
tipo voladizo	1,0
tipo otros	1,0

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica, 2010

Modificado por Cuevillas, 2019

En la nueva versión del Código se incluirá una línea al cuadro anterior que asignará un valor de $\alpha = 1,0$ para estructuras tipo mixto con losas planas.

La razón de deriva inelástica Δ_i/H_i es la razón del desplazamiento inelástico relativo de cualquier nivel con respecto al nivel adyacente inferior dividido por la altura entre estos niveles. A continuación, se presentan los límites superiores de la razón de deriva inelástica que deben respetarse, independientemente del método de análisis que se utilice. Estos límites se deben verificar en los puntos de mayor desplazamiento relativo de cada nivel.

Cuadro 3. Límite superior de la razón de deriva inelástica, Δ_i/H_i , según categoría de edificación y sistema estructural

Sistema estructural	Edificaciones A y C (limitación especial)	Edificaciones B, D y E (limitación normal)
tipo marco	0,0125	0,020
tipo dual	0,0125	0,018
tipo muro	0,0100	0,010
tipo voladizo	0,0125	0,020
tipo otros	0,0065	0,010

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica, 2010

Modificado por Cuevillas, 2019

Nota: $H_i = h_i - h_{i-1}$, altura entre el nivel de piso i y el nivel adyacente inferior.

Se debe recordar que las edificaciones tipo A son las esenciales, las tipo B son las riesgosas, tipo C son las de ocupación especial, tipo D son edificaciones de ocupación normal y, por último, las tipo E son las edificaciones misceláneas. Para mayor detalle de la ocupación o función de cada tipo de edificación puede referirse a la tabla 4.1 del CSCR-10.

En edificios de categoría B, D o E diseñadas con ductilidad local óptima, el CSCR-10 permite incrementar los límites superiores de las razones de deriva inelástica hasta un 50%. En este caso, se debe utilizar el método de capacidad espectral o el método no lineal dinámico de respuesta en el tiempo y se debe considerar el efecto $P - \Delta$.

5.3 Método estático

En el capítulo 7 del CSCR-10 (2010) se indica que los métodos estático y dinámico “**permiten estimar, mediante análisis elásticos, las fuerzas internas y los desplazamientos laterales de estructuras que se deforman en el rango elástico**”. La demanda sísmica que se contempla en el análisis considera la sobrerresistencia, la ductilidad global asignada y el factor espectral dinámico (FED). En los comentarios del Código se dice que este método consiste en considerar únicamente un primer modo de oscilación y aproximarlos como proporcional a la altura, y calcular así las fuerzas sísmicas laterales y sus correspondientes desplazamientos y fuerzas internas mediante un análisis elástico y lineal.

En la misma sección se describe el método estático como aquel que cuantifica los efectos del sismo sobre la edificación mediante el análisis elástico-lineal del sistema estructural solicitado por un conjunto de fuerzas estáticas horizontales aplicadas en cada uno de sus niveles. El valor de estas fuerzas es el resultado de suponer un primer modo de oscilación cuyos componentes en cada entrepiso son proporcionales a su altura y un cortante en la base igual al producto del coeficiente sísmico por el peso total de la edificación, el cual se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 18

$$V = C W$$

Donde V es el cortante en la base o sumatoria de todas las fuerzas sísmicas horizontales en cada dirección ortogonal, C es el coeficiente sísmico y W es el peso total de la edificación.

Para hacer una estimación inicial del coeficiente sísmico, el Código presenta unas ecuaciones para suponer un período de vibración o fundamental (en segundos), donde N corresponde al número total de pisos

- $T = 0,12N$, para edificios tipo marco formados exclusivamente por marcos de acero.
- $T = 0,10N$, para edificios tipo marco formados exclusivamente por marcos de concreto.
- $T = 0,08N$, para edificios tipo dual con sistemas duales de marcos y muros estructurales, marcos arriostrados o muros de mampostería.
- $T = 0,05N$, para edificios tipo muro formados, exclusivamente, por muros estructurales o marcos.

La distribución de las fuerzas sísmicas por nivel se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 19

$$F_i = V \frac{W_i h_i}{\sum_{k=1}^N W_k h_k}$$

donde F_i es la fuerza sísmica aplicada en el centro de masa de cada nivel i , h_i es la altura del nivel i sobre el nivel de base.

Dentro de las limitaciones de este método es que solo aplica para edificios regulares en planta y en altura, y para edificios menores a seis pisos ni altura máxima de 20 metros. El límite impuesto se debe a que, para edificios que cumplan con las características anteriores, la respuesta de estos tiene que tomar en cuenta la participación de otros modos de oscilación. A

pesar de que este método puede ser utilizado para analizar alguna de las edificaciones objeto de esta tesis, debido a que este es un procedimiento simplificado, se decidió no aplicarlo del todo en esta investigación.

5.4 Método dinámico

El método dinámico, según el CSCR-10 es un método de superposición modal espectral que supone un comportamiento elástico y lineal de la estructura y se calculan sus modos de oscilación y sus correspondientes períodos. De acuerdo con el inciso 7.5.2.d del CSCR-10, el número mínimo de modos a considerar debe ser tal que la masa efectiva oscilante acumulada sea al menos el 90% de la masa total para las sollicitaciones sísmicas en cada dirección ortogonal.

Además, se indica que para cada modo de oscilación significativo se determinan las acciones internas (momentos de flexión, fuerzas axiales y cortantes y momentos de torsión) en los elementos, así como los desplazamientos horizontales en cada nivel, los desplazamientos relativos entre los niveles superior e inferior de cada sistema sismorresistente y las reacciones en las fundaciones. Para las estructuras regulares en planta, el valor combinado para un diseño correspondiente a una acción interna puede calcularse con la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores correspondientes a cada modo significativo, si los períodos de oscilación están bien separados entre sí. Alternativamente, si las estructuras son irregulares en planta y los períodos de oscilación están próximos entre sí, se utilizará la combinación cuadrática completa.

5.5 Método de capacidad espectral

En su tesis del 2002, el ingeniero Bravo indica que el **método del "pushover" fue desarrollado** inicialmente por Kanaan y Powell en 1973. Además, describe el procedimiento básico que implica realizar una secuencia de análisis con cargas laterales que se incrementan de manera monótona para simular la historia de carga de la estructura. El edificio **es "empujado"** lateralmente dentro del rango inelástico hasta que ocurra la falla total o el colapso. Las cargas verticales se aplican como cargas constantes desde el inicio del proceso, y posteriormente se aplican las cargas horizontales en forma incremental. Cada uno de los análisis de la secuencia es estático, pues no se consideran las características dinámicas de inercia ni amortiguamiento, pero la rigidez de la estructura se modifica conforme se forman las rótulas plásticas, por lo que se trata de un método no lineal estático.

El método de capacidad espectral permite analizar estructuras más allá de su rango elástico y las solicitaciones sísmicas deben ser aplicadas en dos direcciones horizontales ortogonales entre sí. Este método se basa en parámetros espectrales como desplazamiento o aceleración para hacer un análisis no lineal simplificado. El método se ha utilizado para hacer análisis o evaluación de daños estructurales y no estructurales en edificios y para la rehabilitación también.

En el análisis estructural, muchas de las técnicas se basan en comparar un parámetro de demanda con un parámetro de capacidad. Para diseño sísmico, por lo general, se utiliza el esfuerzo cortante como parámetro y este es calculado en la base de una estructura. El cortante es la demanda generada por un evento como un terremoto y este valor se compara con la capacidad del edificio.

En el diseño tradicional, las fuerzas del sismo se reducen de manera artificial, para mantener el diseño en el rango elástico. Cuando se trabaja en el dominio post elástico, la generalización de la capacidad como una fuerza hace difícil la caracterización del nivel de daño para distintas partes del edificio, a partir del momento que el daño es progresivo, causando la plastificación de algunos elementos. Como consecuencia, aparece una redistribución de esfuerzos, y la demanda inelástica depende de cada componente. De esta manera, el daño es más sensible al desplazamiento que a la fuerza en el rango post elástico. (Chiroiu, Goula, Susagna, Barbat, & Pujades, 2001)

Adicionalmente, la aceleración también puede influir en el comportamiento de algunos componentes, por lo que la respuesta inelástica puede modificar de manera importante la aceleración en distintos niveles. Por lo tanto, el método de capacidad espectral tiene como parámetro de diseño el desplazamiento de demanda y de capacidad **y "caracteriza la demanda inicial utilizando un espectro elástico con amortiguamiento de 5% y que la reduce para un amortiguamiento efectivo mayor, teniendo en cuenta el efecto de la disipación de energía"** (Chiroiu, Goula, Susagna, Barbat, & Pujades, 2001). A continuación, se presenta un esquema del proceso.

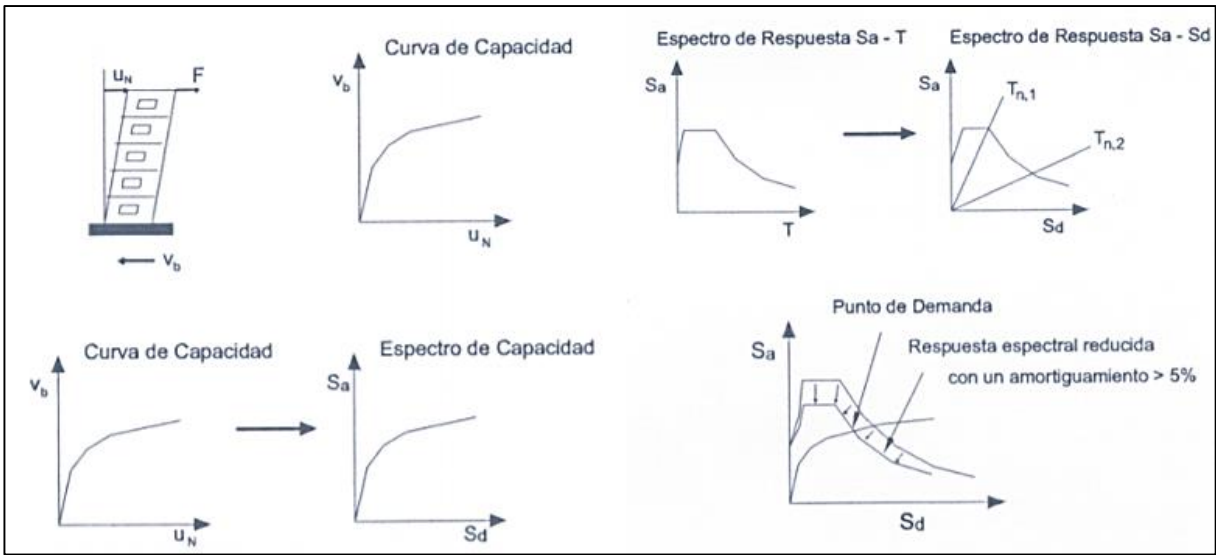


Figura 19. Diagrama del método de capacidad espectral

Fuente: Chiroiu, Goula, Susagna, Barbat, & Pujades, 2001

El Código (2010) define una serie de pasos para la aplicación del método de capacidad espectral donde se utilizan espectros inelásticos de ductilidad constante expresados en gráficos S_a - S_d . Textualmente de la sección 7.7.2, el procedimiento es el siguiente:

- a. Se calculan los espectros inelásticos de aceleraciones para ductilidad constante S_a , para cada ductilidad global μ y para un período T , considerada en los gráficos FED . Estos valores, expresados como fracción de la gravedad $\frac{S_a}{g}$ equivalen al coeficiente sísmico C . En este método alternativo de análisis se usa un factor de sobrerresistencia $SR=1,0$. Para obtener S_a en unidades de aceleración (longitud sobre tiempo al cuadrado), se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 20

$$S_a = C g$$

- b. Los valores del espectro inelástico de desplazamientos para ductilidad constante, S_d , para una ductilidad global μ y para un período T , correspondientes a cada valor S_a de los espectros inelásticos de aceleraciones se calculan mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 21

$$S_d = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 S_a \mu$$

- c. Con los valores de S_a y sus correspondientes S_d se grafican los espectros inelásticos de ductilidad constante en coordenadas S_a y S_d (S_a en la ordenada y S_d en la abscisa) para cada ductilidad μ . De esta manera, se obtiene la familia de espectros de ductilidad constante S_a - S_d correspondientes a la zona sísmica y al sitio de cimentación de la edificación.
- d. Mediante un análisis no lineal estático con incremento monotónico de fuerzas laterales (en inglés, análisis tipo "pushover") se obtiene al curva de capacidad de la estructura, la cual se representa en un gráfico de cortante en la base contra desplazamiento en el techo. Dado que la curva de capacidad ante cargas laterales corresponde a las capacidades nominales sismorresistentes, estas se deben incrementar por la sobrerresistencia $SR=1,2$ para obtener las capacidades reales sismorresistentes. Seguidamente, se determina el punto de cedencia equivalente, correspondiente al cambio de pendiente en una aproximación bilineal de la curva de capacidad. Las fuerzas internas nominales en los elementos, correspondientes a los respectivos desplazamientos horizontales en la curva de capacidad, no se incrementan por el factor de sobrerresistencia $SR=1,2$. En la siguiente figura se observa una curva de capacidad real sismorresistente.

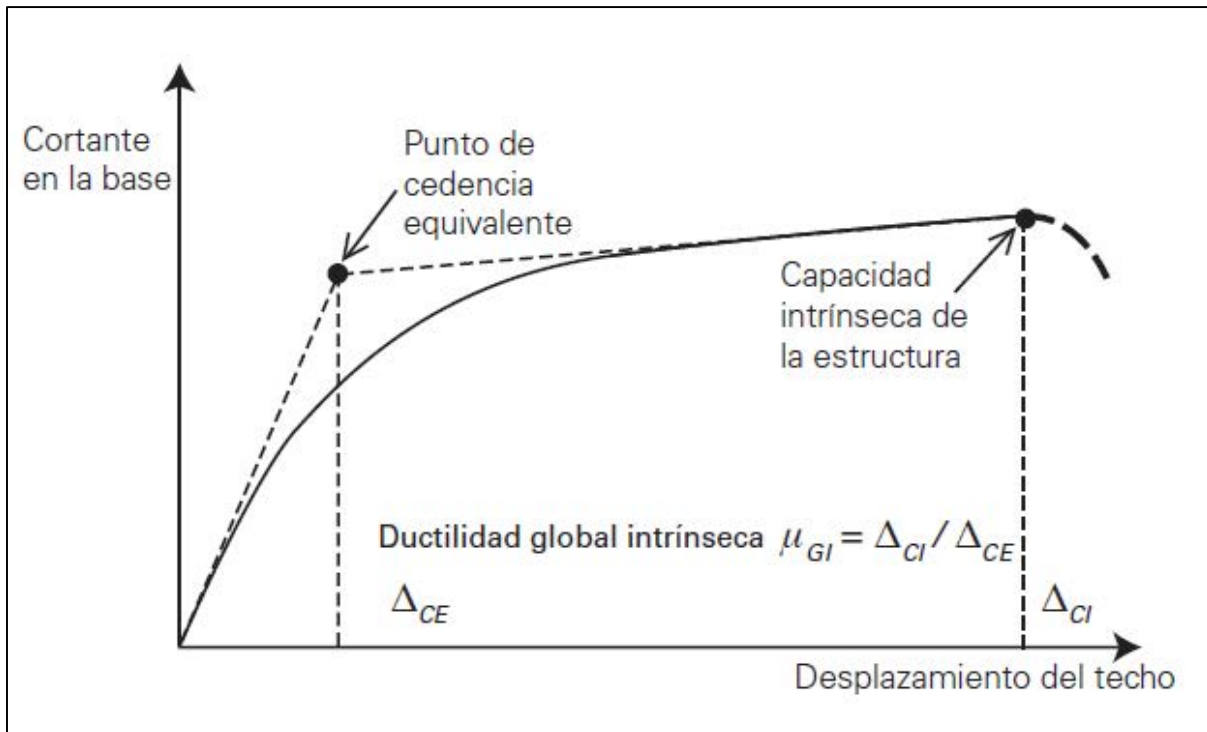


Figura 20. Curva de capacidad de la estructura. Estimación del punto de cedencia

equivalente, de la capacidad intrínseca de la estructura y de su ductilidad global intrínseca

Fuente: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2013

Dado que el Código no especifica un procedimiento para trazar la bilineal, se refirió al ASCR 41-13 en la sección 7.4.3.2.4 donde se indica que el primer segmento interseca la curva de capacidad en $0,6V_y$ donde V_y es el el cortante basal en el punto de cedencia. El segundo segmento interseca el primer segmento en el punto de cedencia y termina en el punto donde se da el cortante máximo, de manera que el área bajo la curva de la aproximación bilineal sea igual que el área bajo la curva de capacidad. En la siguiente figura se muestra gráficamente el procedimiento para trazar la bilineal. (American Society of Civil Engineers, 2017)

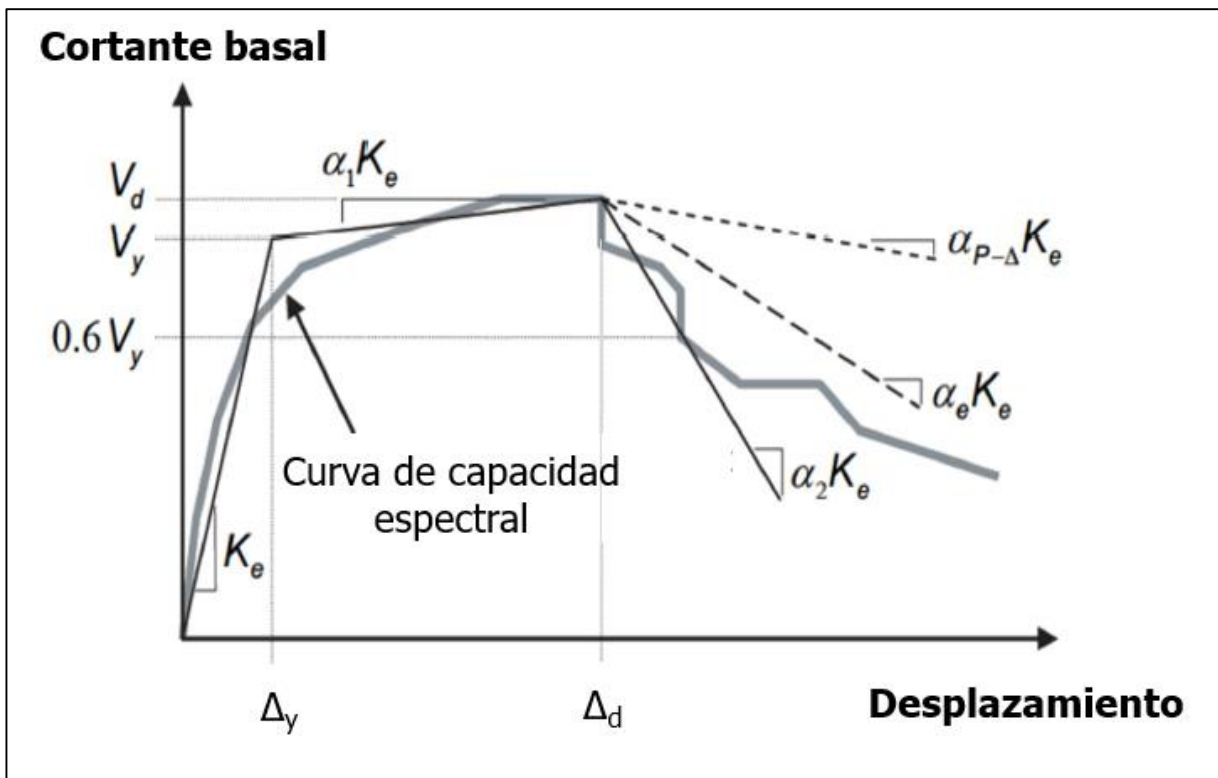


Figura 21. Procedimiento para trazar bilineal según ASCE41-17

Fuente: American Society of Civil Engineers, 2017

Modificado por Cuevillas, 2020

- e. Se determina el conjunto de desplazamientos laterales de la estructura para los cuales alcanza su capacidad intrínseca; esto ocurre al alcanzar sus límites de capacidad de

carga o deformación, conforme a los criterios de desempeño que fueron establecidos previamente para esta edificación en aquellos elementos, uniones, y componentes estructurales cuyo comportamiento sea determinante para asegurar el desempeño deseado de la edificación. Este conjunto de desplazamientos representa la capacidad intrínseca de desplazamientos laterales de la estructura. La ductilidad global intrínseca se obtiene al dividir el punto correspondiente a esta condición en la curva de capacidad por el valor correspondiente a esta condición en la curva de capacidad por el valor correspondiente al punto de cedencia equivalente. Es conveniente, pero no indispensable, que esta ductilidad sea mayor o igual a la ductilidad global asignada a la estructura.

- f. Mediante la aplicación de principios básicos del análisis estructural para sistemas representados con un único modo de oscilación, se escalan la ordenada y la abscisa de la curva de capacidad para que correspondan a valores de los espectros S_a y S_d respectivamente, y se obtiene así la curva de capacidad espectral de la estructura. El cortante en la base es proporcional al espectro de aceleraciones y el desplazamiento inelástico en el nivel superior lo es al espectro inelástico de desplazamiento, conforme a las siguientes ecuaciones.

Ecuación 22

$$S_a = \Lambda V_b$$

donde

Ecuación 23

$$\Lambda = g \frac{[\sum_{k=1}^N W_k (\varphi_k)_1^2]}{[\sum_{k=1}^N W_k (\varphi_k)_1]^2}$$

Ecuación 24

$$S_d = \frac{\Delta_{techo}}{\eta_1 (\varphi_N)_1}$$

donde

Ecuación 25

$$\eta_1 = \frac{[\sum_{k=1}^N W_k (\varphi_k)_1]^2}{[\sum_{k=1}^N W_k (\varphi_k)_1^2]}$$

En estas ecuaciones:

S_a y S_d son los valores espectrales de aceleración y desplazamiento inelástico correspondientes respectivamente a cada valor de V_b y Δ_{techo} de la curva de capacidad.

V_b y Δ_{techo} son el cortante en la base y el desplazamiento en el techo en cada punto de la curva de capacidad.

$(\varphi_k)_1$ son los valores del primer modo en el nivel k .

W_k es el peso asignado al nivel k para efectos sísmicos.

g es la constante de la gravedad.

Debe tenerse presente que estas transformaciones suponen que la respuesta inelástica de la estructura está determinada fundamentalmente por su primer modo de oscilación.

- g. Se determina el punto de desempeño de la estructura, definido como el punto en cual la curva de capacidad espectral interseca a aquella curva del espectro S_a-S_d correspondientes a una ductilidad aproximadamente igual a la ductilidad global de la estructura en dicho punto, calculada como el cociente entre el desplazamiento del punto de desempeño y el punto de cedencia equivalente. Esta ductilidad es la ductilidad global requerida o demanda de ductilidad impuesta por el sismo de diseño a la estructura.

Según los Comentarios del Código Sísmico (2013) “la transformación de la curva de capacidad a la curva de capacidad espectral es muy conveniente pues permite visualizar, en un mismo gráfico, la demanda sísmica, representada por el espectro $S_a - S_d$, y la capacidad real, representada por la curva de **capacidad espectral real**”.

A manera de ejemplo, el Código en sus Comentarios (2013) presenta la siguiente figura donde el punto de desempeño $S_d \approx 0,1m$ corresponde a una ductilidad global de 1,7. Esta se obtiene tanto de dividir 0,1m por el 0,06m del punto de cedencia equivalente, como de calcularla como la interpolación entre las curvas correspondientes a ductilidades de 1,5 y 2 en los espectros $S_a - S_d$.

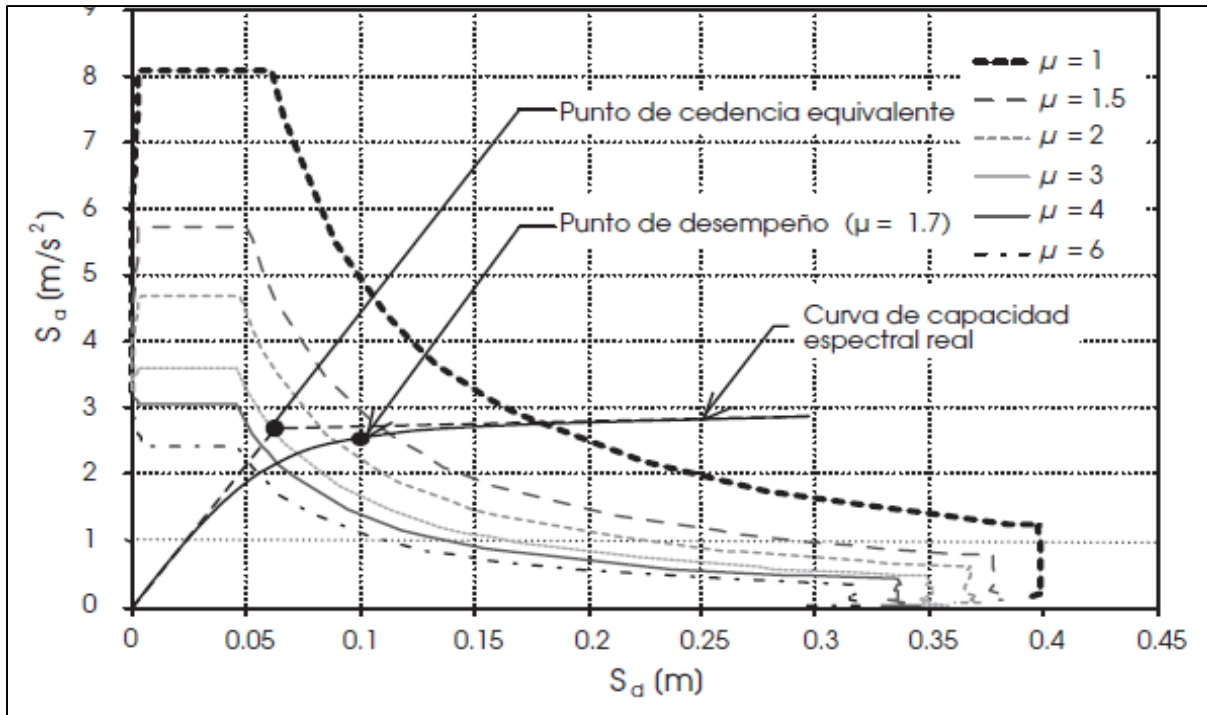


Figura 22. Determinación gráfica del punto de desempeño para zona III, sitio tipo S2

Fuente: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2013

- h. Se verifica que la ductilidad global requerida sea menor o igual al 70% de la ductilidad global intrínseca de la estructura. De acuerdo a los Comentarios del Código (2013), **“este factor solo aplica para el objetivo de desempeño de seguridad de vida, ya que a nivel operativo no se esperan grandes demandas de ductilidad”**.
- i. Mediante la aplicación básica de principios básicos del análisis estructural para sistemas representados con un único modo de oscilación, se calculan los valores del cortante en la base y del desplazamiento en el techo correspondientes a los valores S_a y S_d del punto de desempeño, mediante una transformación inversa de la Ecuación 22 y Ecuación 24:

Ecuación 26

$$V_b = \frac{S_a}{\Lambda}$$

Ecuación 27

$$\Delta_{techo} = [\eta_1(\varphi_N)_1] S_d$$

- j. Se verifica que los desplazamientos relativos entre niveles correspondientes al desplazamiento en el techo para el punto de desempeño no excedan los límites del Cuadro 3. Los desplazamientos absolutos y relativos, correspondientes al punto de desempeño, se obtienen de la información generada en el análisis tipo pushover correspondientes a ese punto.
- k. Si se desea recobrar la capacidad nominal sismorresistente de la estructura, se debe reducir el cortante en la base correspondiente al punto de desempeño, dividiéndolo por el valor de sobrerresistencia $SR=1,2$ definido para los métodos alternos de análisis.

5.5.1 Criterios de aceptabilidad de desempeño

El ATC-40 (1996) indica que un objetivo de desempeño especifica el rendimiento sísmico deseado para una estructura y el rendimiento se describe mediante la designación del estado de daño máximo permitido (nivel de rendimiento) para una aceleración de sismo específica. Las condiciones de aceptabilidad dependen del daño estructural y físico que presente el edificio, de la amenaza que represente para la seguridad de vida de los ocupantes del edificio y la servibilidad del mismo posterior a un sismo. Los límites de desempeño estructurales se definen a continuación y se traducen textualmente del ATC-40:

- Ocupación inmediata (IO, por sus siglas en inglés): el estado posterior al sismo donde sólo ha ocurrido un daño estructural limitado. Los sistemas que resisten las fuerzas verticales y laterales mantienen prácticamente todas sus características y capacidades previas al sismo. El riesgo de lesiones mortales por fallas estructurales es insignificante, y el edificio es seguro para una entrada, salida y ocupación de personas.
- Seguridad de vida (LS): el estado de daño posterior al terremoto en el que puede haber ocurrido un daño significativo a la estructura pero en el que permanece algún margen contra el colapso estructural total o parcial. Los componentes estructurales principales no se han desalojado ni caído, lo que amenaza la seguridad de la vida dentro o fuera del edificio. Si bien pueden ocurrir lesiones durante el terremoto, el riesgo de lesiones mortales por daños estructurales es muy bajo. Debería esperarse que probablemente sea necesario realizar reparaciones estructurales extensas antes de volver a ocupar el edificio, aunque el daño puede no siempre ser económicamente reparable. Se pretende que este nivel de rendimiento estructural sea menor que el nivel de rendimiento esperado de edificios nuevos que cumplan con los códigos.

- Estabilidad estructural o prevención de colapso (CP): este nivel es el estado limitante de daño estructural posterior al sismo en el que el daño estructural del edificio está a punto de experimentar un colapso parcial o total. Se ha producido un daño sustancial a la estructura, incluyendo una degradación significativa en la rigidez y resistencia del sistema de resistencia a la fuerza lateral. Sin embargo, todos los componentes importantes del sistema resistente a la carga de gravedad continúan llevando sus demandas de gravedad. Aunque el edificio conserva su estabilidad general, puede existir un riesgo significativo de lesiones debido a riesgos de caída tanto dentro como fuera del edificio y las réplicas significativas pueden provocar el colapso. Se espera que será necesaria una reparación estructural importante antes de la reocupación del inmueble.

En la siguiente figura donde se muestra una curva de capacidad tradicional, se sobreponen los límites descritos anteriormente.

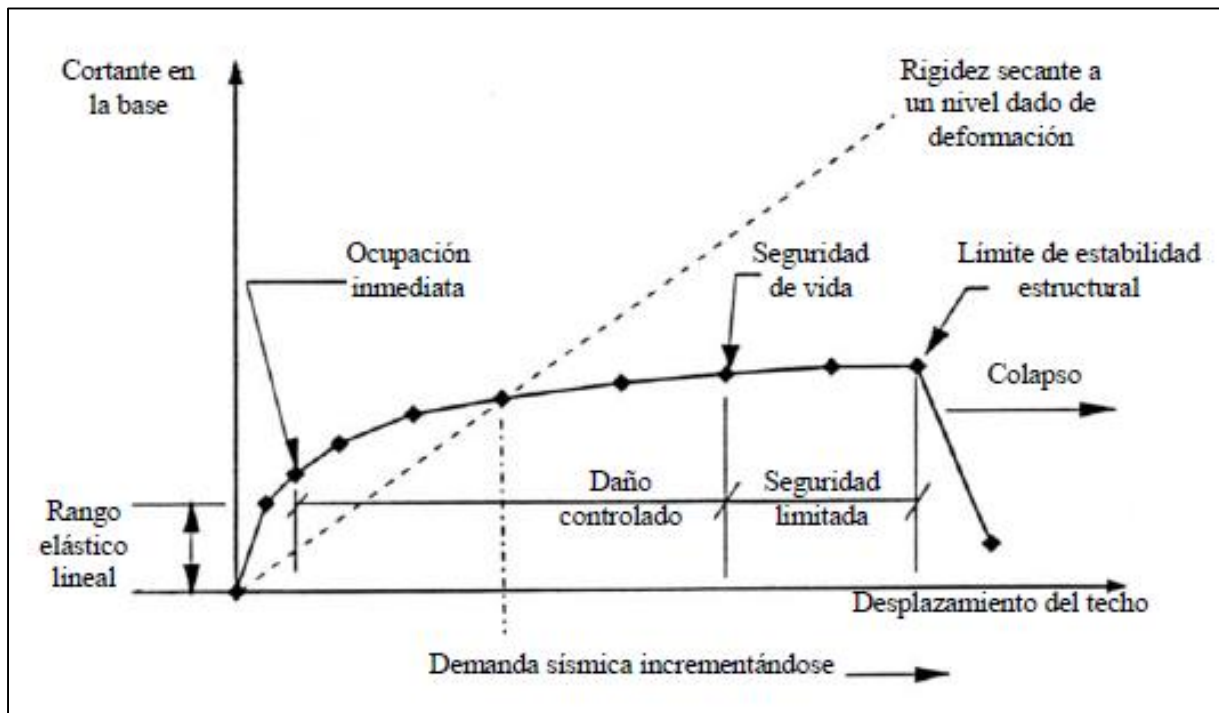


Figura 23. Niveles de desempeño de una estructura

Fuente: Applied Technology Council, 1996

Modificado por Bravo, 2002

Cuando se definen las rótulas en el modelo de SAP2000 se deben ingresar los criterios de aceptabilidad de los puntos anteriores. Se utilizó un porcentaje de la ductilidad del elemento para definir los criterios de acuerdo al ATC-40 (1996):

- Ocupación inmediata (IO) = $0,05\mu$
- Seguridad de vida (LS) = $0,75\mu$
- Estabilidad estructural o prevención de colapso (CP) = $0,95\mu$

Capítulo 6: Descripción de los modelos, distribución y dimensiones

La distribución en planta para los modelos con losas planas es idéntica a la planta del trabajo final de graduación de la ingeniera Carolina Bogantes (2019), dado que se usaron los resultados de su investigación para comparar los resultados obtenidos en este proyecto para los modelos con losas planas. En la Figura 24 se muestra la distribución en planta para el modelo con losas planas de 8 niveles y en la Figura 25 se incluye la vista tridimensional (de ahora en adelante, los modelos con losas planas se abreviarán "LP", seguido de la cantidad de niveles y la dirección de análisis, por ejemplo, LP8X representa el modelo con losas planas de 8 niveles analizado en la dirección X).

La planta contiene cuatro muros perimetrales y 40 columnas. Como se observa en la siguiente figura, existen siete tramos de nueve metros de longitud en la dirección *X* y cinco tramos en la dirección *Y* de ocho metros de longitud. Es decir, la planta tiene un área de 2520m². La losa, de esta misma área, es de 30cm de espesor en todos los modelos y niveles.

Para el análisis de capacidad espectral, se asigna un factor de agrietamiento a flexión de 0,3 en la losa para evitar una transmisión de momento entre la losa y los muros y columnas y un factor de momento de inercia equivalente para elementos en flexión (vigas) de 0,5. En el modelo con losas planas **las cargas se asignan con la función "uniforme", donde estas se transfieren a los nodos del "shell", independientemente de los marcos en los que se apoya; no se generan fuerzas internas en el "shell" ni marcos. En los modelos del sistema tipo muro y dual, las cargas se asignan con la función "uniforme a los marcos en dos direcciones" y estas se distribuyen por área tributaria entre los marcos que rodean el "shell".**

Al igual que lo definió Bogantes en sus modelos, los muros se asignaron empotrados en su eje fuerte para que trabajaran como muros de cortes, y articulados en el eje débil. Sin embargo, a diferencia de Bogantes, en esta investigación se modelaron las columnas empotradas en su base, y no articuladas, ya que sí se definieron las rótulas plásticas en las columnas, por lo que se les permitió la redistribución de momentos en el análisis de capacidad espectral. De esta forma, las curvas de capacidad representan de manera más acertada la condición real de los edificios.

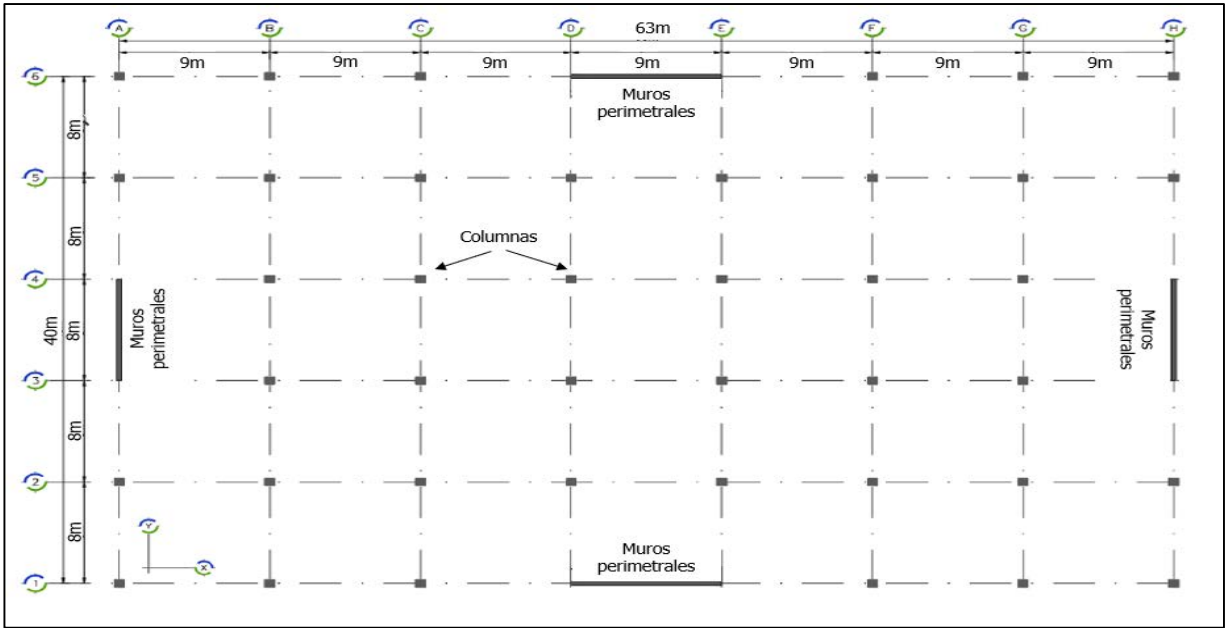


Figura 24. Distribución en planta de edificios del sistema con losas planas

Fuente: Bogantes, 2019

Modificado por Cuevillas, 2020

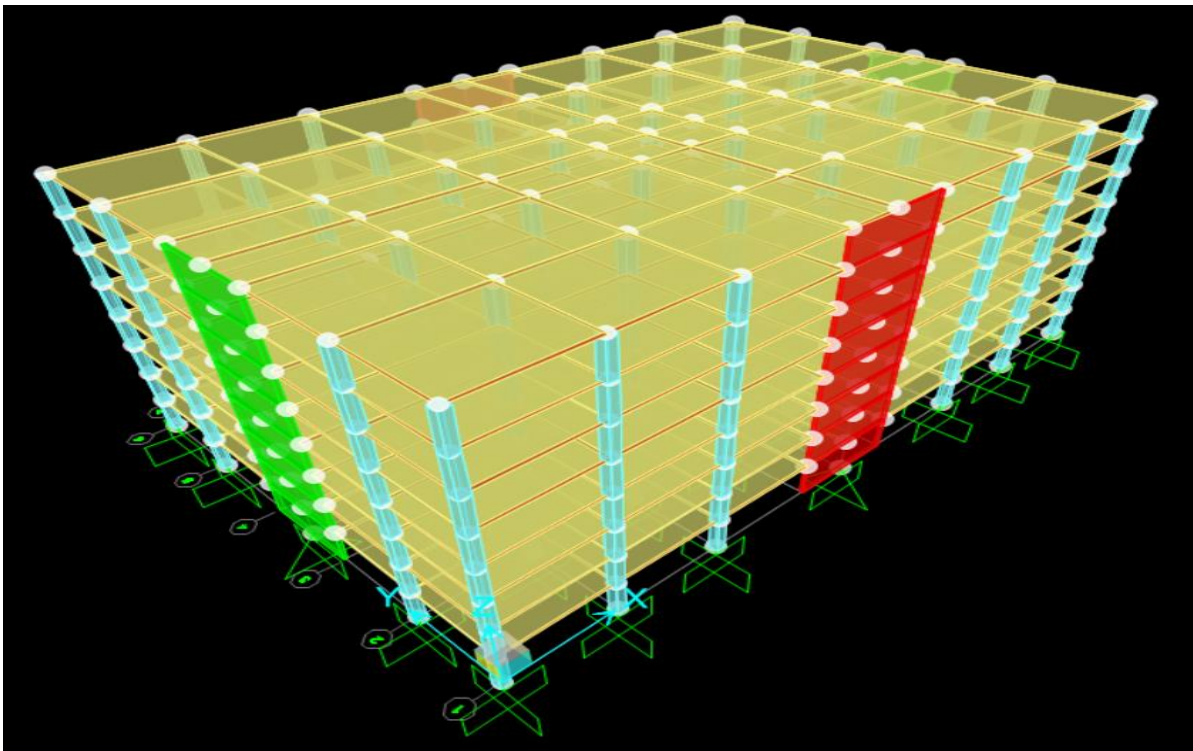


Figura 25. Modelo tridimensional del sistema de muros con LP8

En la Figura 26 se muestra la distribución en planta para el modelo del sistema tipo muro y dual de 8 niveles (de ahora en adelante, los modelos del sistema tipo muro **se abreviarán "M"** y los **duales "D"**, seguido de la cantidad de niveles, por ejemplo, M8 representa el modelo del sistema tipo muro de 8 niveles y D8 el sistema estructural tipo dual de 8 niveles). Adicional a los cuatro muros perimetrales y 40 columnas de la planta del sistema con losas planas, en la dirección *X* se agregan 42 vigas de 85cm X 40cm (color morado) y en la dirección *Y* se agregan 40 vigas de 75cm X 40cm (color azul)

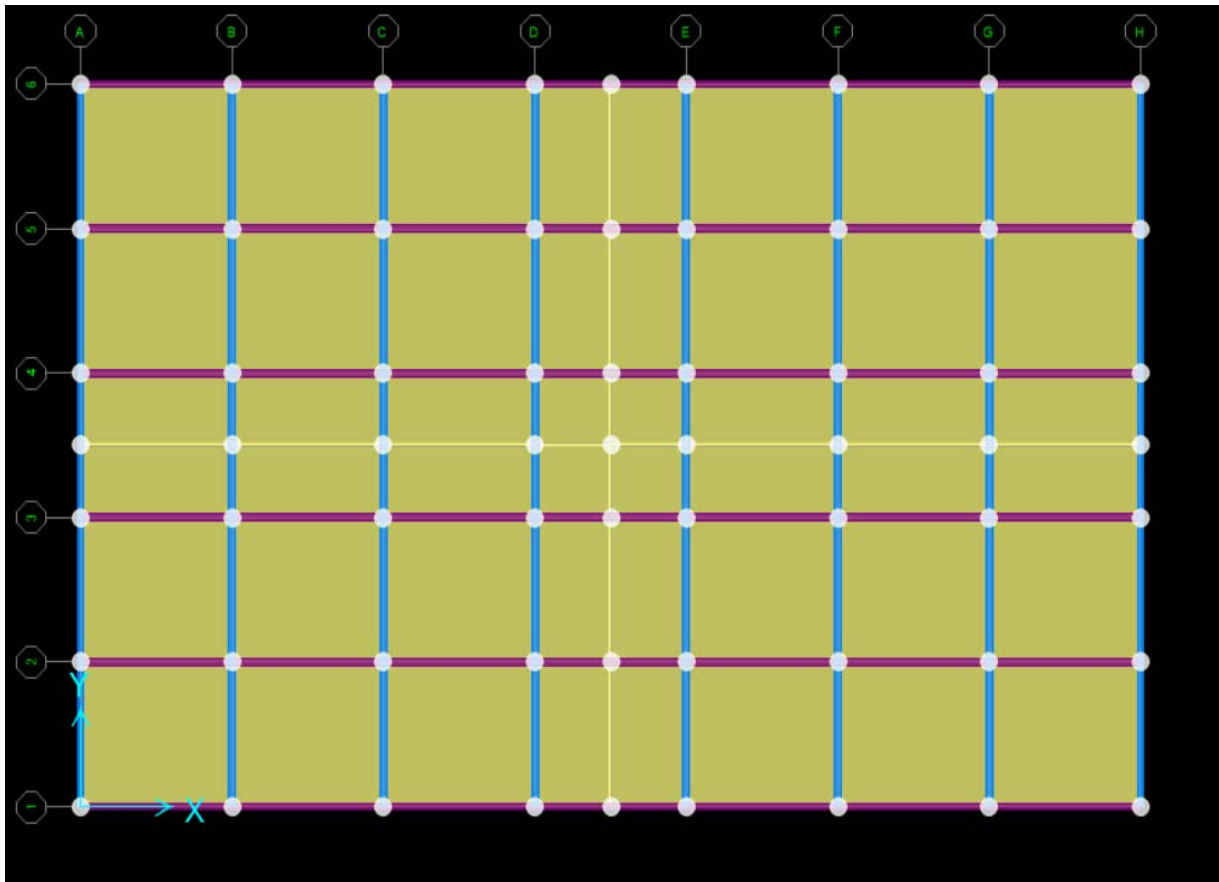


Figura 26. Distribución en planta de edificios del sistema de muros y dual

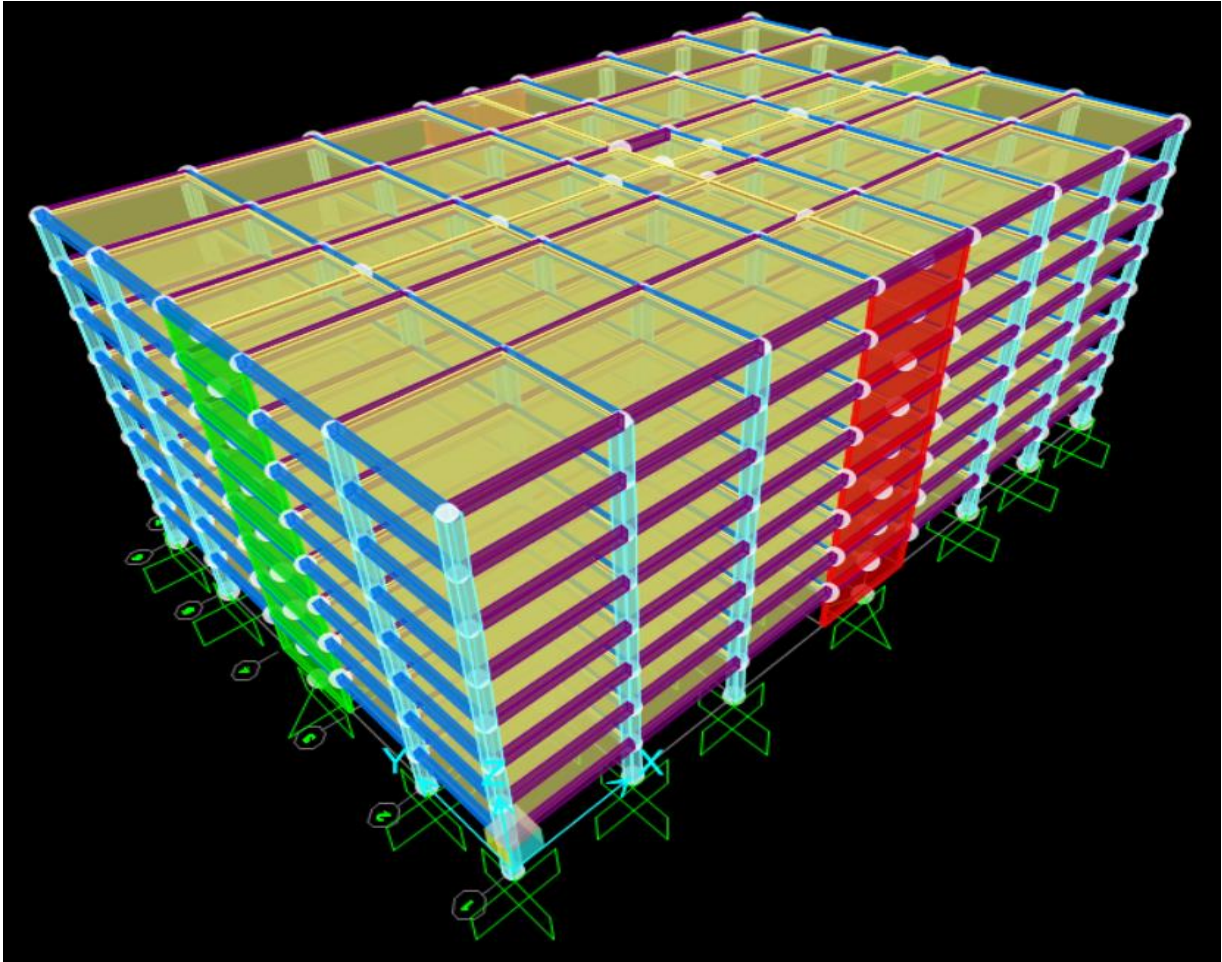


Figura 27. Modelo tridimensional de M8 y D8

A continuación, se resumen las propiedades contempladas para los edificios de todos los sistemas y todos los niveles.

Cuadro 4. Propiedades de los modelos

Niveles	Resistencia concreto [kg/cm²]	Regularidad en planta	Regularidad en altura	Altura entre pisos [m]
4	280	Sí	Sí	4
6	280	Sí	Sí	4
8	280	Sí	Sí	4
10	280	Sí	Sí	4
12	280	Sí	Sí	4

En los siguientes cuadros se muestran las dimensiones de los elementos mostrados en las plantas.

Cuadro 5. Secciones transversales y espesores de elementos

Niveles	Sección transversal columnas [cm x cm]	Sección transversal vigas dirección X [cm x cm]	Sección transversal vigas dirección Y [cm x cm]	Espesor losa plana [cm]	Espesor muros [cm]
4	60x60	85x40	75x40	30	30
6	70x70	85x40	75x40	30	30
8	75x75	85x40	75x40	30	30
10	80x80	85x40	75x40	30	30
12	85x85	85x40	75x40	30	30

Cuadro 6. Dimensiones de muros perimetrales

Dirección	Resistencia f'c [kg/cm²]	M-4 [m]	M-6 [m]	M-8 [m]	M-10 [m]	M-12 [m]
X	280	6,5	7,5	9,0	9,75	10,5
Y	280	5,5	6,5	8,0	8,75	9,5

Capítulo 7: Diseño de los elementos

7.1 Aspectos generales

Para la asignación de cargas se utilizó lo que establece el CSCR-10 en su Tabla 6.1 Cargas temporales unitarias mínimas para parqueos y se asumió una carga permanente para acabados que se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Cargas asignadas al modelo

Carga temporal de parqueos [kg/cm²]	300
Carga permanente de acabados [kg/cm²]	225

Para definir el coeficiente sísmico e ingresar las propiedades al programa SAP2000, se utilizaron los datos del siguiente cuadro y se diseñó con ductilidad local moderada. Para los tres sistemas: losas planas, muros y dual se utiliza la misma ductilidad de 2,0. A pesar de que el CSCR-10 no tiene un valor definido para losas planas y delimita una ductilidad de 3,0 para el sistema estructural tipo dual con ductilidad local moderada, se decidió utilizar los mismos valores para los tres modelos para poder compararlos directamente.

Cuadro 8. Parámetros de ingreso en SAP2000

Ductilidad de diseño	2
Sobrerresistencia	2
Zona sísmica	III
Suelo	S3
Factor de importancia	1
Aceleración efectiva	0,36

Para el diseño de los elementos, a continuación, se muestran las demandas últimas que se utilizaron. La nomenclatura es la siguiente: columnas (C), muros (M), vigas (V) y rigen las mismas siglas que se vienen utilizando para losas planas, muros y dual. Las columnas se diseñaron cada dos niveles, por lo que CLP4-1 representa el primer diseño de columnas de los modelos con losas planas de cuatro niveles para los niveles uno y dos, CLP4-2 representa el segundo diseño de columnas de los modelos con losas planas de cuatro niveles en los niveles tres y cuarto, y así sucesivamente. Las demandas de muros en la misma dirección son iguales,

por lo que se hicieron dos diseños de muros para cada modelo, uno en la dirección X y otro en la dirección Y . Para columnas y muros, la demanda máxima se encuentra en la base, por lo que se utilizaron esos valores. Estos elementos se diseñaron en flexocompresión y se hizo uso de los diagramas de interacción.

Para vigas, se hicieron dos diseños para cada tipo de este elemento. Se recuerda que ambos tipos de vigas tienen un ancho de 40cm, pero en la dirección Y tienen un peralte de 75cm y en la dirección X tienen un peralte de 85cm. Por lo tanto, se dividió el diseño en vigas internas y vigas externas de cada tipo. Se utilizó el cortante y momento de los extremos de las vigas, ya que en este punto es donde se asignan las rótulas plásticas en el modelo de SAP2000.

Por último, para el diseño del sistema estructural tipo dual se hizo la revisión que solicita el Código en la sección 4.2.2 para verificar que **“en cada nivel, para los marcos de los sistemas duales, la sumatoria de las fuerzas cortantes en las columnas, debe ser igual o mayor que el 25% de las fuerzas cortantes de diseño obtenidas de análisis para ese nivel”** (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2010). Adicionalmente, se hizo la revisión de diseño por capacidad y se rediseñó con el valor de cortante obtenido.

En los apéndices se muestran los datos que obtuvieron del programa Xtract para generar las rótulas en las columnas, vigas y muros, así como un ejemplo de las salidas que da el programa.

7.2 Modelo del sistema estructural tipo muro con losas planas

En el Cuadro 9 se muestran las demandas últimas para el diseño de columnas en los modelos con losas planas. Se observa que, para un mismo modelo, conforme se aumentan los niveles, la carga axial disminuye, debido a que la masa en niveles superiores es menor, pero el cortante y momento tienen una forma parabólica, es decir, en niveles bajos tienen valores pequeños, aumentan hacia los niveles de media altura y empiezan a disminuir nuevamente. Conforme se agregan niveles a los modelos, los valores aumentan también.

En el Cuadro 10 se muestran las demandas últimas para el diseño de muros en los modelos con losas planas. Se observa que los muros en la dirección X experimentan fuerzas axiales, cortantes y momentos de mayor magnitud que los muros en la dirección Y . Esto se debe a que son muros más largos y que deben tomar más carga, debido a la distribución de la planta mostrada en la Figura 24. Las demandas aumentan conforme se agregan niveles al modelo.

Para el refuerzo por cortante se utilizó una separación de $\frac{d}{2}$.

Cuadro 9. Demandas últimas y diseño de columnas en modelos del sistema de muros con LP

	P_u [ton]	V_u [ton]	M_u [m ton]	A_v [cm²]	A_t
CLP4-1	465	32	66	62	#4 @ 25cm
CLP4-2	229	33	72	62	#4 @ 25cm
CLP6-1	706	37	78	81	#4 @ 30cm
CLP6-2	457	39	78	62	#4 @ 30cm
CLP6-3	348	37	82	62	#4 @ 30cm
CLP8-1	1050	36	74	190	#4 @ 35cm
CLP8-2	758	51	102	62	#4 @ 35cm
CLP8-3	471	51	102	81	#4 @ 35cm
CLP8-4	348	47	105	81	#4 @ 35cm
CLP10-1	1226	47	97	230	#4 @ 35cm
CLP10-2	953	69	161	127	#6 @ 35cm
CLP10-3	676	70	141	81	#6 @ 35cm
CLP10-4	433	65	131	81	#5 @ 35cm
CLP10-5	348	58	130	103	#5 @ 35cm
CLP12-1	1404	53	107	372	#5 @ 40cm
CLP12-2	1150	78	154	230	#6 @ 40cm
CLP12-3	887	81	163	103	#6 @ 40cm
CLP12-4	651	79	160	81	#6 @ 40cm
CLP12-5	432	71	145	81	#6 @ 40cm
CLP12-6	348	65	146	127	#5 @ 40cm

Cuadro 10. Demandas últimas y diseño de muros en modelos del sistema de muros con LP

	P_u [ton]	V_u [ton]	M_u [m ton]	A_v [cm²]	A_t
MLP4X	476	632	4808	404	2 capas #6 @15cm
MLP4Y	438	576	3781	334	2 capas #6 @15cm
MLP6X	765	659	5877	292	2 capas #6 @15cm
MLP6Y	713	621	4817	307	2 capas #6 @15cm
MLP8X	1114	811	7704	446	2 capas #6 @15cm
MLP8Y	1080	802	6739	263	2 capas #6 @15cm
MLP10X	1556	864	9340	343	2 capas #6 @15cm
MLP10Y	1488	912	8730	375	2 capas #6 @15cm
MLP12X	2003	913	10900	718	2 capas #6 @15cm
MLP12Y	1935	956	10055	606	2 capas #6 @15cm

7.3 Modelo del sistema estructural tipo muro convencional

En las demandas para los modelos del sistema tipo muro ocurren los mismos comportamientos que se describieron en la sección anterior tanto para las columnas, como para los muros. En el Cuadro 16 se muestran las demandas últimas para el diseño de vigas. Se observa que al igual que los resultados para el diseño de muros, las vigas en la dirección *X* experimentan fuerzas cortantes y momentos de mayor magnitud que las vigas en la dirección *Y*. Esto se debe a que el claro de las vigas es mayor en la dirección *X*, su tamaño es mayor, y debido a la distribución de planta, estas deben soportar mayores esfuerzos.

Es importante destacar que, para el diseño de columnas y vigas en los modelos del sistema de muros, se utilizó una separación de refuerzo por cortante de $\frac{d}{2}$. Como se mencionó anteriormente, en todos los modelos se utilizó ductilidad local moderada.

Cuadro 11. Demandas últimas y diseño de columnas en modelos del sistema tipo muro

	P_u [ton]	V_u [ton]	M_u [m ton]	A_v [cm²]	A_t
CM4-1	569	38	78	103	#4 @ 25cm
CM4-2	273	37	77	62	#4 @ 25cm
CM6-1	829	41	86	127	#4 @ 30cm
CM6-2	527	43	86	62	#4 @ 30cm
CM6-3	348	36	80	62	#4 @ 30cm
CM8-1	1165	46	93	230	#4 @ 35cm
CM8-2	823	62	124	103	#6 @ 35cm
CM8-3	507	60	121	81	#5 @ 35cm
CM8-4	348	54	117	81	#5 @ 35cm
CM10-1	1381	60	121	372	#5 @ 35cm
CM10-2	1061	82	164	153	#7 @ 35cm
CM10-3	743	83	166	81	#7 @ 35cm
CM10-4	487	75	151	81	#6 @ 35cm
CM10-5	348	63	139	103	#5 @ 35cm
CM12-1	1586	67	136	410	#5 @ 40cm
CM12-2	1286	93	187	372	#7 @ 40cm
CM12-3	983	96	192	127	#7 @ 40cm
CM12-4	719	92	186	81	#7 @ 40cm
CM12-5	480	82	166	81	#6 @ 40cm
CM12-6	348	73	163	103	#5 @ 40cm

Cuadro 12. Demandas últimas y diseño de muros en modelos del sistema tipo muro

	P_u [ton]	V_u [ton]	M_u [m ton]	A_v [cm²]	A_h
MM4X	556	777	5348	376	2 capas #7 @15cm
MM4Y	511	752	4591	360	2 capas #7 @15cm
MM6X	895	783	6179	367	2 capas #6 @15cm
MM6Y	829	728	5141	380	2 capas #6 @15cm
MM8X	1371	942	8139	319	2 capas #6 @15cm
MM8Y	1280	921	7229	352	2 capas #7 @15cm
MM10X	1867	1012	9781	343	2 capas #6 @15cm
MM10Y	1769	1050	9265	403	2 capas #7 @15cm
MM12X	2402	1064	11258	457	2 capas #6 @15cm
MM12Y	2288	1103	10632	487	2 capas #7 @15cm

Cuadro 13. Demandas últimas y diseño de vigas en modelos del sistema tipo muro

	V_u [ton]	M_u [m ton]	As [cm²]	As' [cm²]	A_t
VM4X	17	56	23	11	#3 @ 40cm
VM4Y	14	47	17	11	#3 @ 35cm
VM6X	22	66	25	11	#3 @ 40cm
VM6Y	21	49	23	11	#3 @ 35cm
VM8X	21	55	19	11	#3 @ 40cm
VM8Y	17	40	17	11	#3 @ 35cm
VM10X	22	55	19	11	#3 @ 40cm
VM10Y	18	44	19	11	#3 @ 35cm
VM12X	22	56	23	11	#3 @ 40cm
VM12Y	28	45	19	11	#3 @ 35cm

7.4 Modelo del sistema estructural tipo dual convencional

En las demandas para los modelos del sistema estructural tipo dual se utilizan las mismas salidas que las que rigen los modelos del sistema tipo muro. Sin embargo, se hicieron las dos revisiones que se mencionaron anteriormente: que las columnas tomen un 25% del cortante total de cada nivel y se hace diseño por capacidad. Por lo tanto, para vigas y columnas, el valor

de cortante aumenta y, además, para el diseño se utiliza una separación de refuerzo por cortante de $\frac{d}{4}$. En el Cuadro 17 se muestra la revisión que se hizo para verificar que las columnas tomaran al menos el 25% del cortante de los niveles de cada modelo. Se muestra únicamente el caso del nivel más crítico, que en todos los modelos fue para el primer nivel; no obstante, se comprobó que todos los niveles en todos los modelos cumplen con este requisito.

Cuadro 14. Demandas últimas y diseño de columnas en modelos del sistema estructural tipo dual

	P_u [ton]	V_u [ton]	M_u [m ton]	A_v [cm²]	A_t
CD4-1	569	72	78	81	#5 @ 10cm
CD4-2	273	52	77	46	#4 @ 10cm
CD6-1	829	103	86	127	#6 @ 15cm
CD6-2	527	75	86	62	#5 @ 15cm
CD6-3	348	80	80	62	#5 @ 15cm
CD8-1	1165	46	93	230	#4 @ 15cm
CD8-2	823	88	124	62	#5 @ 15cm
CD8-3	507	88	121	62	#5 @ 15cm
CD8-4	348	88	117	62	#5 @ 15cm
CD10-1	1381	121	121	372	#6 @ 15cm
CD10-2	1061	136	164	153	#7 @ 15cm
CD10-3	743	114	166	81	#6 @ 15cm
CD10-4	487	114	151	81	#6 @ 15cm
CD10-5	348	114	139	103	#6 @ 15cm
CD12-1	1586	68	136	410	#4 @ 20cm
CD12-2	1286	93	187	372	#5 @ 20cm
CD12-3	983	153	192	127	#8 @ 20cm
CD12-4	719	125	186	81	#7 @ 20cm
CD12-5	480	125	166	81	#7 @ 20cm
CD12-6	348	125	163	103	#7 @ 20cm

Nota: Es importante aclarar que, a pesar de que el Código permite en este caso utilizar ductilidades mayores a 2,0 para los edificios del sistema estructural tipo dual, se decidió utilizar

una ductilidad global igual a 2,0. Lo anterior se hizo con la intención de hacer más comparables los resultados de los sistemas estructurales.

Cuadro 15. Demandas últimas y diseño de muros en modelos del sistema estructural tipo dual

	P_u [ton]	V_u [ton]	M_u [m ton]	A_v [cm²]	A_h
MD4X	556	777	5348	376	2 capas #7 @15cm
MD4Y	511	752	4591	360	2 capas #7 @15cm
MD6X	895	783	6179	367	2 capas #6 @15cm
MD6Y	829	728	5141	380	2 capas #6 @15cm
MD8X	1371	942	8139	319	2 capas #6 @15cm
MD8Y	1280	921	7229	352	2 capas #7 @15cm
MD10X	1867	1012	9781	343	2 capas #6 @15cm
MD10Y	1769	1050	9265	403	2 capas #7 @15cm
MD12X	2402	1064	11258	457	2 capas #6 @15cm
MD12Y	2288	1103	10632	487	2 capas #7 @15cm

Cuadro 16. Demandas últimas y diseño de vigas en modelos del sistema estructural tipo dual

	V_u [ton]	M_u [m ton]	As [cm²]	As' [cm²]	A_t
VD4X	35	56	23	11	#3 @ 20cm
VD4Y	28	47	17	11	#3 @ 15cm
VD6X	38	66	25	11	#3 @ 10cm
VD6Y	34	49	23	11	#3 @ 10cm
VD8X	36	55	19	11	#3 @ 15cm
VD8Y	31	40	17	11	#3 @ 15cm
VD10X	36	55	19	11	#3 @ 15cm
VD10Y	32	44	19	11	#3 @ 15cm
VD12X	39	56	23	11	#4 @ 20cm
VD12Y	42	45	19	11	#3 @ 15cm

Cuadro 17. Revisión de 25% cortante en columnas para sistema estructural tipo dual

	V2 Columnas [ton]	V3 Columnas [ton]	V2 Muros [ton]	V3 Muros [ton]	ΣV2 [ton]	ΣV3 [ton]	Revisión V2 [%]	Revisión V3 [%]
D4	647	841	1560	1513	2208	2355	29%	36%
D6	778	933	1571	1463	2349	2397	33%	39%
D8	790	942	1891	1849	2680	2791	29%	34%
D10	885	1086	2030	2106	2915	3192	30%	34%
D12	978	1173	2135	2213	3114	3387	31%	35%

Capítulo 8: Resultados de los modelos tipo muro con losas planas

8.1 Análisis pseudo dinámico

8.1.1 Período

El período de una estructura es el tiempo que transcurre entre cada oscilación completa y se calcula mediante la siguiente ecuación donde m es la masa y k es la rigidez de la estructura:

Ecuación 28

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

De acuerdo a esta definición, el período es directamente proporcional a la masa de la estructura e inversamente proporcional a la rigidez de esta.

En el siguiente cuadro se muestran los períodos obtenidos del análisis pseudo dinámico para los modelos con losas planas. Conforme a la ecuación de período (T), al aumentar la cantidad de pisos en el modelo y, por ende, la masa de la estructura, el período incrementa. El comportamiento de los modelos con losas planas es acorde a la teoría.

Cuadro 18. Períodos obtenidos del análisis pseudo dinámico para los modelos del sistema de muros con LP

Modelo	Período [s]
LP4	0,67
LP6	0,95
LP8	1,10
LP10	1,35
LP12	1,61

La ingeniera Carolina Bogantes en su trabajo final de graduación (2019) determinó una ecuación para aproximar el período de oscilación de los modelos con losas planas como se muestra en la Figura 28. En esta figura se muestra la ecuación calibrada para sus modelos, así como la ecuación que propone el Código Sísmico de Costa Rica (2010) en la sección 7.4.5 *Estimación del período del primer modo de vibración* para edificios tipo muro formados, exclusivamente, por muros estructurales o marcos arriostrados. Dicha ecuación se muestra en la sección 5.3 *Método estático* de este trabajo, donde la variable N o x representa el número de niveles en el modelo. Según su análisis,

Se puede apreciar que la ecuación propuesta por el Código estima períodos menores que los obtenidos en esta investigación. Si se utiliza la ecuación del CSCR 2010-14 en losas planas, se estaría asumiendo un edificio más rígido de lo que realmente es. La ecuación propuesta considera el efecto de la losa plana en el modelo y brinda una aproximación con períodos más grandes, lo que concuerda con lo esperado, debido a la flexibilidad del sistema sin vigas (Bogantes, 2019).

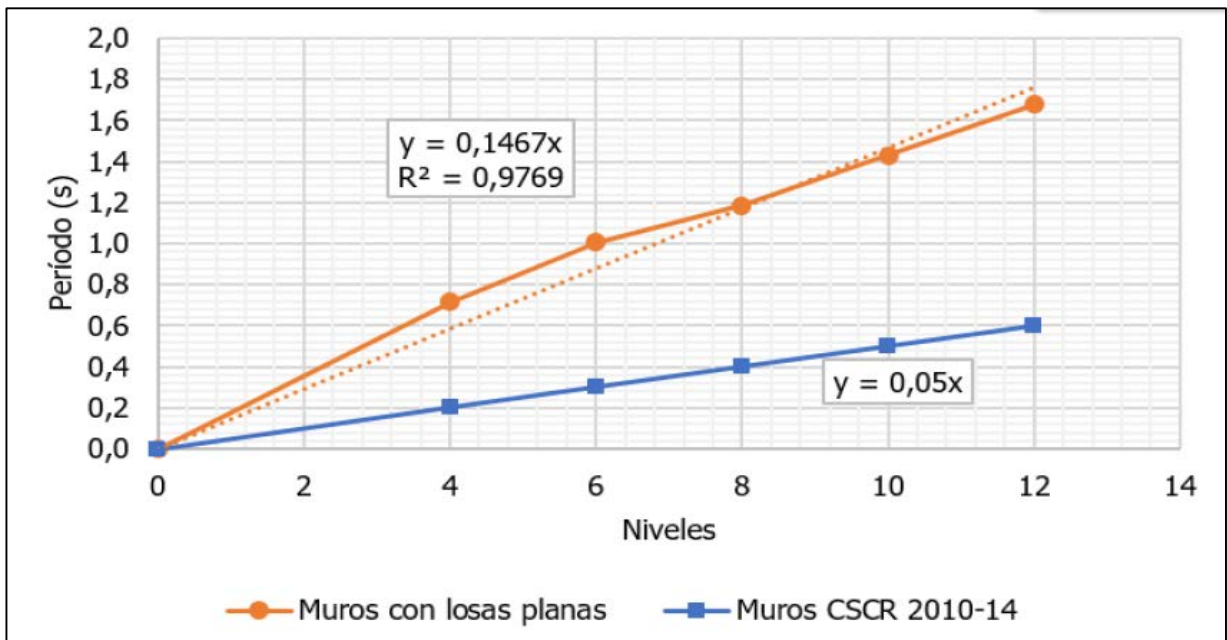


Figura 28. Aproximación del período de oscilación con los resultados del diseño de la ingeniera Carolina Bogantes

Fuente: Bogantes, 2019

De manera similar, se graficaron los datos obtenidos para los períodos de los modelos con losas planas de este trabajo final de graduación en conjunto con la aproximación de la ingeniera Bogantes y el CSCR-10. De la Figura 29 se concluye que la relación de período y número de niveles obtenidas para el análisis es prácticamente lineal, con un coeficiente de correlación del 94%. Además, se determina que los resultados son acordes a la investigación de Bogantes, ya que ambas líneas muestran una tendencia muy parecida. Nuevamente se establece que la ecuación del Código subestima los períodos para estructuras de muros con losas planas. A su vez, sobreestima la rigidez lateral de los edificios, de acuerdo con la definición del período de una estructura y su relación inversa con la rigidez de esta.

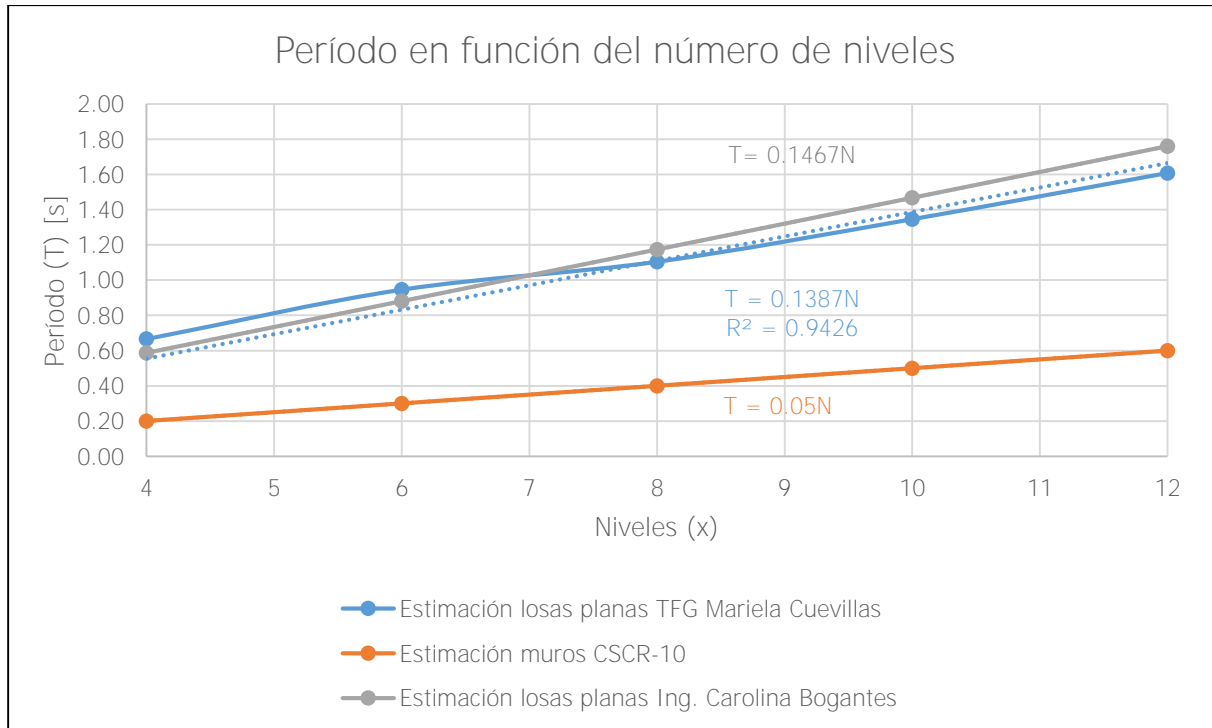


Figura 29. Gráfica del período en función del número de niveles obtenidos mediante el análisis pseudo dinámico para los modelos del sistema de muros con LP

En el siguiente cuadro se muestran los datos mencionados anteriormente, pero de manera cuantitativa. Se determina que los modelos realizados para esta investigación son válidos, ya que tienen porcentajes de diferencia bajos comparados con la investigación de Bogantes (2019).

Cuadro 19. Comparación de períodos obtenidos mediante el análisis pseudo dinámico para LP

Modelo losas planas	TFG Mariela Cuevillas [s]	CSCR-10 [s]	TFG Ing. Carolina Bogantes (2019) [s]	Diferencia CSCR-10 [%]	Diferencia Ing. Bogantes (2019) [%]
4	0,67	0,20	0,59	70%	12%
6	0,95	0,30	0,88	68%	7%
8	1,10	0,40	1,17	64%	6%
10	1,35	0,50	1,47	63%	9%
12	1,61	0,60	1,76	63%	9%

8.1.2 Derivas inelásticas

Según la definición del CSCR-10, las derivas inelásticas son los desplazamientos inelásticos relativos horizontales entre el nivel i y el nivel adyacente inferior y se calculan mediante la Ecuación 16 y la Ecuación 17. El cálculo de las derivas inelásticas obtenido del análisis pseudo dinámico se muestra en la sección A.2 Cálculo de derivas inelásticas del Apéndice A: Cálculos para modelos con losas planas. En todos los cuadros de esa sección se observa que los desplazamientos en el techo son los mayores valores de toda la estructura, y disminuyen conforme se desciende en el edificio.

En las siguientes dos figuras se observan las derivas inelásticas obtenidas del análisis pseudo dinámico. Todas las curvas tienen una forma similar; inicialmente, se tiene derivas bajas en los primeros niveles, luego aumentan hasta experimentar la deriva máxima aproximadamente en la altura media del edificio y, por último, las derivas disminuyen. En ambas figuras se demarca el valor límite que establece el CSCR-10 y que se muestra en el Cuadro 3. Como actualmente no se tiene un límite para edificios de muros con losas planas, se utilizará el límite superior de la razón de deriva inelástica para edificaciones de limitación normal para el sistema estructural tipo muro de 0,01.

De las derivas inelásticas del análisis pseudo dinámico para los modelos con losas planas en ambas direcciones, se concluye que ningún modelo alcanza el límite que establece el Código, ya que todos los valores se encuentran a la izquierda de la línea vertical. De las figuras, es evidente que cuando se realiza el análisis de la estructura aplicando un sismo en la dirección Y , los valores de derivas son mayores que cuando se analiza la estructura en el sentido X . Esto se debe a que en la dirección Y , la estructura tiene muros más cortos y menos columnas que lo que tiene en el sentido X , como se observa en la planta de la Figura 24. Por lo tanto, el edificio tiene una menor rigidez en el plano Yy , consecuentemente, tendrá desplazamientos y derivas mayores.

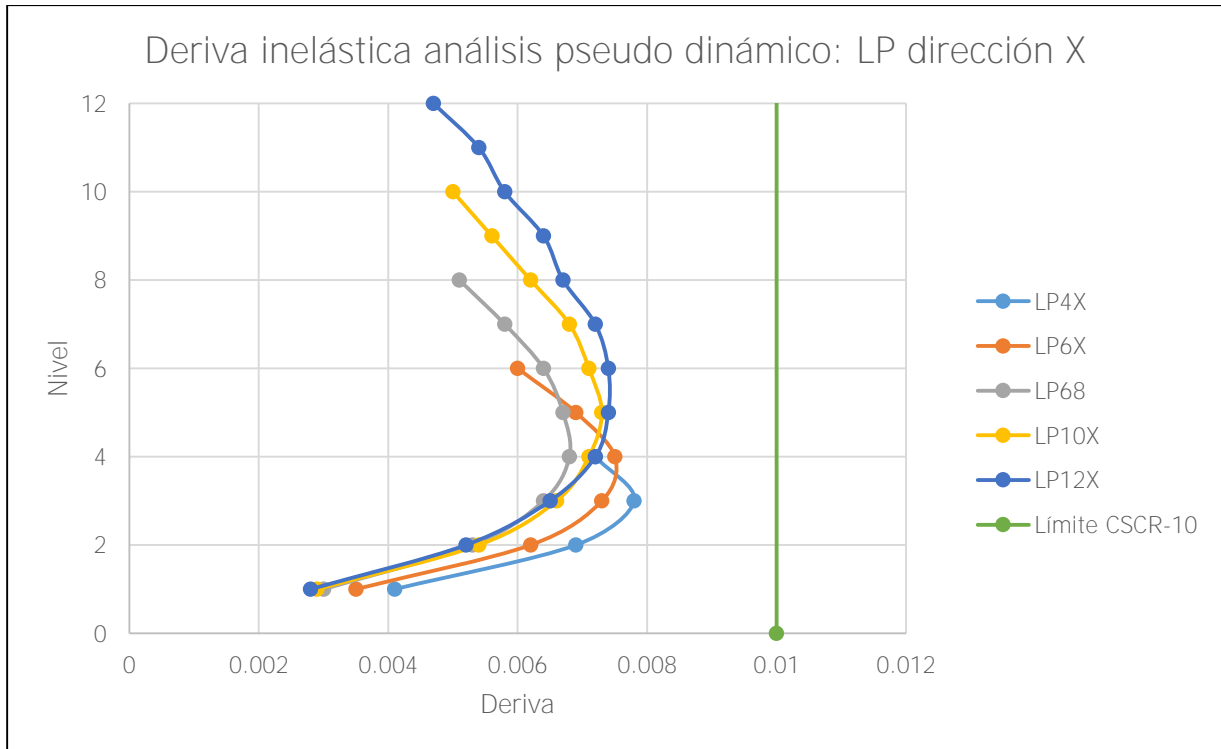


Figura 30. Deriva inelástica obtenida mediante el análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema de muros con LP dirección X

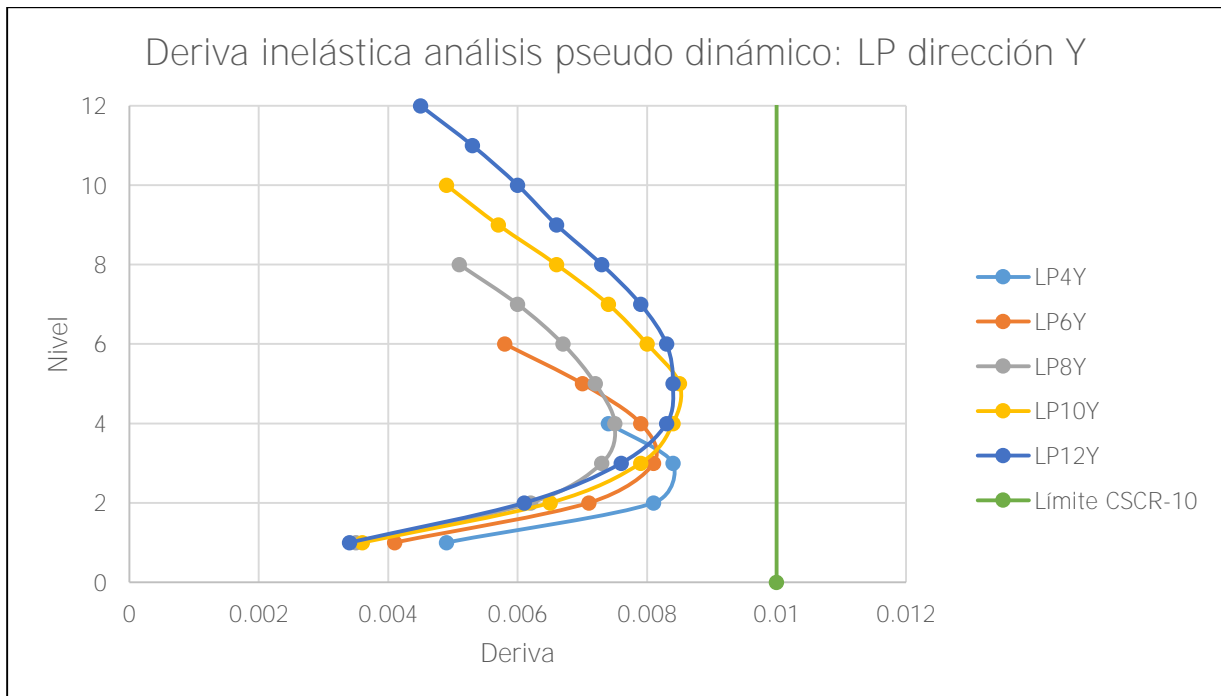


Figura 31. Deriva inelástica obtenida mediante el análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema de muros con LP dirección Y

8.1.3 Cortantes basales

De la Figura 20 se determina que, a mayor desplazamiento del techo, mayor será el cortante basal. Como se analizó en la sección anterior, los desplazamientos en la dirección Y son mayores a aquellos de la dirección X . Por lo tanto, se debe reflejar que los cortantes basales en la dirección Y sean mayores a los de la dirección X . En el siguiente cuadro y figura se cumple dicha suposición, a excepción del modelo de 4 niveles. Sin embargo, la diferencia entre los valores es menor a un 1%, por lo que se considera que los resultados son acordes a lo esperado.

Cuadro 20. Fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema de muros con LP

Modelo	Cortante dirección X [ton]	Cortante dirección Y [ton]
LP4	1707	1692
LP6	1846	1919
LP8	2157	2289
LP10	2325	2615
LP12	2491	2767

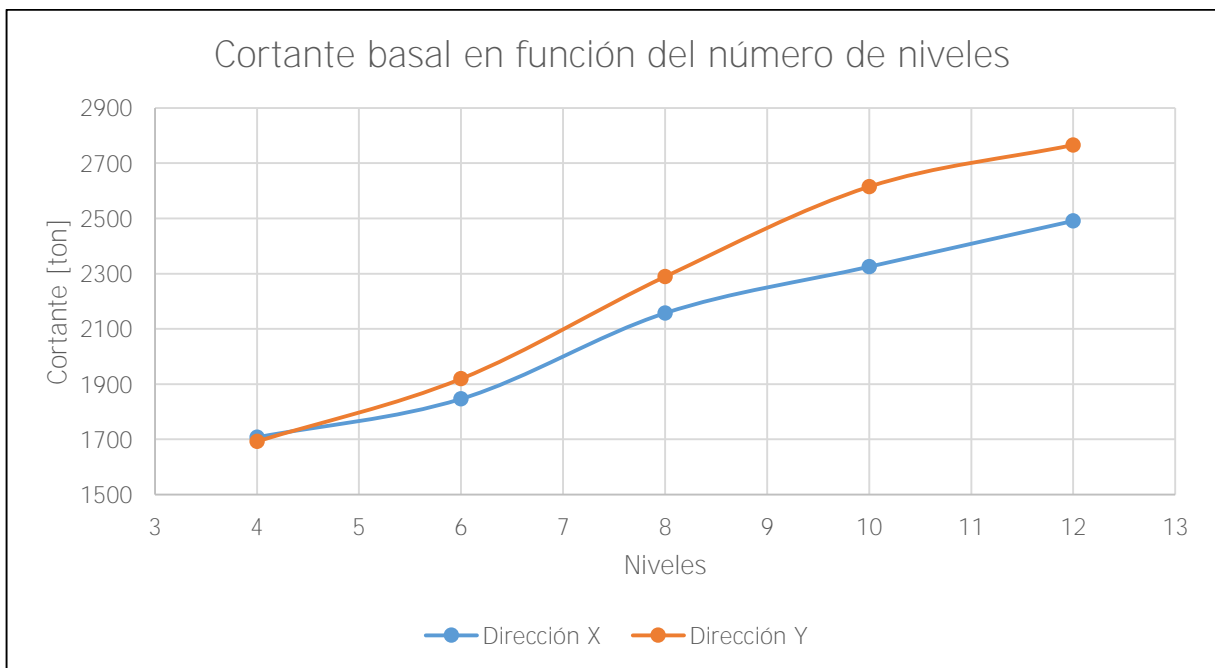


Figura 32. Gráfica de las fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema de muros con LP

En la figura que se muestra a continuación se ilustra, a manera de ejemplo para todos los modelos, el cortante basal para el modelo LP4X con un valor de 1707ton. Se observa que la gráfica se divide en dos partes: primeramente, hay una sección lineal que alcanza un desplazamiento de 2,6cm y luego se mantiene con el valor constante de 1707ton hasta alcanzar un desplazamiento de 10,4cm. El desplazamiento de 2,6cm corresponde con el desplazamiento elástico absoluto en el techo obtenido del análisis pseudo dinámico en la dirección X que se puede analizar con mayor detenimiento en el Cuadro 43 del Apéndice A: Cálculos para modelos con losas planas. La curva se mantiene constante hasta que se alcanza el desplazamiento inelástico absoluto horizontal del techo. Este valor se calcula mediante la Ecuación 16, o simplemente multiplicando el desplazamiento elástico absoluto por la ductilidad y sobrerresistencia. El mismo procedimiento aplica para todos los modelos en ambas direcciones. A partir de esta gráfica se obtendrá la sobrerresistencia de la estructura más adelante.

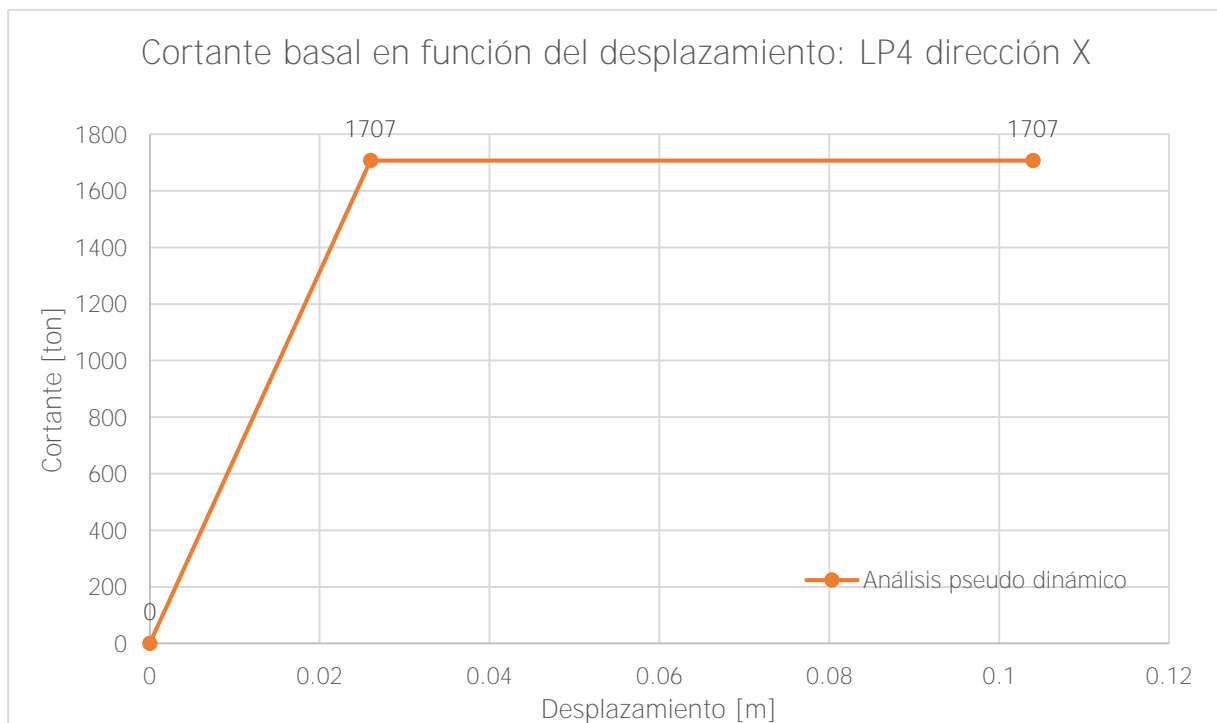


Figura 33. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis pseudo dinámico LP4 dirección X

8.2 Análisis de capacidad espectral

8.2.1 Período

Dado que en el análisis de capacidad espectral se toma en cuenta el aporte de los elementos en su rango inelástico con la definición de las rótulas plásticas en los modelos, se espera que el período de los modelos aumente. Esto se debe a que la estructura es más flexible, ya que los elementos pueden desarrollar mayores ductilidades y fuerzas como consecuencia del aporte inelástico. En el siguiente cuadro se despliegan los períodos obtenidos para el análisis de capacidad espectral. Todos los valores aumentan con respecto a su modelo equivalente de análisis elástico. En la última columna se observa el porcentaje de aumento y se determina que tiene un mayor crecimiento porcentual para modelos con más pisos.

Cuadro 21. Períodos obtenidos del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema de muros con LP

Modelo	Período [s]	Aumento con respecto al análisis pseudo dinámico [%]
LP4	0,80	16%
LP6	1,16	18%
LP8	1,36	19%
LP10	1,70	21%
LP12	2,32	31%

En la siguiente figura se muestra de manera gráfica las aproximaciones del período para ambos análisis y se aprecia la afirmación que se hizo anteriormente que para los modelos que contienen más niveles, el período aumenta en un mayor porcentaje que para los modelos con pocos niveles. El coeficiente de correlación aumenta en un 2% para el análisis de capacidad espectral, pasando de un 94% a un 96%, lo que quiere decir que, para los edificios de muros con losas planas, el período está estrechamente relacionado, de manera lineal y con las ecuaciones desplegadas, con el número de niveles que tenga el modelo.

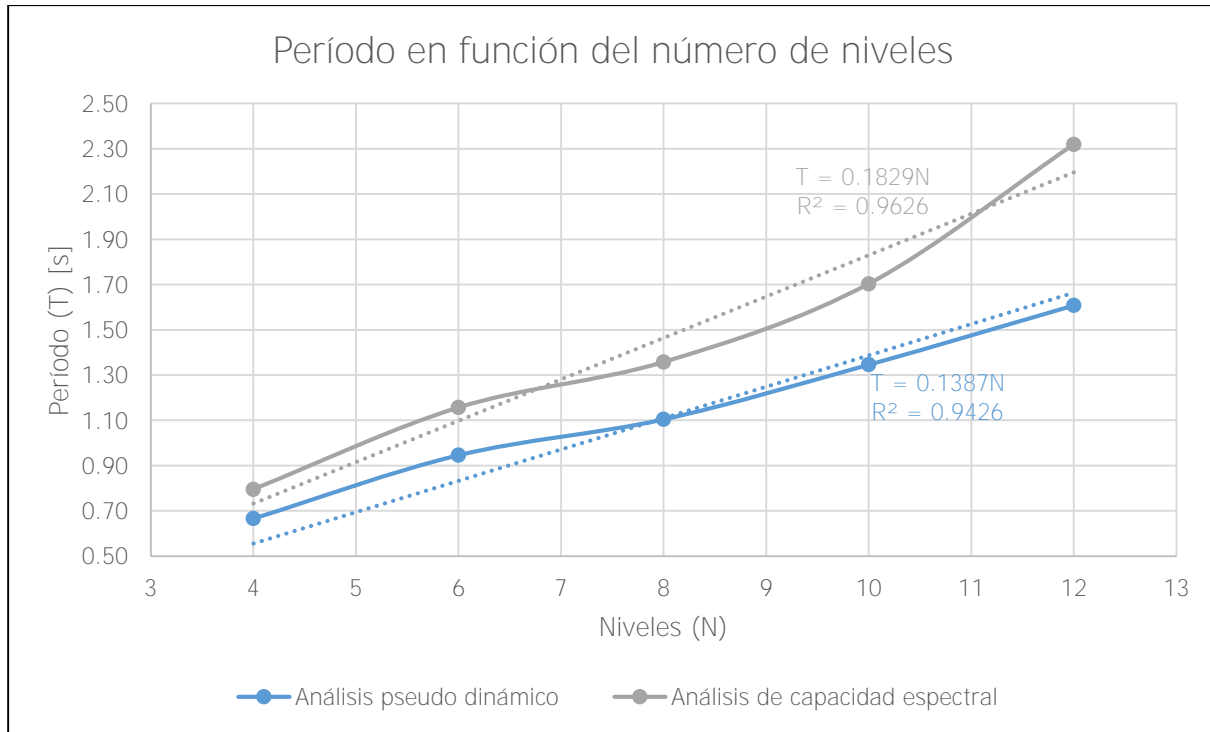


Figura 34. Gráfica del período en función del número de niveles obtenido del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema de muros con LP

8.2.2 Derivas inelásticas

En este apartado se muestran varias figuras con las derivas inelásticas analizadas desde tres estados diferentes. La línea azul es la deriva obtenida mediante el análisis pseudo dinámico. Estas curvas son las mismas curvas de la sección 8.1.2 Derivas inelásticas. Adicionalmente, en estas figuras se visualiza la curva anaranjada que representa las derivas inelásticas obtenidas por medio del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño y la curva gris que representa las derivas inelásticas obtenidas por medio del análisis de capacidad espectral, pero en el punto de prevención de colapso.

A pesar de que, desde un punto de vista estructural, lo más importante es el análisis en el punto de desempeño, se grafican las derivas en el punto de prevención de colapso para poder comparar las dimensiones de las derivas y concluir sobre el estado de un edificio luego de un sismo. Se recuerda que cuando la estructura se mantiene operando por debajo del punto de desempeño, esta se conserva en un estado seguro que no implica la demolición del edificio luego del sismo, ya que es la condición precisa donde la capacidad sísmica de la estructura se iguala con la demanda sísmica de una aceleración en la base determinada. Sin embargo,

siempre se recomienda hacer una evaluación estructural y económica para determinar los daños y costos implicados de una eventual reparación. Por otro lado, si el edificio se encuentra en un rango de fuerzas y derivas superiores al del punto de desempeño y próximas al punto de prevención de colapso, la estructura se ha desplazado lateralmente en tal magnitud que estará completamente destrozada e implicará una demolición de la edificación.

De la Figura 35 a la Figura 44 se muestran las gráficas con las derivas en los tres puntos mencionados. Cada figura se limita a un modelo en una dirección, lo cual permite visualizar que, en la mayoría de los casos, las derivas del análisis pseudo dinámico son menores a las derivas del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño. Nuevamente, esto se debe a que en el análisis de capacidad espectral se permite que los elementos desarrollen sus capacidades de deformación más allá del rango elástico, por lo que las deformaciones aumentan. Es importante destacar que las curvas anaranjadas nunca sobrepasan el límite impuesto por el CSCR-10, lo que refuerza la afirmación hecha anteriormente de que, en el punto de desempeño, la estructura se mantiene en un rango seguro, sin desplazamientos laterales excesivos. Contrariamente, se observa que todas las curvas de todos los modelos, analizados en el punto de prevención de colapso, sobrepasan el límite impuesto por el Código. Esto reafirma la aseveración de que, en este estado, es probable que el edificio se demuela, ya que las derivas han alcanzado un desplazamiento lateral grande y que ha dañado el edificio por completo.

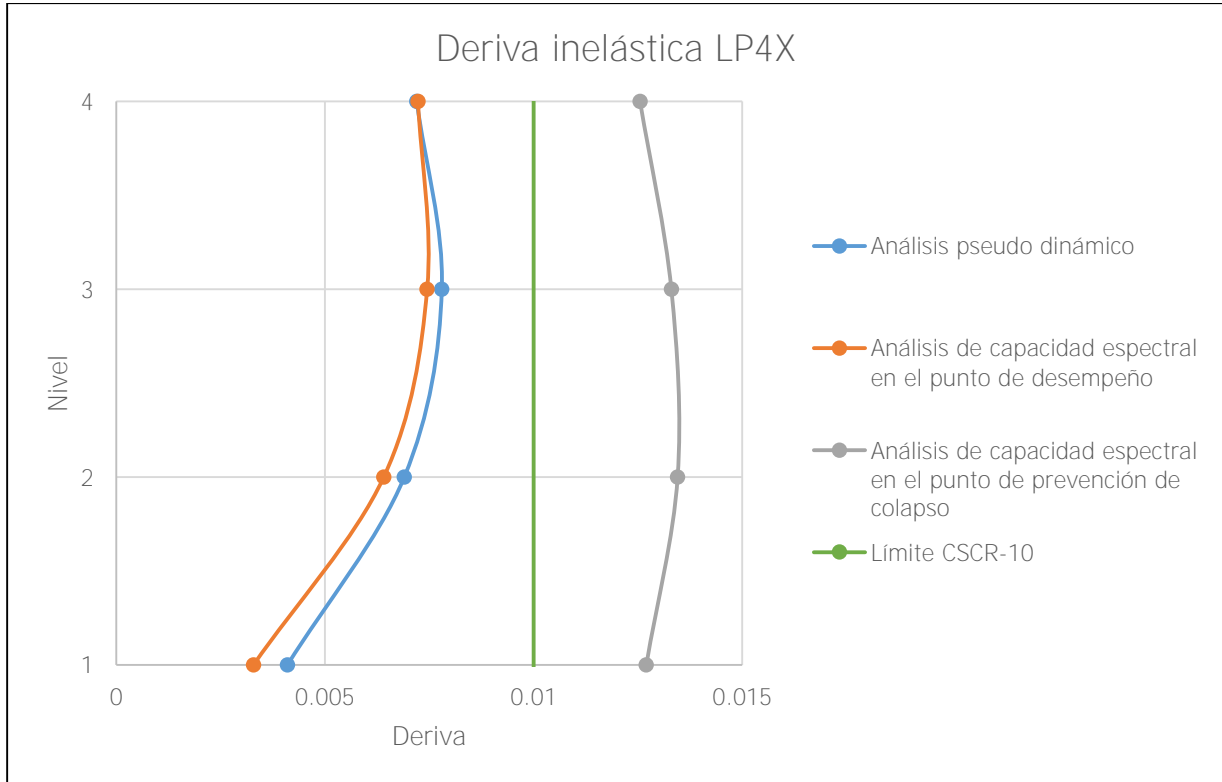


Figura 35. Deriva inelástica LP4X

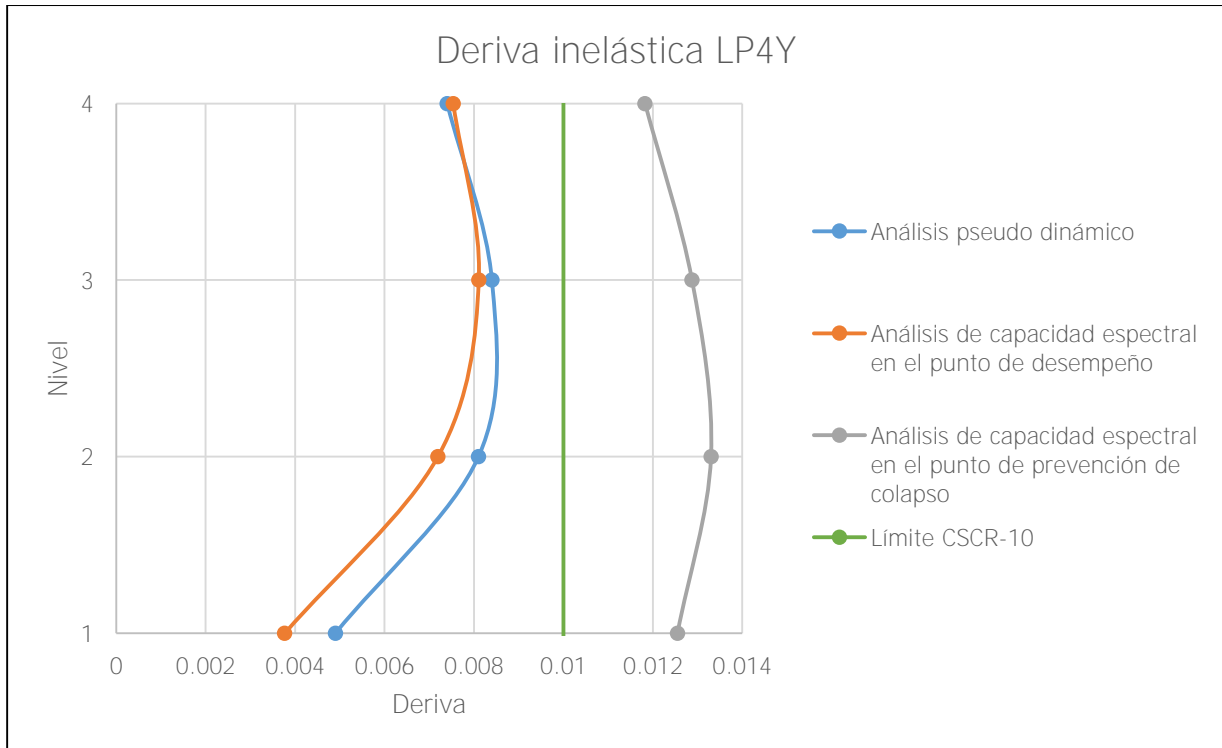


Figura 36. Deriva inelástica LP4Y

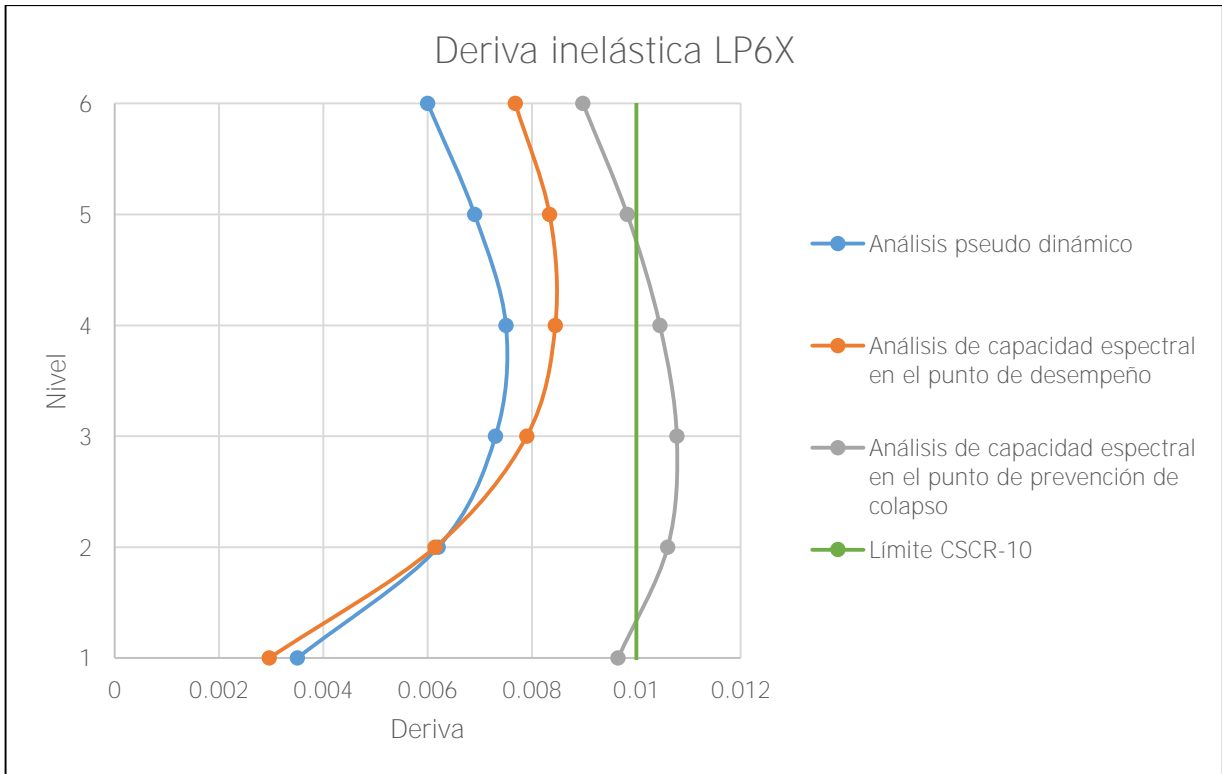


Figura 37. Deriva inelástica LP6X

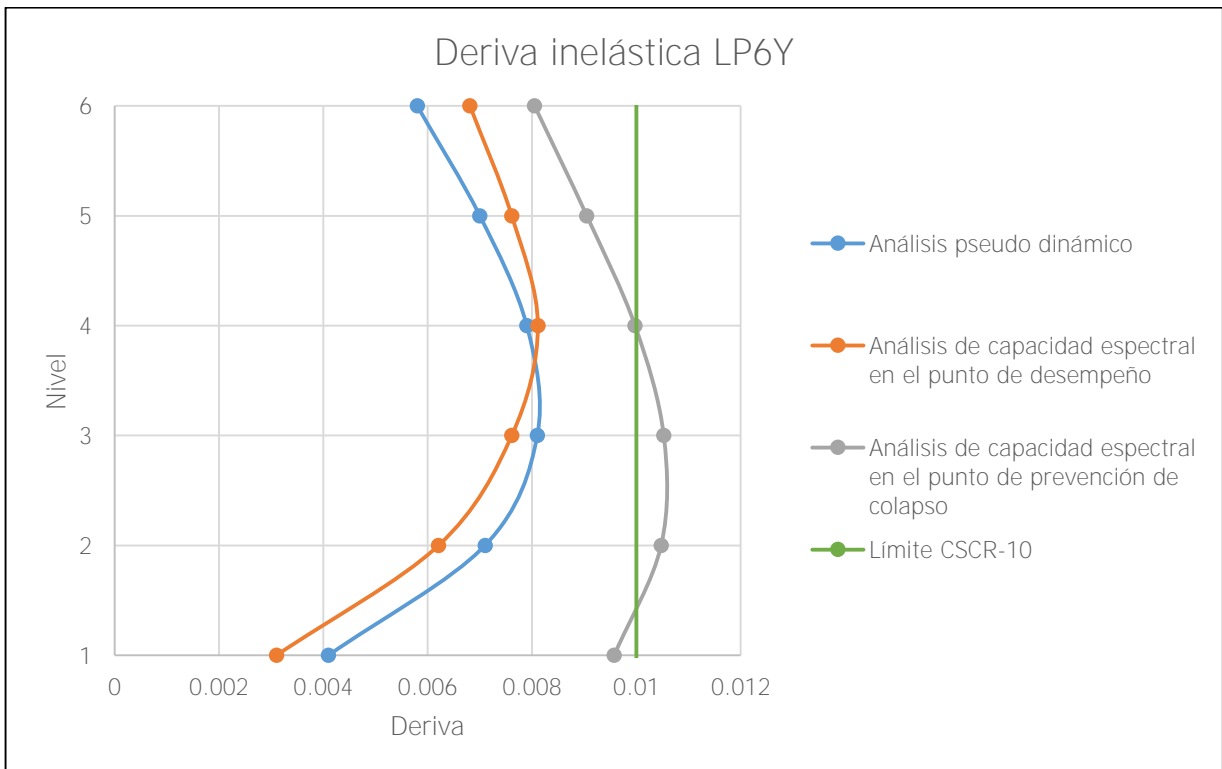


Figura 38. Deriva inelástica LP6Y

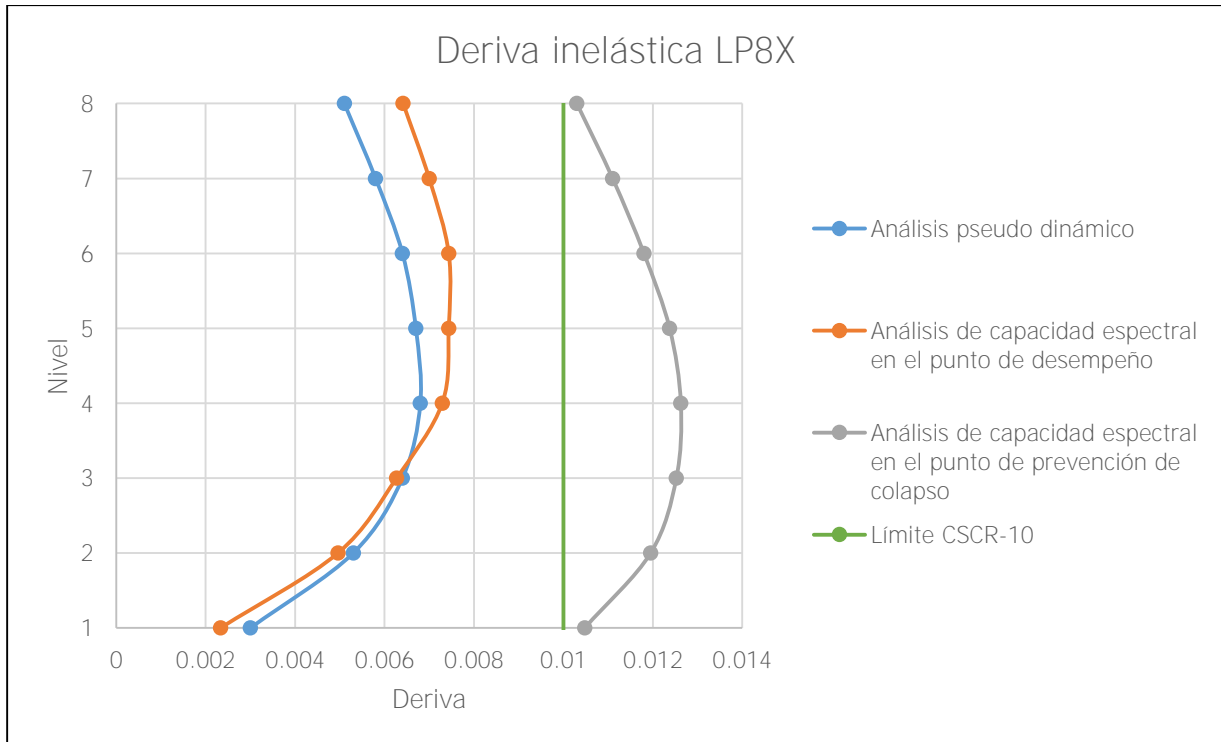


Figura 39. Deriva inelástica LP8X

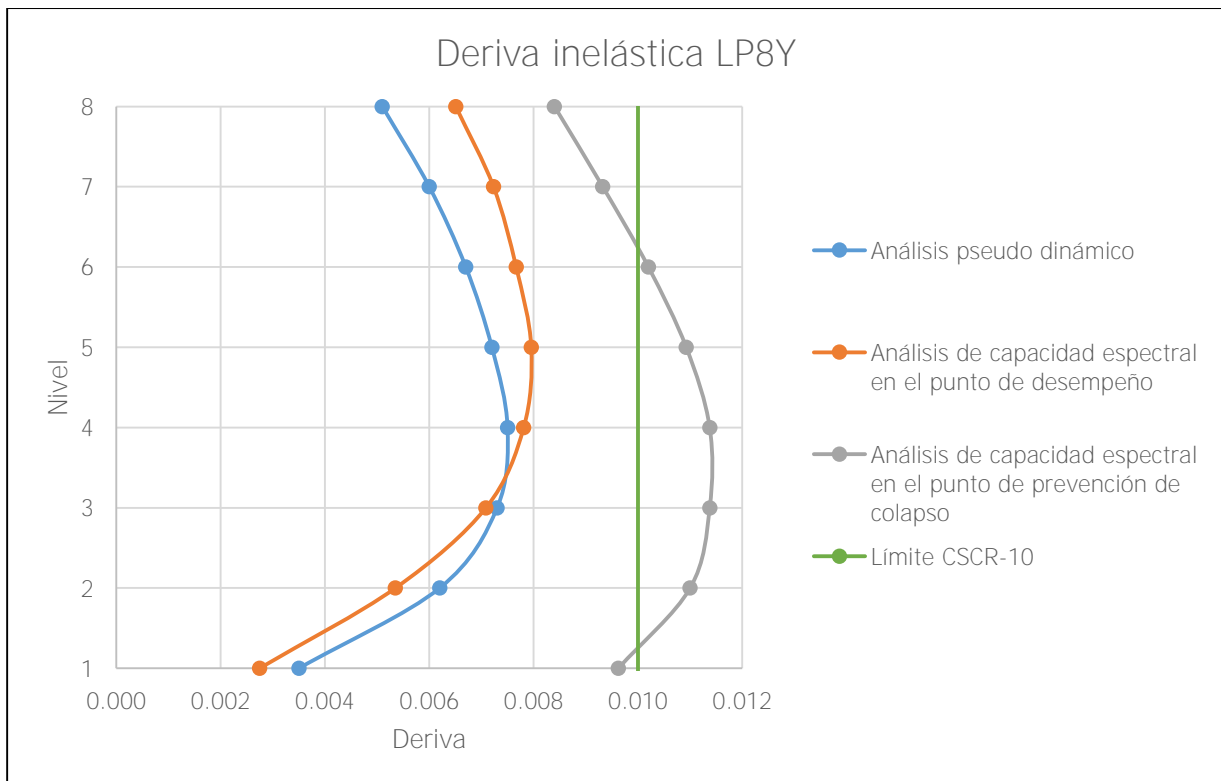


Figura 40. Deriva inelástica LP8Y

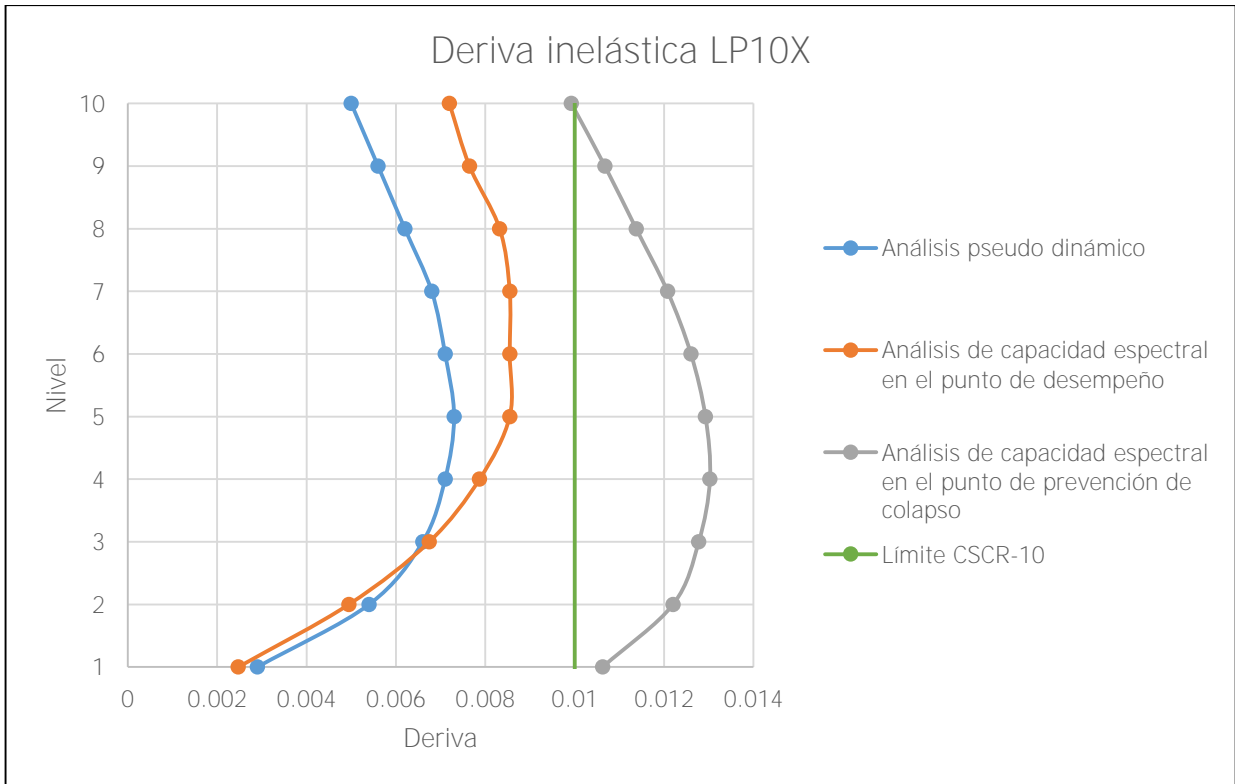


Figura 41. Deriva inelástica LP10X

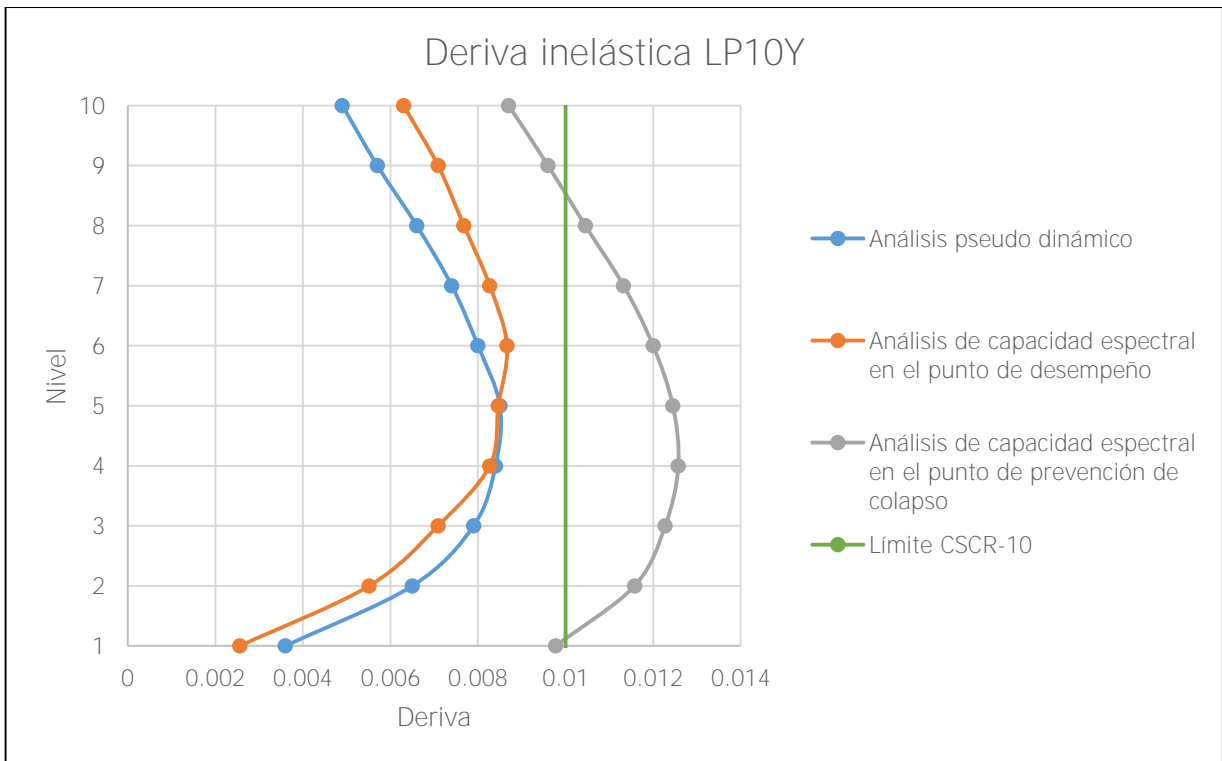


Figura 42. Deriva inelástica LP10Y

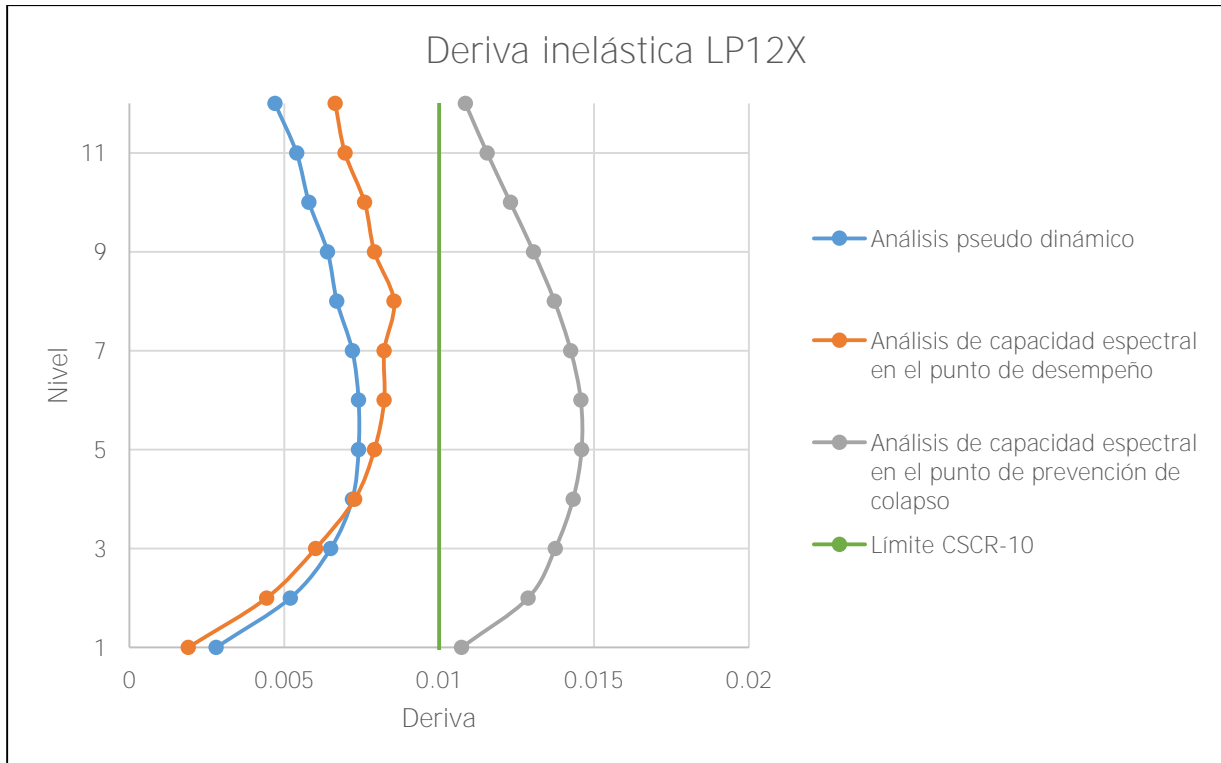


Figura 43. Deriva inelástica LP12X

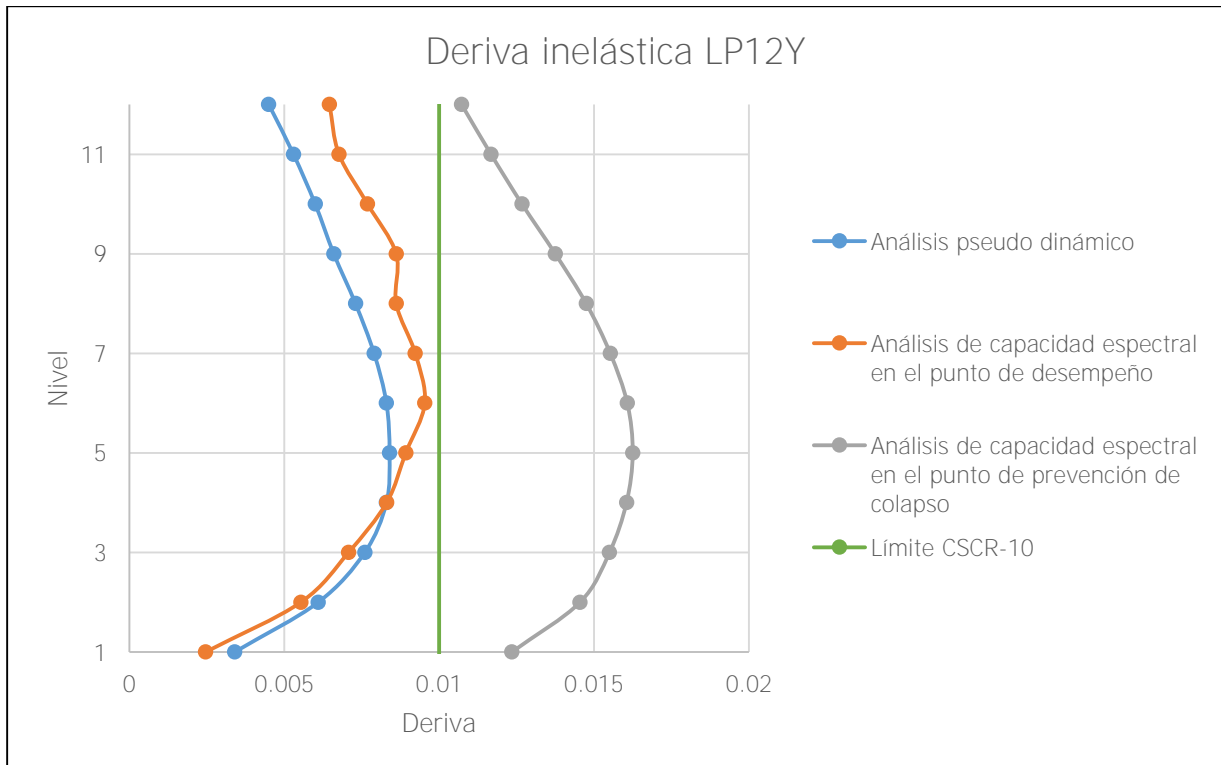


Figura 44. Deriva inelástica LP12Y

8.2.3 Curva de capacidad estructural y ductilidad en el punto de desempeño

Para determinar el punto de desempeño se utilizó el procedimiento del CSCR-10 y ASCE41-17 descritos en la sección 5.5 Método de capacidad espectral. En el Apéndice A: Cálculos para modelos con losas planas, sección A.3 Cálculo del punto de desempeño, se muestran los cuadros con las salidas del programa SAP2000 (cortantes basales y desplazamientos) que se transformaron a coordenadas del espectro inelástico.

Se observa que la ductilidad en el punto de desempeño, desde la Figura 46 hasta la Figura 55, disminuye conforme se aumentan los niveles en el modelo. Por lo tanto, el punto rojo de las figuras se desplaza hacia la derecha para buscar intersecar una curva con menor ductilidad, lo que implica un mayor desplazamiento inelástico en el punto de desempeño. Lo mismo ocurre para el punto de cedencia de la bilineal, que en cada modelo se desplaza más hacia la derecha.

Si se observan detenidamente las curvas de capacidad, se aprecia que la pendiente de las curvas disminuye conforme se incrementa el número de niveles en los modelos. Se recuerda que, para el análisis de capacidad espectral, los períodos para LP4, LP6, LP8, LP10 y LP12 fueron de 0,76s, 0,95s, 1,10s, 1,35s y 1,61s respectivamente. A continuación, se muestra una imagen tomada del ATC-40 (1996) donde se hace referencia a la determinación del punto de desempeño. Se grafican las curvas de demanda y el punto de desempeño en la intersección con una curva de capacidad. Se muestra, adicionalmente, un esbozo de las curvas de capacidad con períodos que varían desde 0,5s a 2s. Las curvas con menor período tienen una pendiente más empinada, mientras que las que tienen mayor período muestran una menor pendiente. Si se comparan las curvas de este trabajo final de graduación con las curvas de la Figura 45, se concluye que los resultados son aceptables, ya que no solo las curvas se van aplanando conforme el período aumenta, sino que se ajustan de manera razonable a la ubicación de las curvas de acuerdo al período.

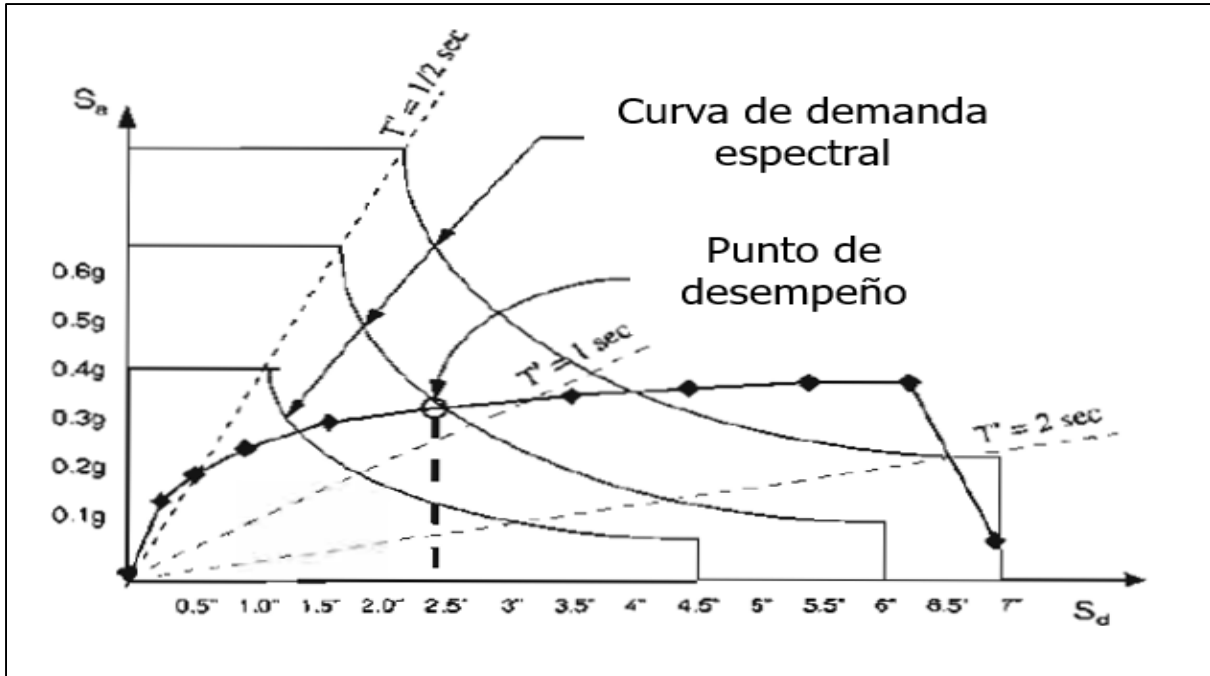


Figura 45. Determinación del punto de desempeño según el ATC-40

Fuente: Applied Technology Council, 1996

Modificado por Cuevillas, 2020

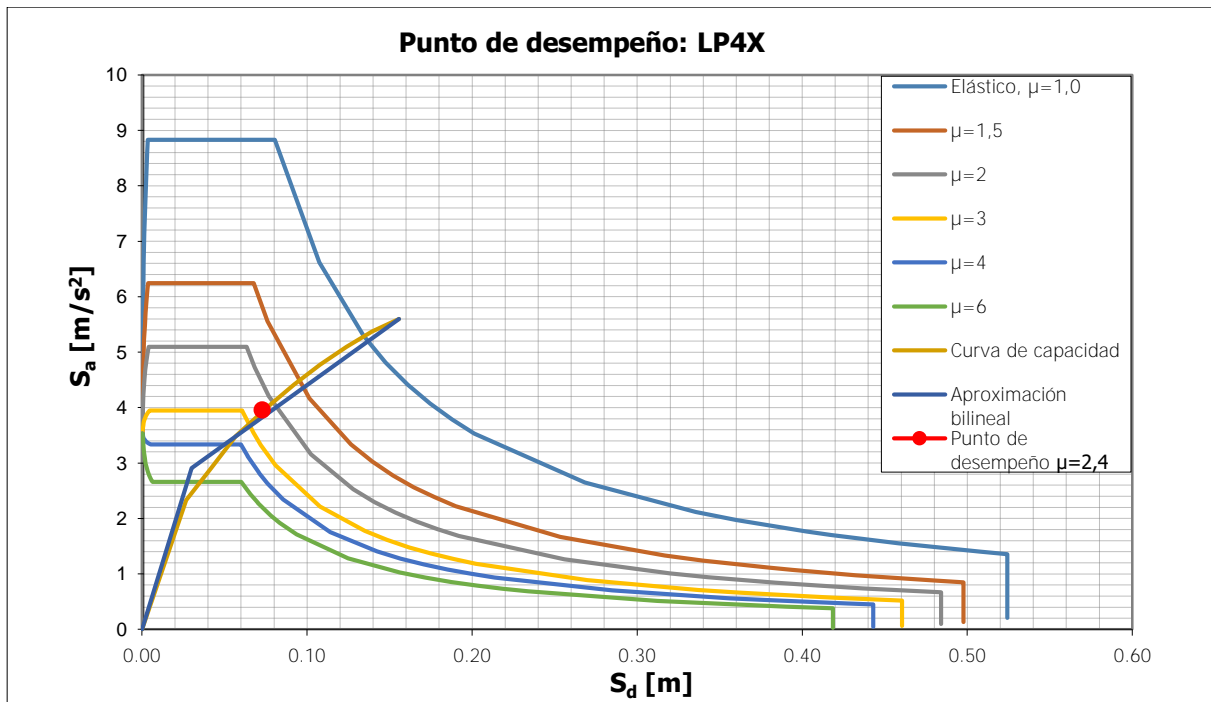


Figura 46. Punto de desempeño LP4X

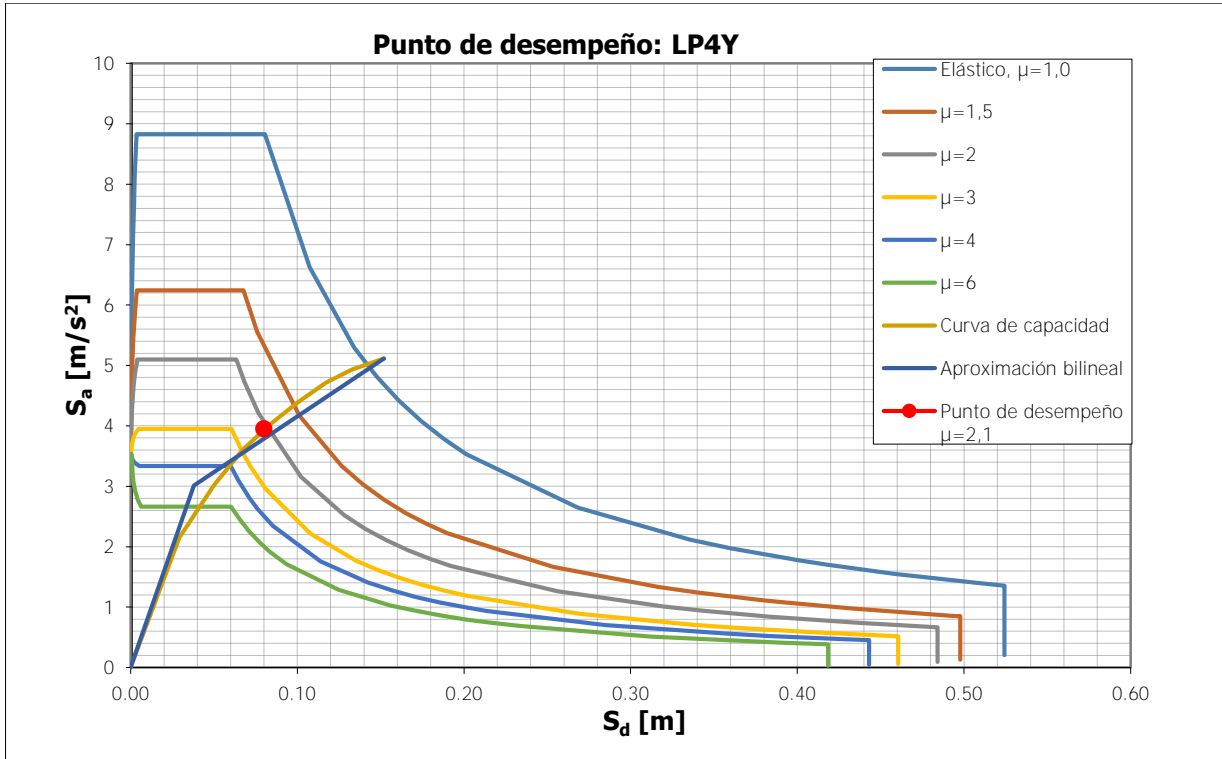


Figura 47. Punto de desempeño LP4Y

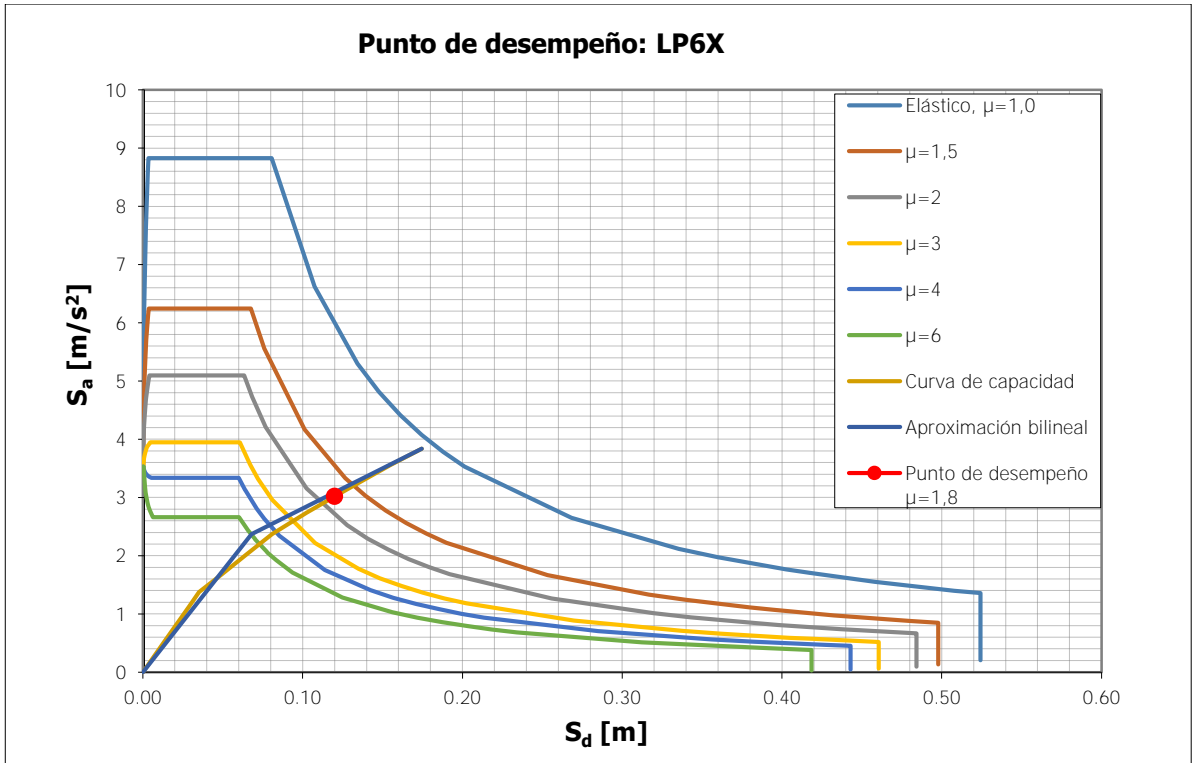


Figura 48. Punto de desempeño LP6X

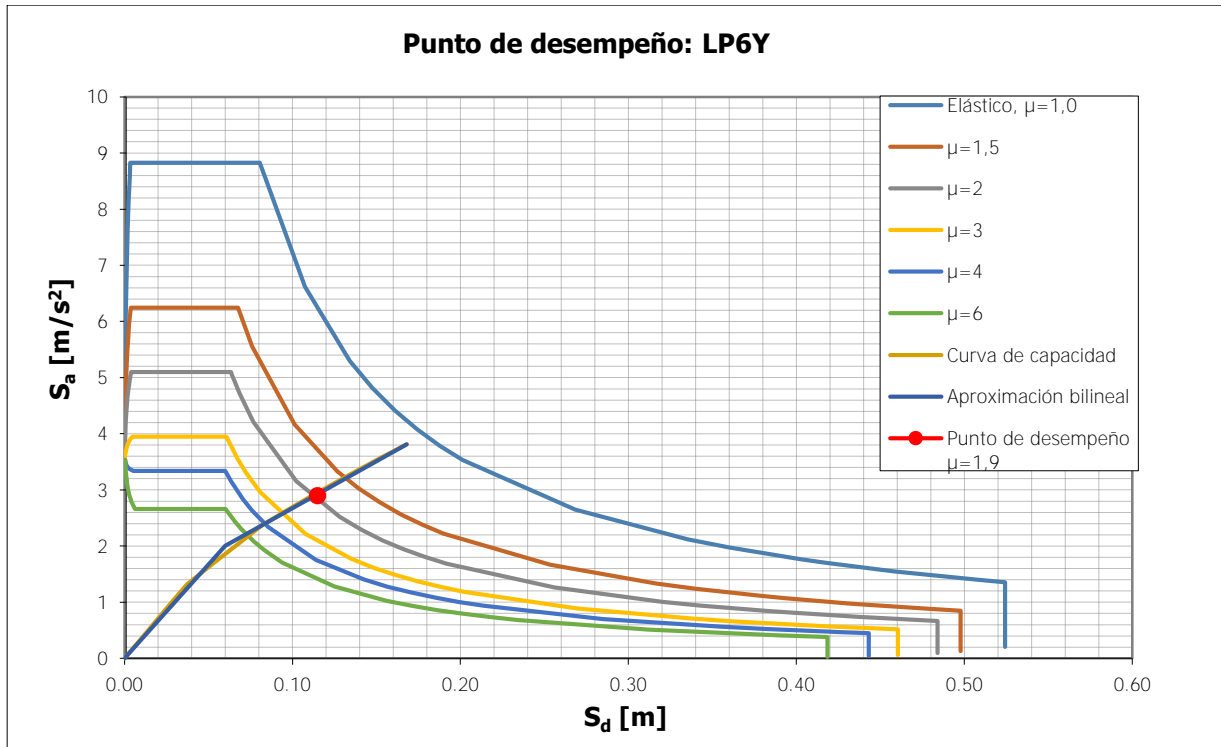


Figura 49. Punto de desempeño LP6Y

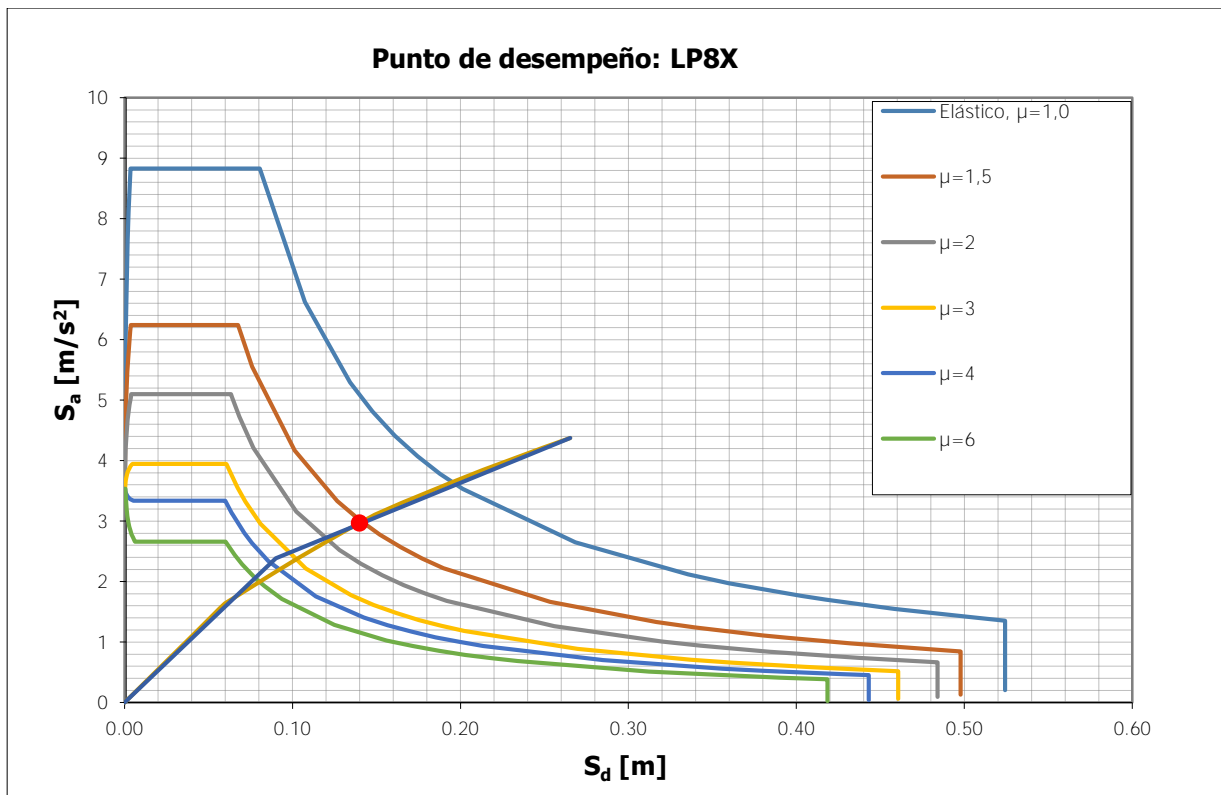


Figura 50. Punto de desempeño LP8X

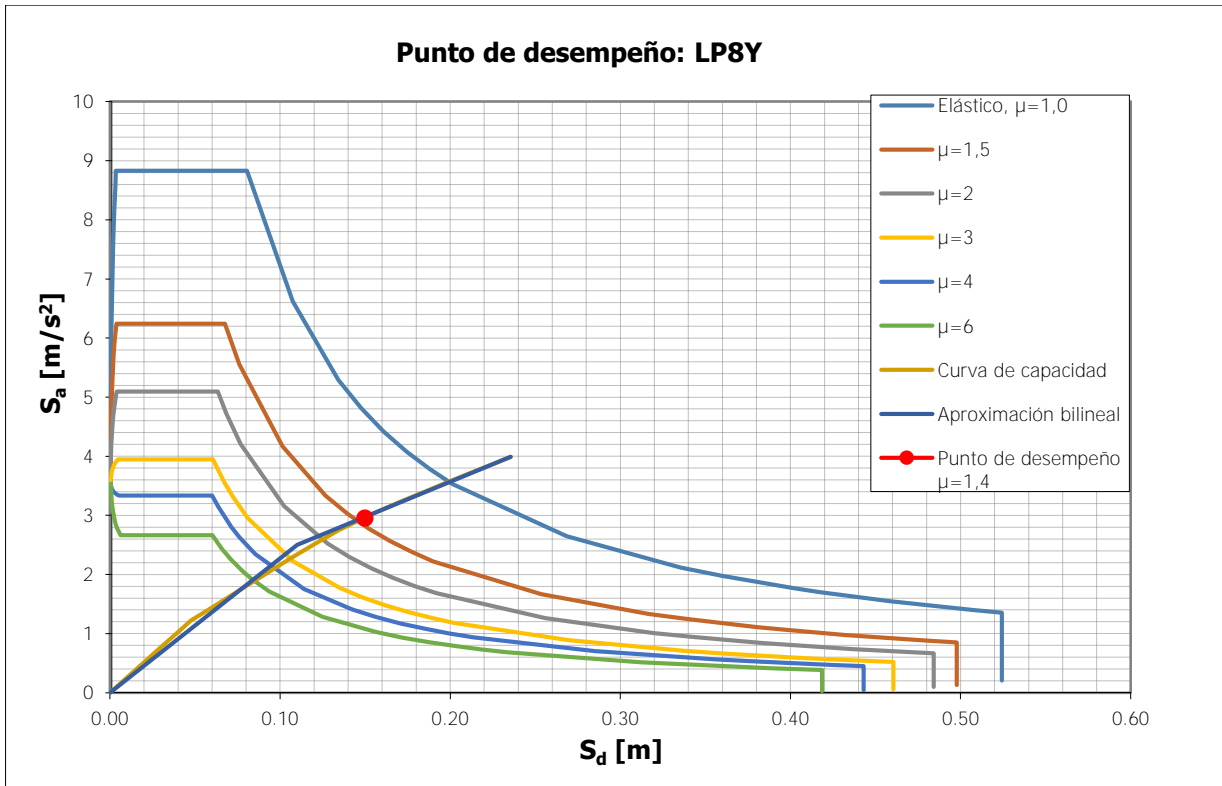


Figura 51. Punto de desempeño LP8Y

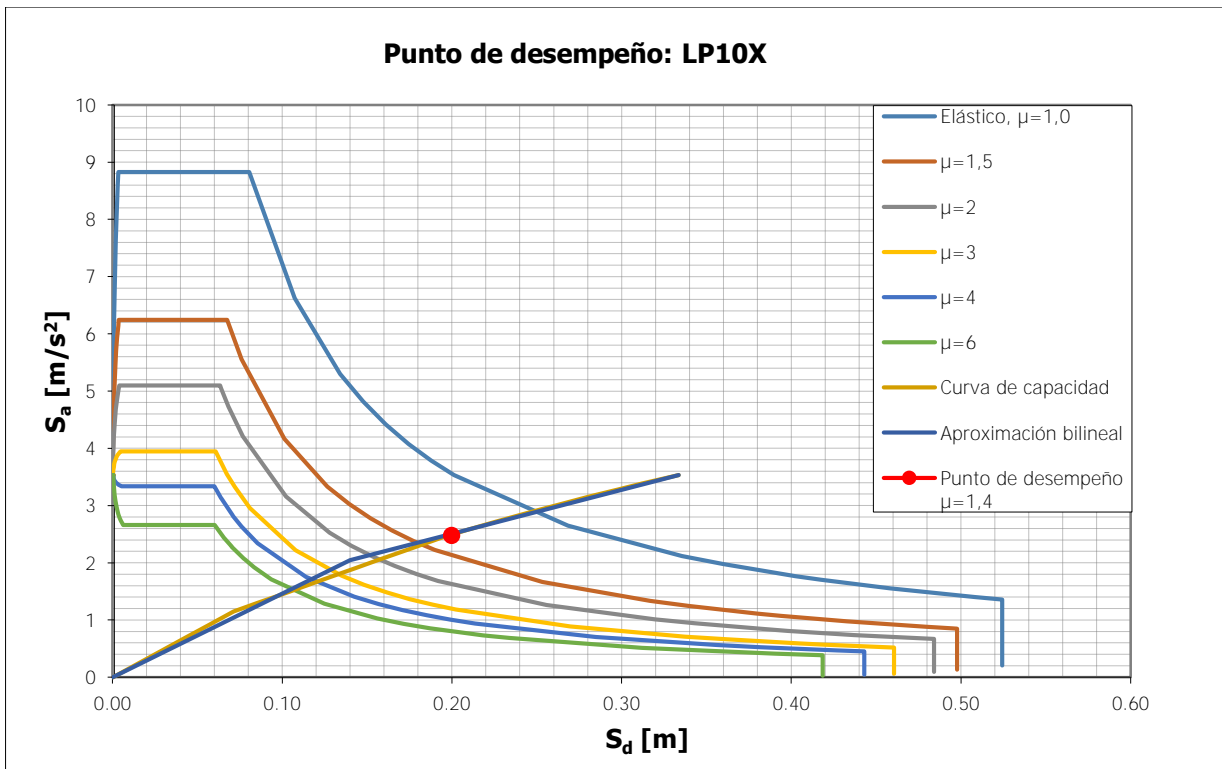


Figura 52. Punto de desempeño LP10X

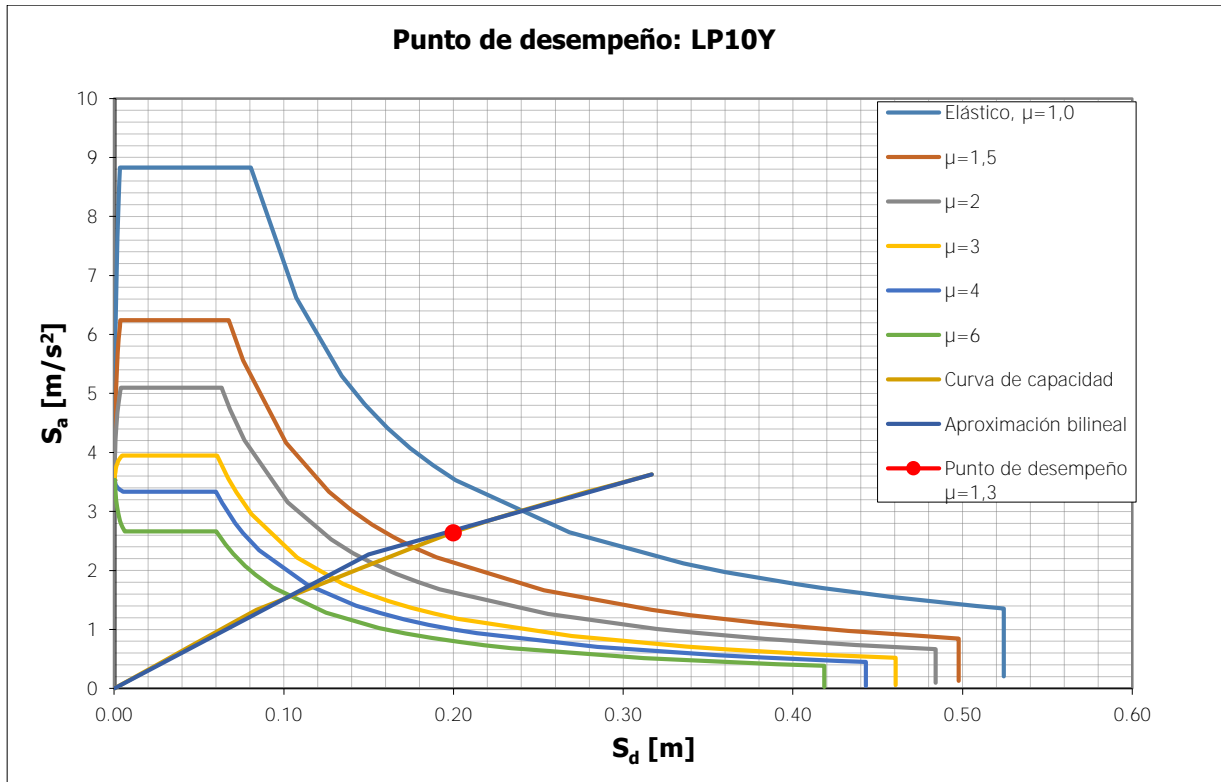


Figura 53. Punto de desempeño LP10Y

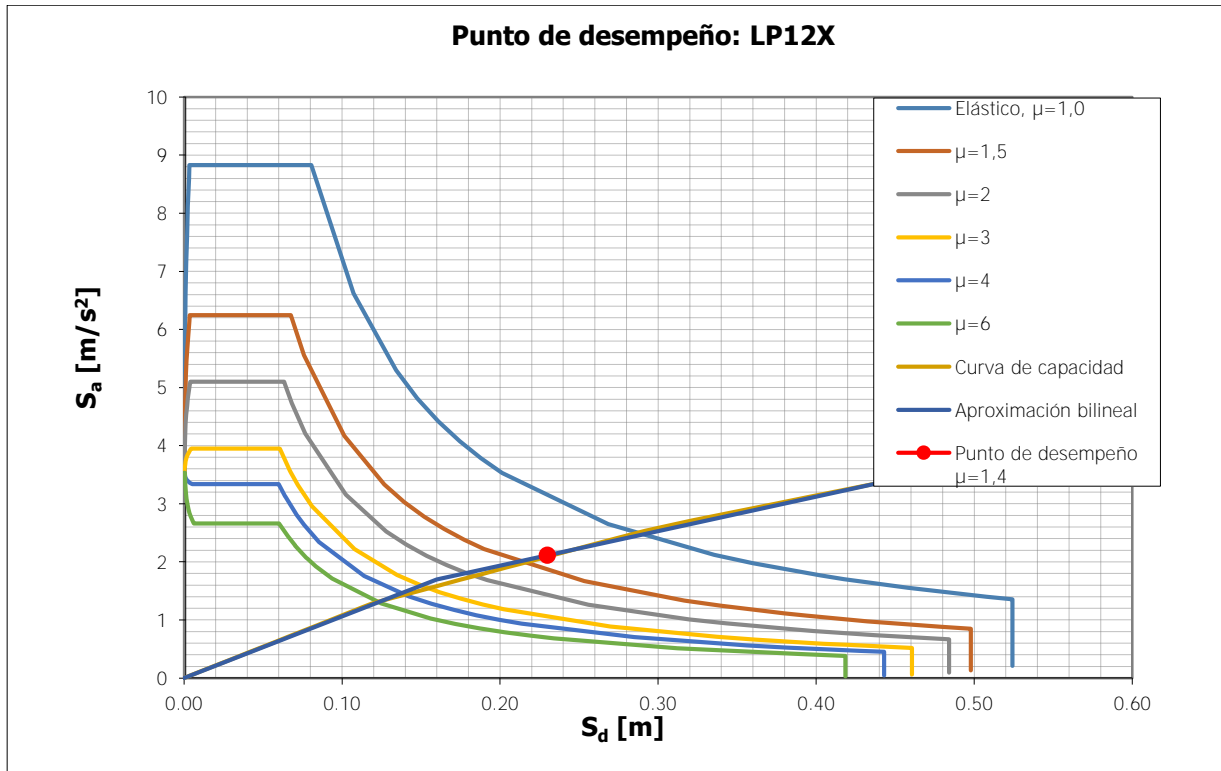


Figura 54. Punto de desempeño LP12X

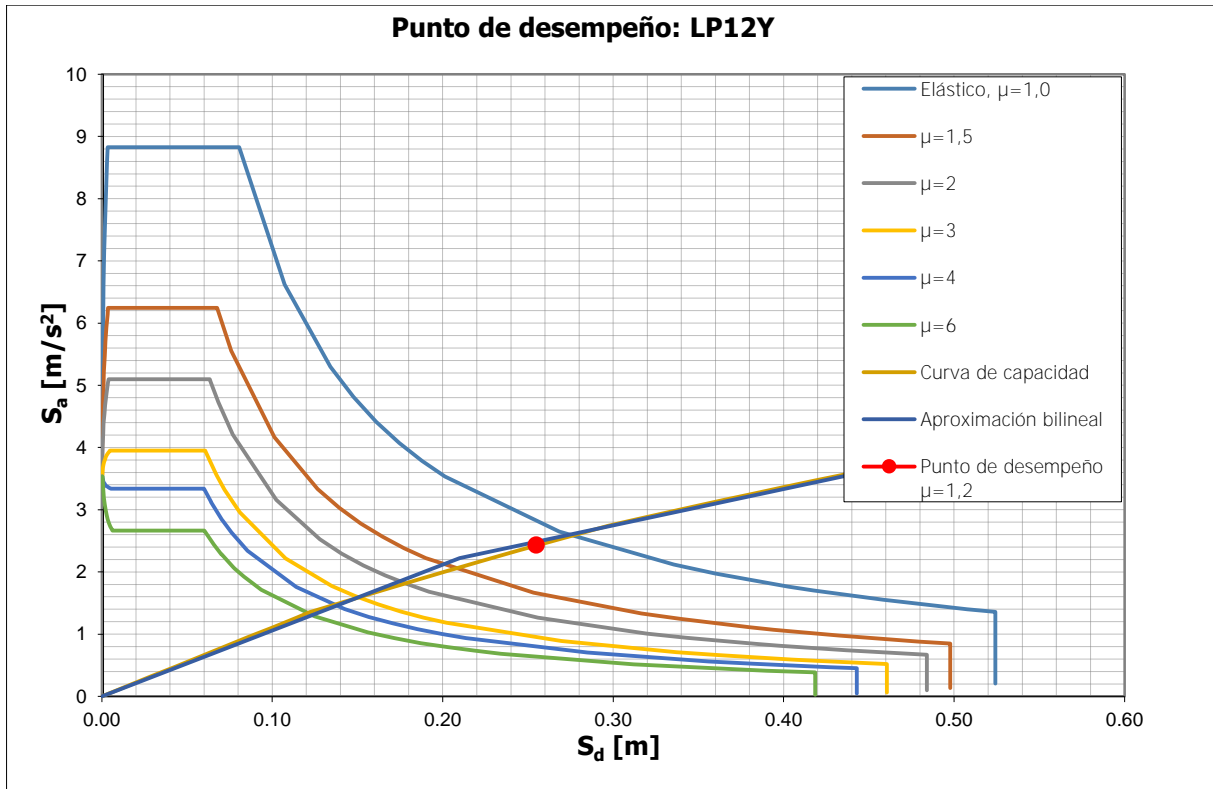


Figura 55. Punto de desempeño LP12Y

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de las ductilidades en el punto de desempeño de las figuras anteriores. Desde un inicio se definió una ductilidad de diseño con un valor de 2,0, como se muestra en la primera columna de cada dirección. En la tercera columna de cada dirección se define un factor α que representa la proporción entre la ductilidad en el punto de desempeño (μ) y la ductilidad de diseño ($\mu_{diseño}$). Si el factor es mayor a uno, implica que el sistema alcanzó la ductilidad de diseño en la proporción posterior a la unidad. Si el factor es menor que uno, implica que el modelo no alcanzó la ductilidad asignada para diseño y podría propiciarse una falla frágil. Cuando el factor es menor a la unidad, implica que se utilizaron fuerzas más pequeñas para el diseño de elementos, lo que puede representar un problema en los modelos con losas planas, especialmente en las zonas críticas como lo son las uniones losa-columna.

Del siguiente cuadro se desprende que únicamente el modelo de cuatro niveles alcanzó la ductilidad de diseño, mientras que los modelos con más niveles no cumplen con la ductilidad de diseño de 2. De manera gráfica, en la Figura 56 se demarca la ductilidad de diseño con una

línea horizontal y se muestra que únicamente en el modelo de cuatro niveles, las ductilidades sobrepasan el límite establecido.

Cuadro 22. Resumen de ductilidades en el punto de desempeño para los modelos del sistema de muros con LP

Modelo	Dirección X			Dirección Y		
	$\mu_{\text{diseño}}$	μ_i	Factor α	$\mu_{\text{diseño}}$	μ_i	Factor α
LP4	2,0	2,4	1,2	2,0	2,1	1,1
LP6	2,0	1,8	0,9	2,0	1,9	1,0
LP8	2,0	1,6	0,8	2,0	1,4	0,7
LP10	2,0	1,4	0,7	2,0	1,3	0,7
LP12	2,0	1,4	0,7	2,0	1,2	0,6

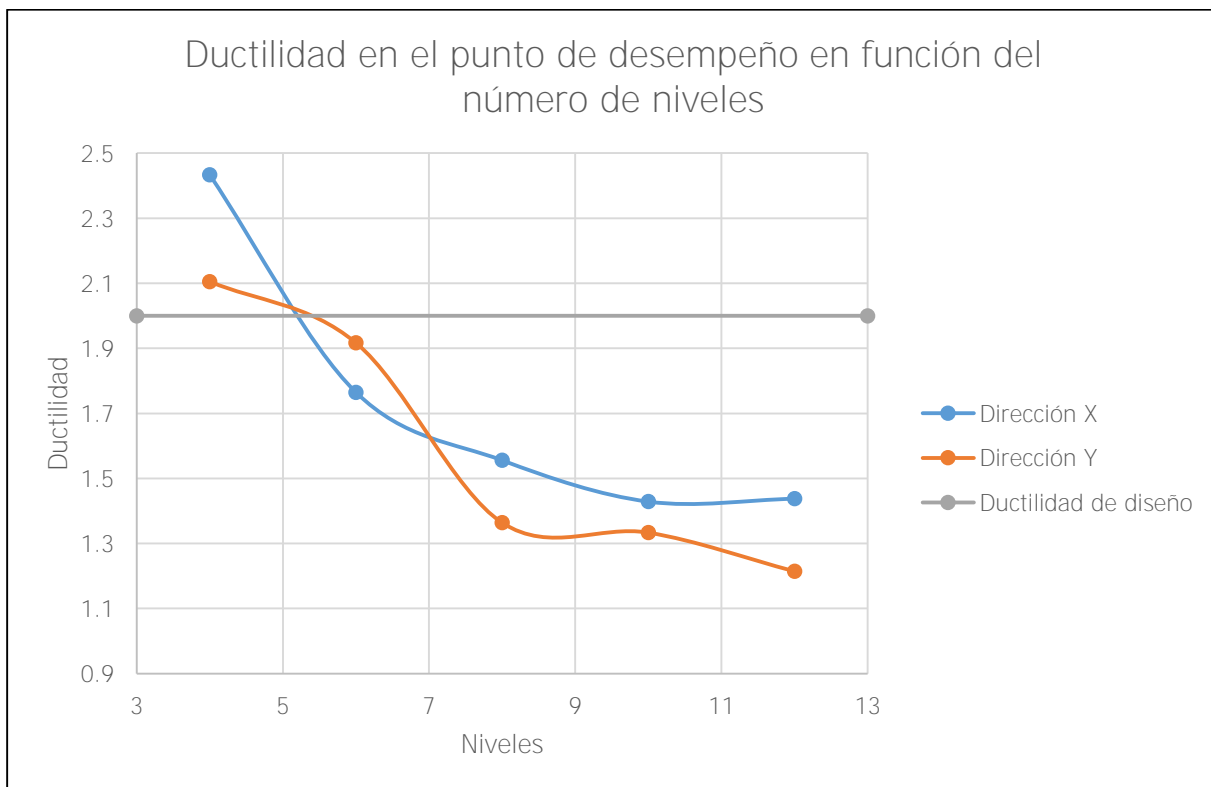


Figura 56. Ductilidad en el punto de desempeño obtenido del método de capacidad espectral para los modelos del sistema de muros con LP

En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos por la ingeniera Carolina Bogantes para sus modelos con losas planas con resistencia de 280 kg/cm². En su caso, los modelos de

cuatro y seis niveles alcanzan las ductilidades de diseño. En general, los resultados obtenidos en este trabajo final de graduación son congruentes con los resultados de la ingeniera Bogantes.

Cuadro 23. Resumen de ductilidades obtenidas por Carolina Bogantes (2019) para los modelos del sistema de muros con LP

		Bogantes, C (2019)		
Edificio	Resistencia [kg/cm²]	$\mu_{\text{diseño}}$	μ_i	Factor α
4 pisos	280	2,0	3,0	1,5
6 pisos	280	2,0	2,2	1,1
8 pisos	280	2,0	1,5	0,8
10 pisos	280	2,0	1,4	0,7
12 pisos	280	2,0	1,3	0,7

8.2.4 Cortantes basales

Como se conoce el desplazamiento en el punto de desempeño en coordenadas S_d , se puede calcular el valor de aceleración en coordenadas S_a a partir de una aproximación polinomial de cuarto grado, ya que es la función que mejor se ajusta a la curva de capacidad. En la Figura 57 se muestra la ecuación de mejor ajuste debajo de la gráfica. En este caso, el desplazamiento en el punto de desempeño tiene un valor de 0,073m entonces se evalúa ese punto en la variable "x" y se obtiene un valor de aceleración espectral de 3,9511 m/s².

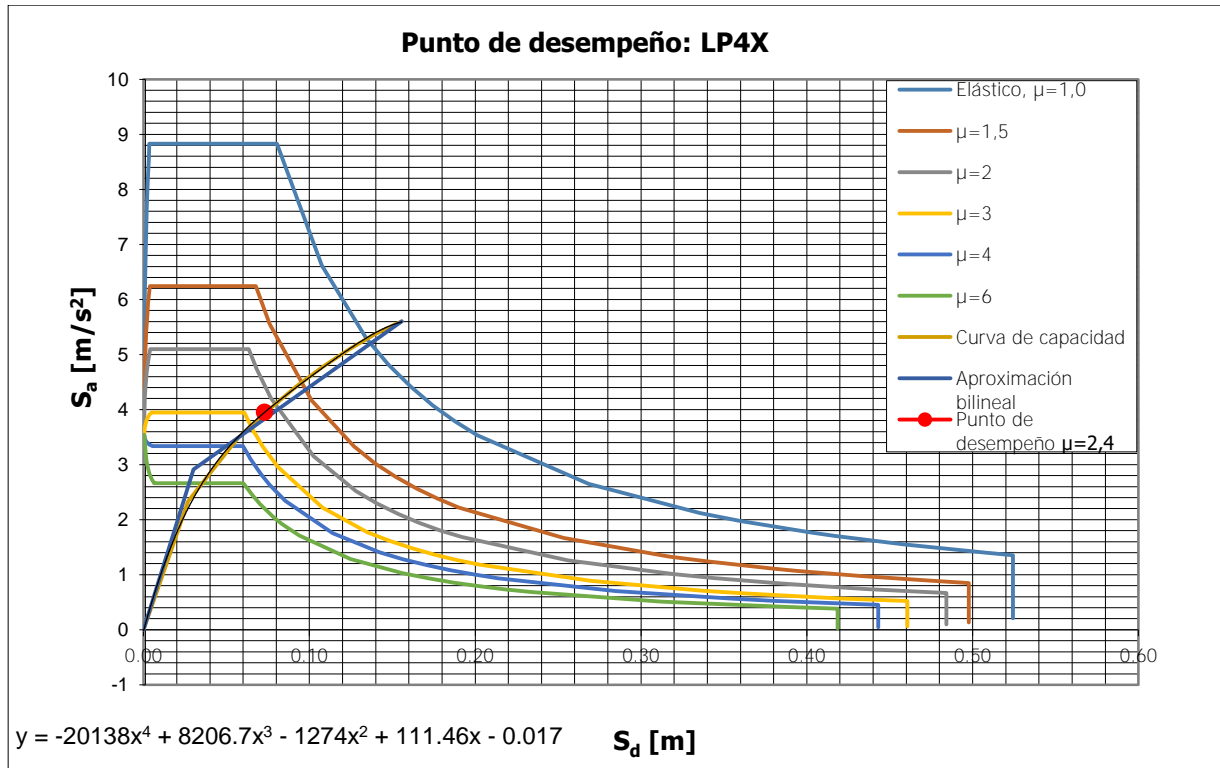


Figura 57. Aproximación polinomial de grado 4 de la curva de capacidad del sistema de muros con LP4X

Con el valor de S_a se puede utilizar la Ecuación 26 para calcular el cortante en la base en el punto de desempeño, utilizando la constante Λ del Cuadro 73. El cortante en este punto tiene un valor de 3242ton y se la llamará cortante en el punto de desempeño. También se obtiene el cortante en el punto de prevención de colapso, que es el primer punto en las salidas de SAP2000, donde se presenta una rótula en el límite de prevención de colapso. Este punto depende de la definición de las propiedades de las rótulas, por lo que no se puede asegurar el patrón que se venía manejando de que los cortantes son mayores en la dirección Y que en la dirección X . En el siguiente cuadro se resumen los cortantes basales en los dos puntos.

Cuadro 24. Fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema de muros con LP

Modelo	Cortante basal dirección X [ton]		Cortante basal dirección Y [ton]	
	Punto de desempeño	Punto de prevención de colapso	Punto de desempeño	Punto de prevención de colapso
LP4	3242	4596	3277	4245
LP6	3673	4674	3582	4719
LP8	4846	7151	4877	6603
LP10	5083	7260	5514	7585
LP12	5235	8354	6170	9735

En las siguientes dos figuras que se muestra a continuación se grafican, a manera de ejemplo para todos los modelos, el cortante basal en el punto de desempeño para el modelo LP4X con un valor de 3242ton y el cortante basal en el punto de prevención de colapso con un valor de 4596ton. A diferencia del análisis pseudo dinámico, estas curvas son siempre crecientes (en el pseudo dinámico alcanza un valor máximo de cortante basal en el desplazamiento elástico y se mantiene constante hasta alcanzar el desplazamiento inelástico). Se recuerda que, en el análisis inelástico, los elementos se desarrollan en el rango plástico, por lo que las curvas se mantienen crecientes hasta alcanzar el punto de desempeño o el de prevención de colapso. Los valores utilizados para generar la gráfica se pueden analizar con mayor detalle en el Apéndice A: Cálculos para modelos con losas planas en el Cuadro 74. En la siguiente sección se hará una superposición de las tres figuras de cortante en la base para obtener la sobrerresistencia.

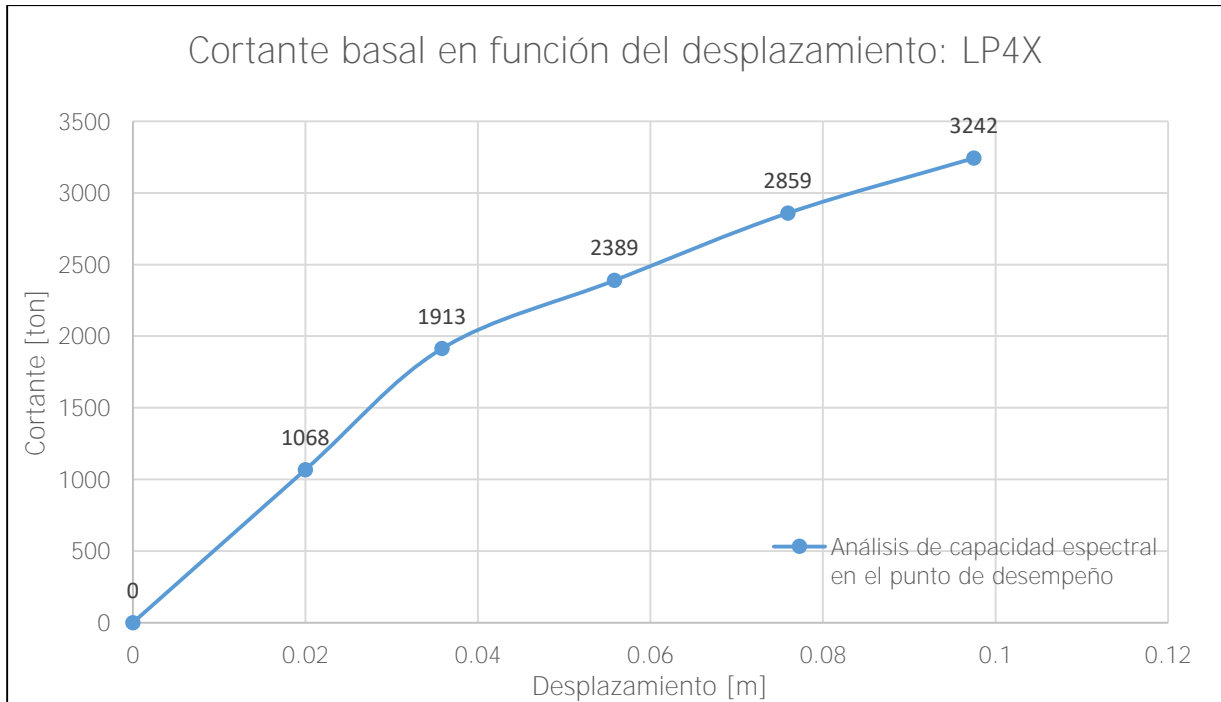


Figura 58. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP4X

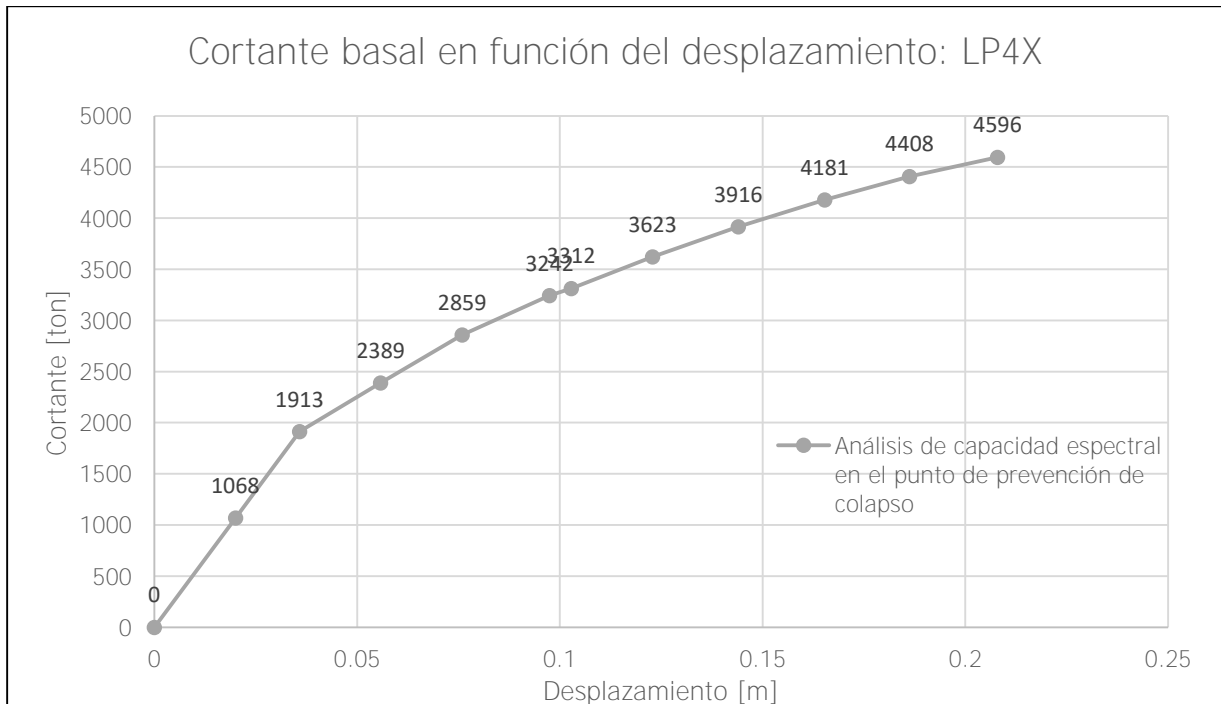


Figura 59. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP4X

En la próxima figura se presentan los datos del Cuadro 24 de manera gráfica. En la mayoría de los casos se mantiene la tendencia de que los cortantes en el sentido Y son mayores a los del sentido X .

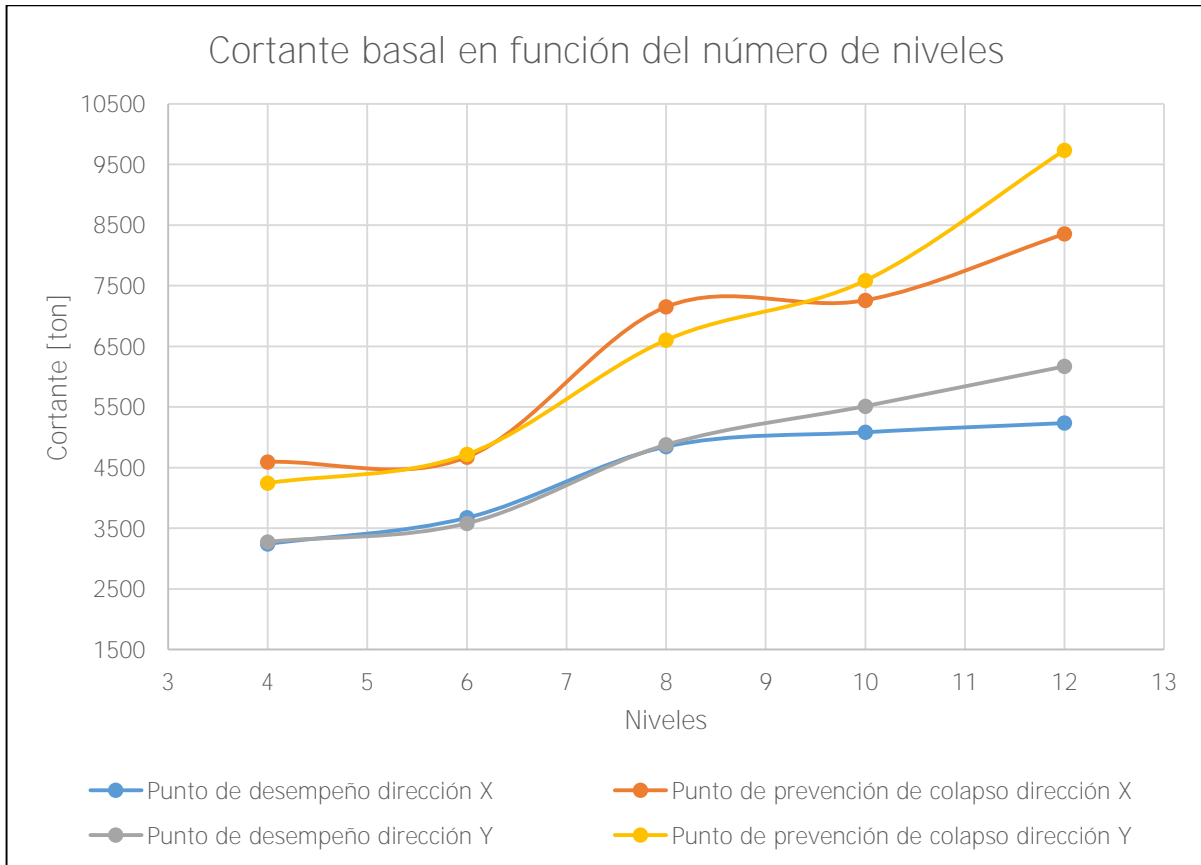


Figura 60. Gráfica de las fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema de muros con LP

8.2.5 Sobrerresistencia

La sobrerresistencia toma en cuenta la diferencia entre la resistencia real de los materiales utilizados y los especificados, la diferencia entre lo especificado por el diseñador y la demanda considerada, redundancia presente en las estructuras, sobrestimación de cargas y proceso constructivo, entre otras. En la sección de cortante basal para el análisis pseudo dinámico y el análisis de capacidad espectral se mostraron tres figuras, las cuales se superponen a continuación para cada modelo en ambas direcciones, para calcular la sobrerresistencia.

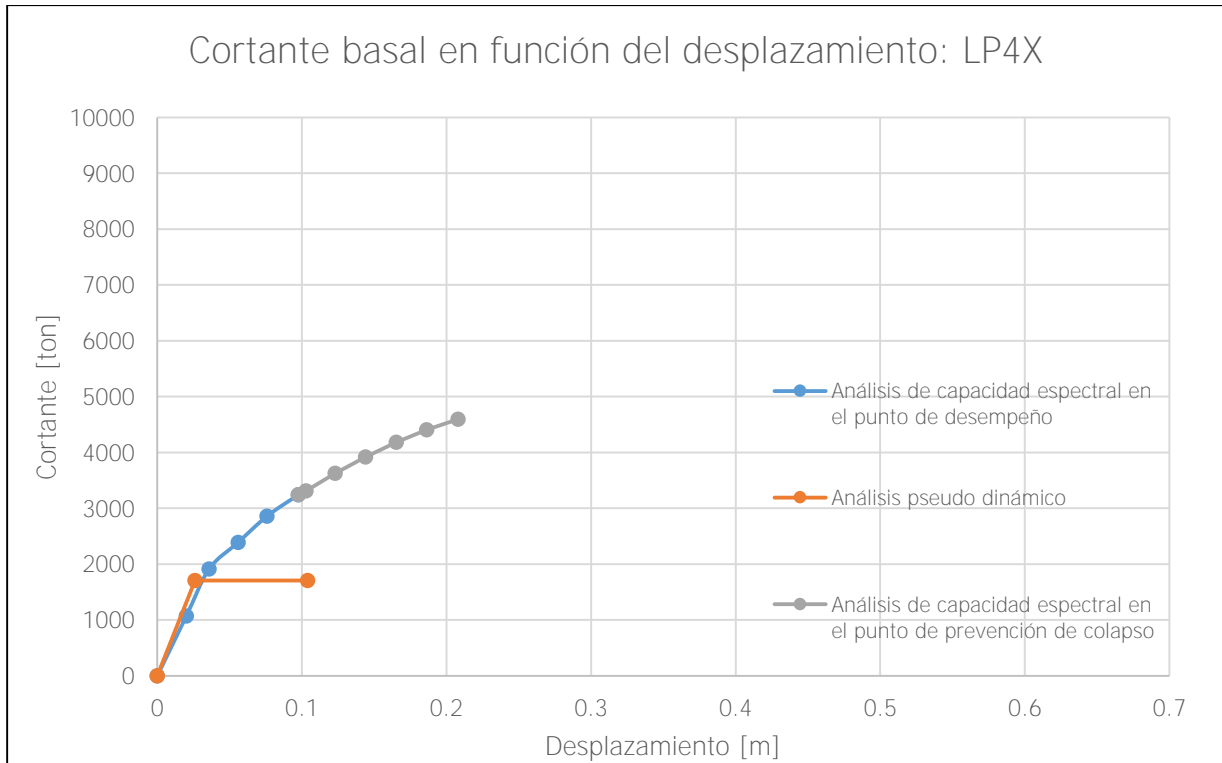


Figura 61. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP4X

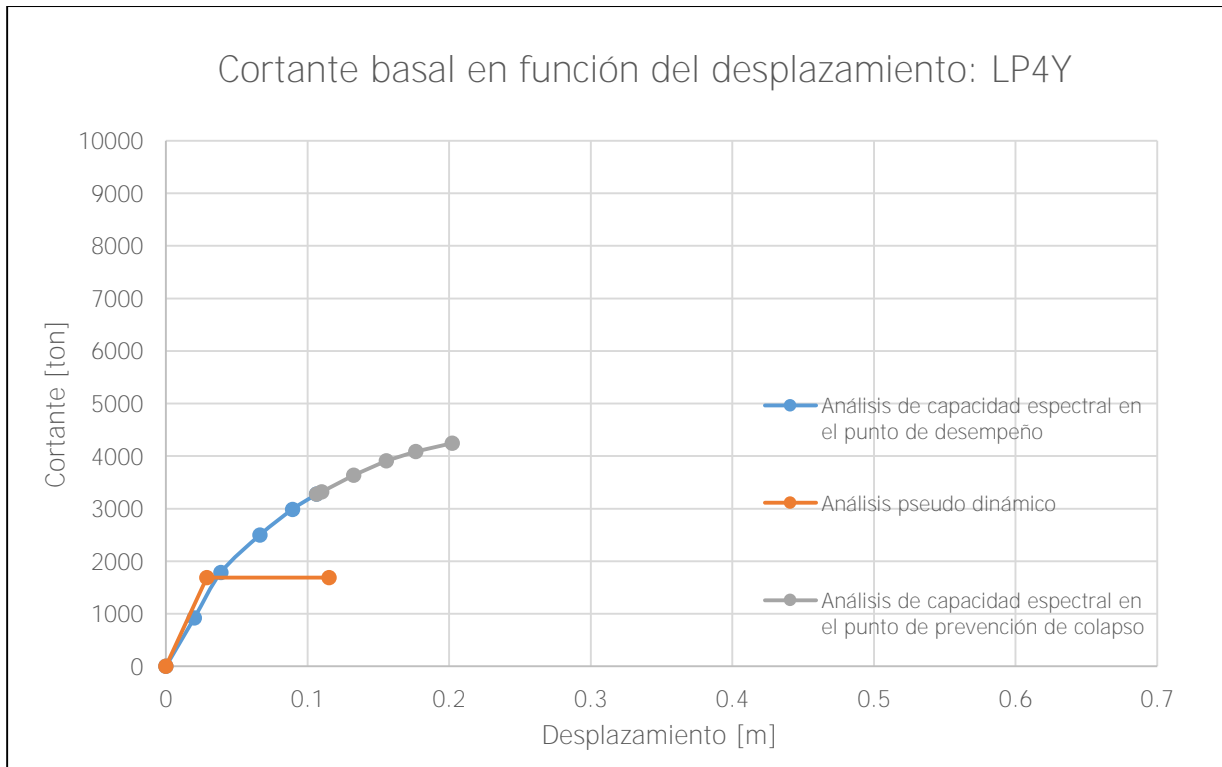


Figura 62. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP4Y

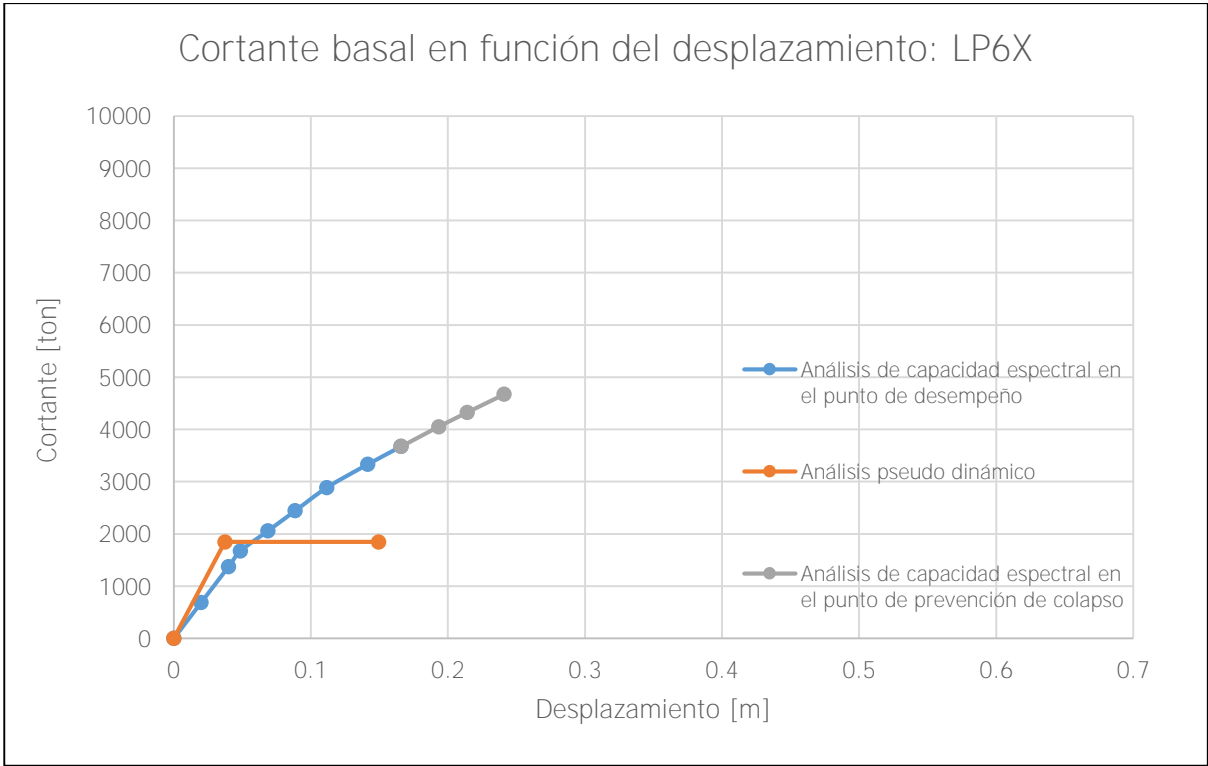


Figura 63. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP6X

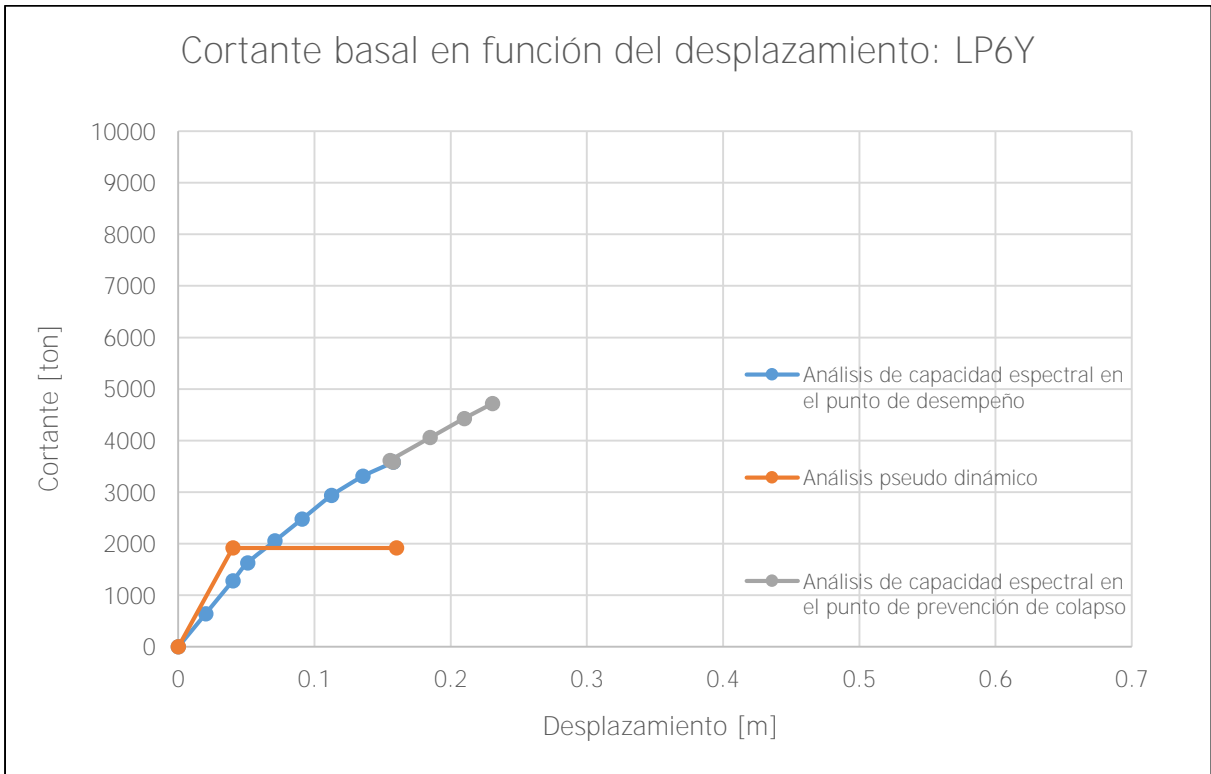


Figura 64. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP6Y

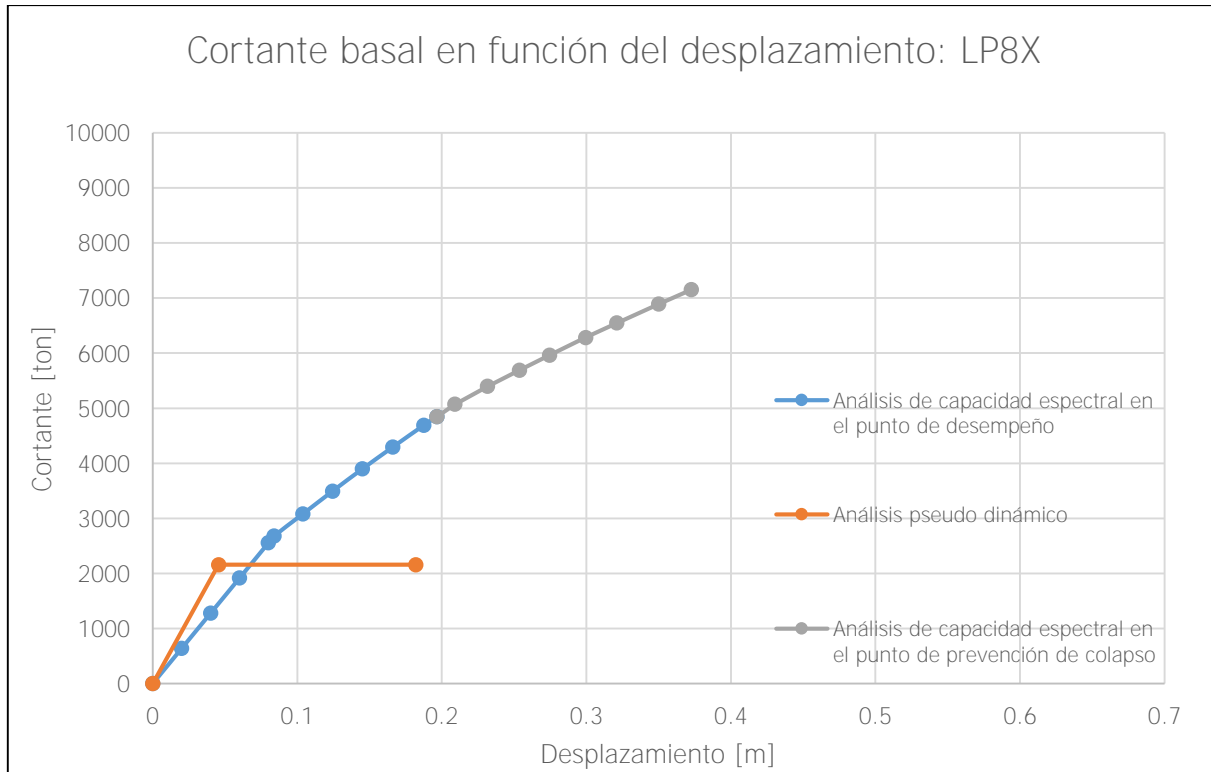


Figura 65. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP8X

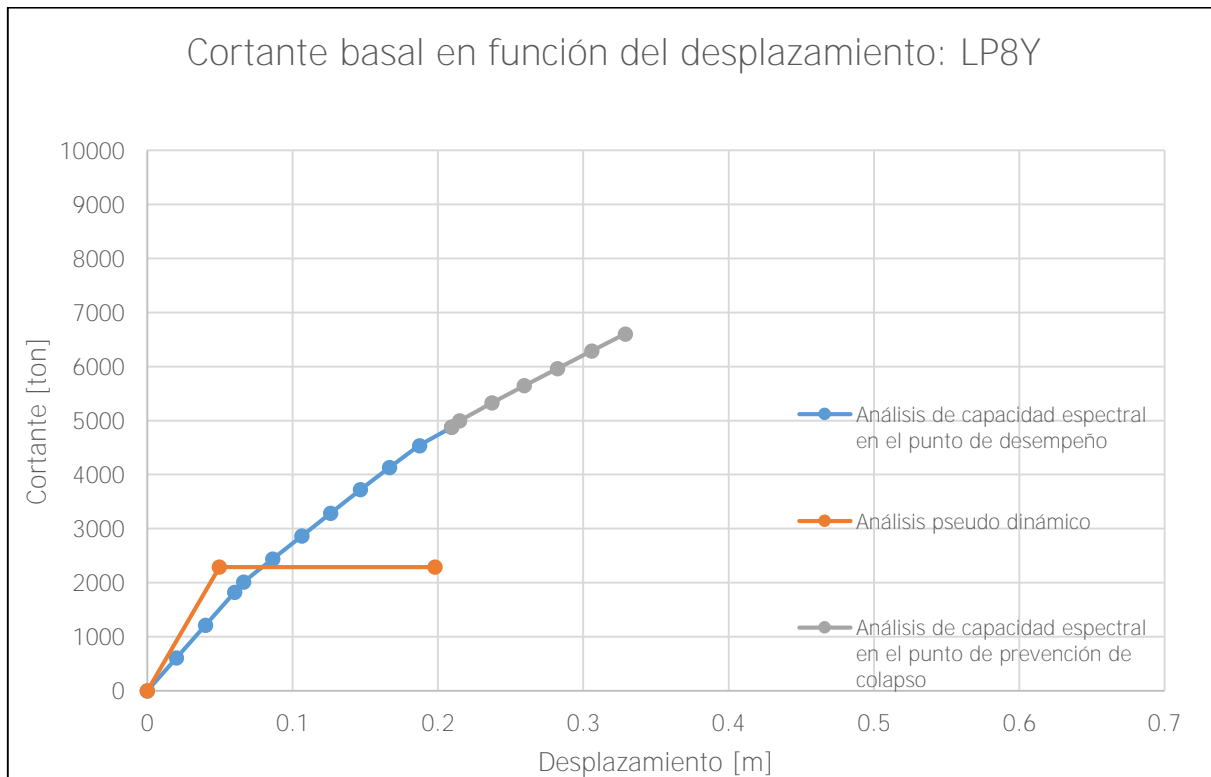


Figura 66. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP8Y

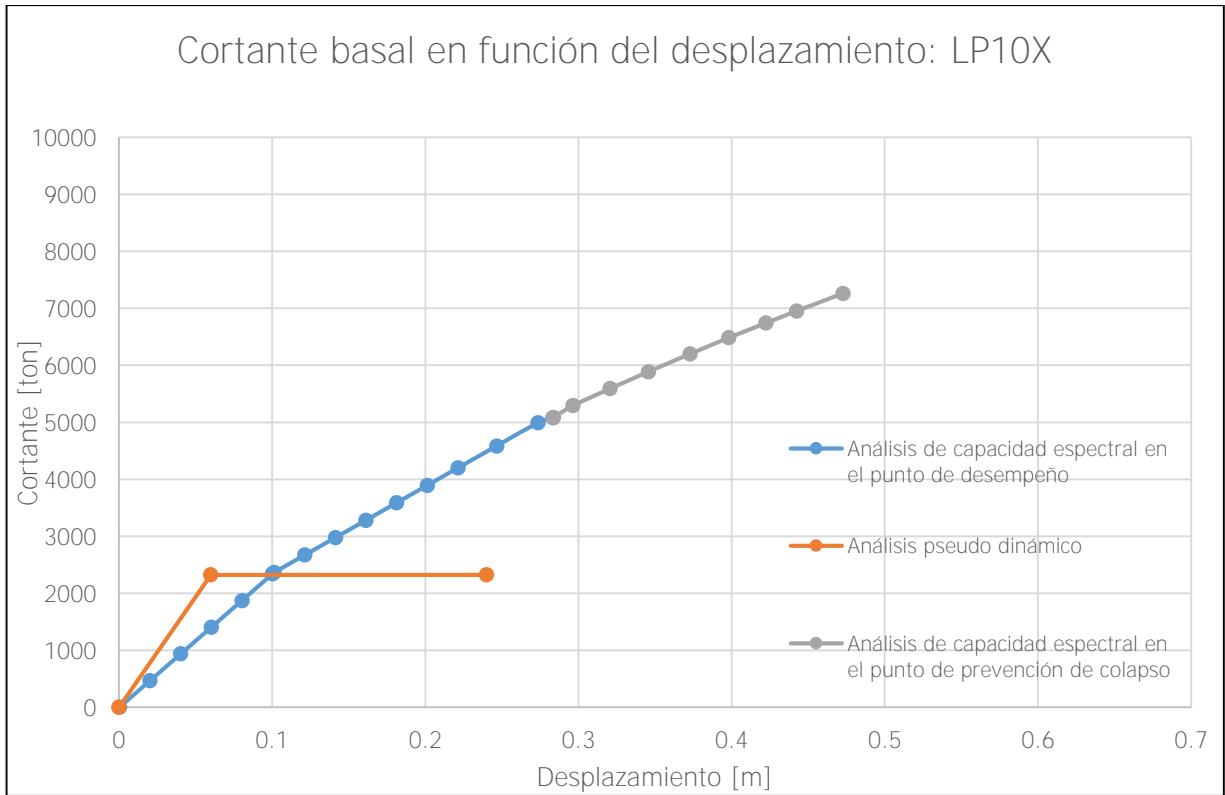


Figura 67. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP10X

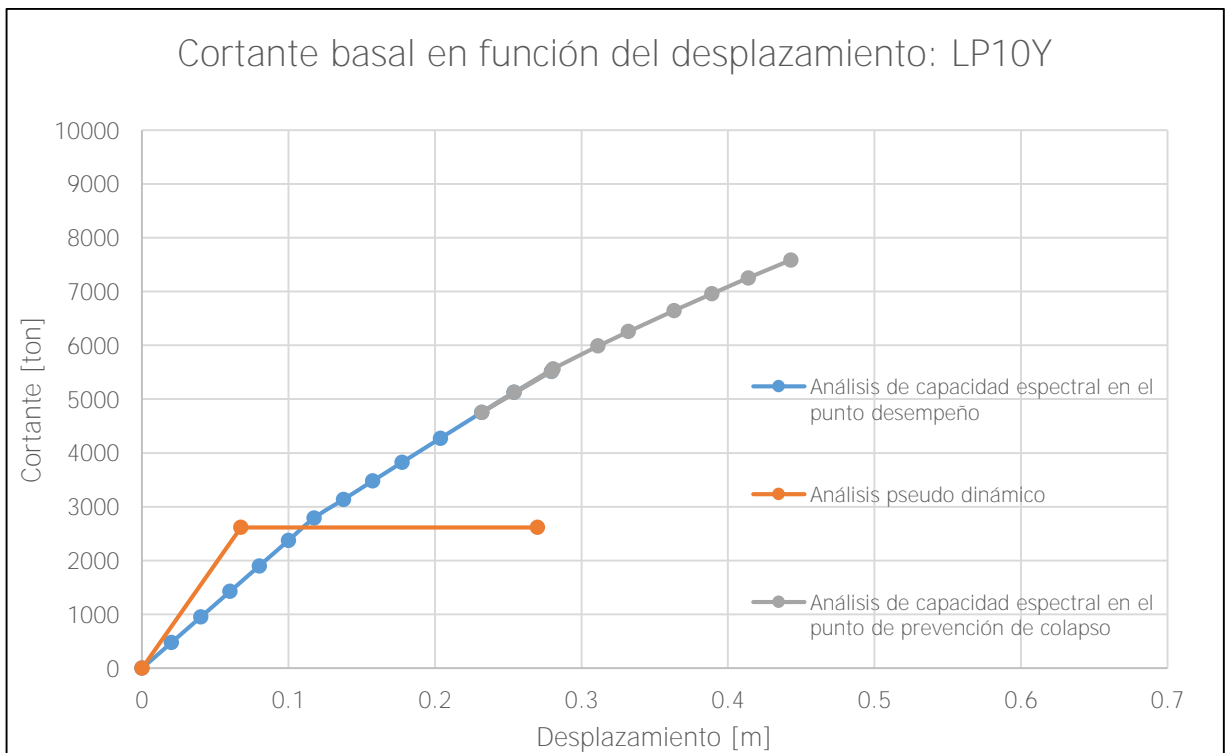


Figura 68. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP10Y

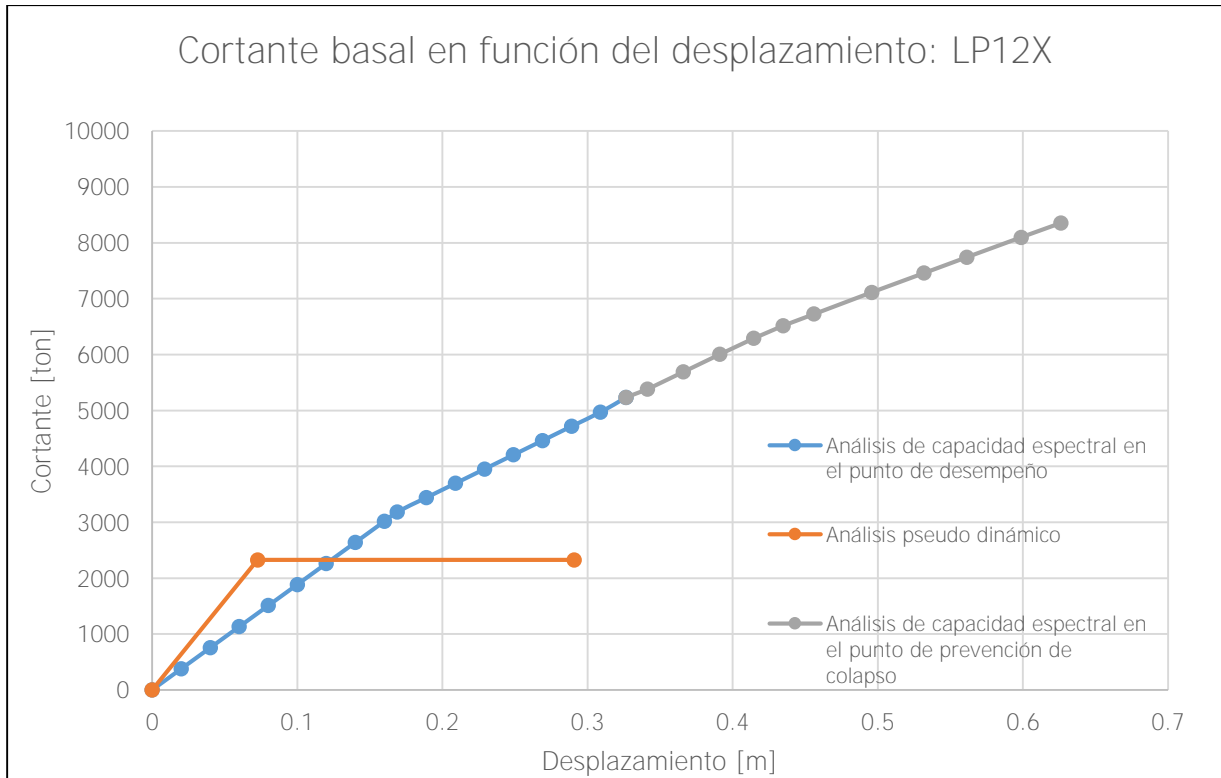


Figura 69. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP12X

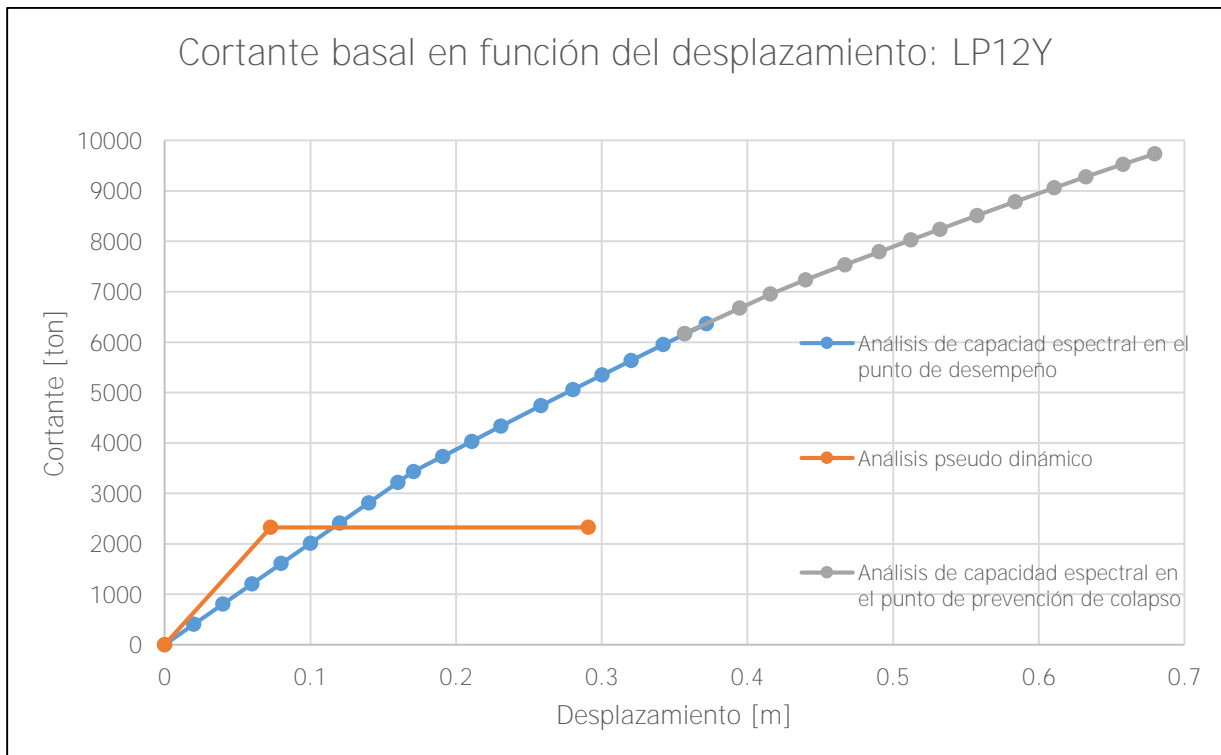


Figura 70. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia LP12Y

Utilizando los valores máximos de cortante de las figuras anteriores, se crea el siguiente cuadro con las sobrerresistencias en el punto de desempeño y en el punto de prevención de colapso. A pesar de que únicamente interesa el punto de desempeño, ya que es el punto óptimo en el que se debe desarrollar la estructura, también se determina la sobrerresistencia el punto de prevención de colapso para confirmar que la sobrerresistencia tiene una tendencia creciente conforme se aumentan los niveles en el modelo. A pesar de que los modelos de cuatro niveles y seis niveles tienen sobrerresistencias de 1,9 y el valor de diseño se definió como 2,0, se puede concluir que son resultados lo suficientemente cercanos como para asegurar que los modelos con losas planas cumplen con este criterio. En la Figura 71 se grafican los valores obtenidos del análisis de capacidad espectral para el punto de desempeño.

La redundancia estructural permite que los elementos puedan deformarse más allá del rango elástico para disipar energía. En la estructura se genera una redistribución de esfuerzos, donde los elementos menos cargados pueden asumir más carga una vez que trabajen en el rango inelástico. Por lo tanto, es de esperar que a mayor número de niveles en un modelo y, por ende, al tener un mayor número de elementos que pueden tomar carga como muros, vigas y columnas, la sobrerresistencia aumentará también. Este comportamiento se puede corroborar en el siguiente cuadro.

Cuadro 25. Resumen de sobrerresistencias obtenidas mediante el método de capacidad espectral para los modelos del sistema de muros con LP

Modelo	Ambas direcciones	Dirección X		Dirección Y	
	Diseño	Punto de desempeño	Punto de prevención de colapso	Punto de desempeño	Punto de prevención de colapso
LP4	2,0	1,9	2,7	1,9	2,5
LP6	2,0	2,0	2,5	1,9	2,5
LP8	2,0	2,2	3,3	2,1	2,9
LP10	2,0	2,2	3,1	2,1	2,9
LP12	2,0	2,1	3,4	2,2	3,5

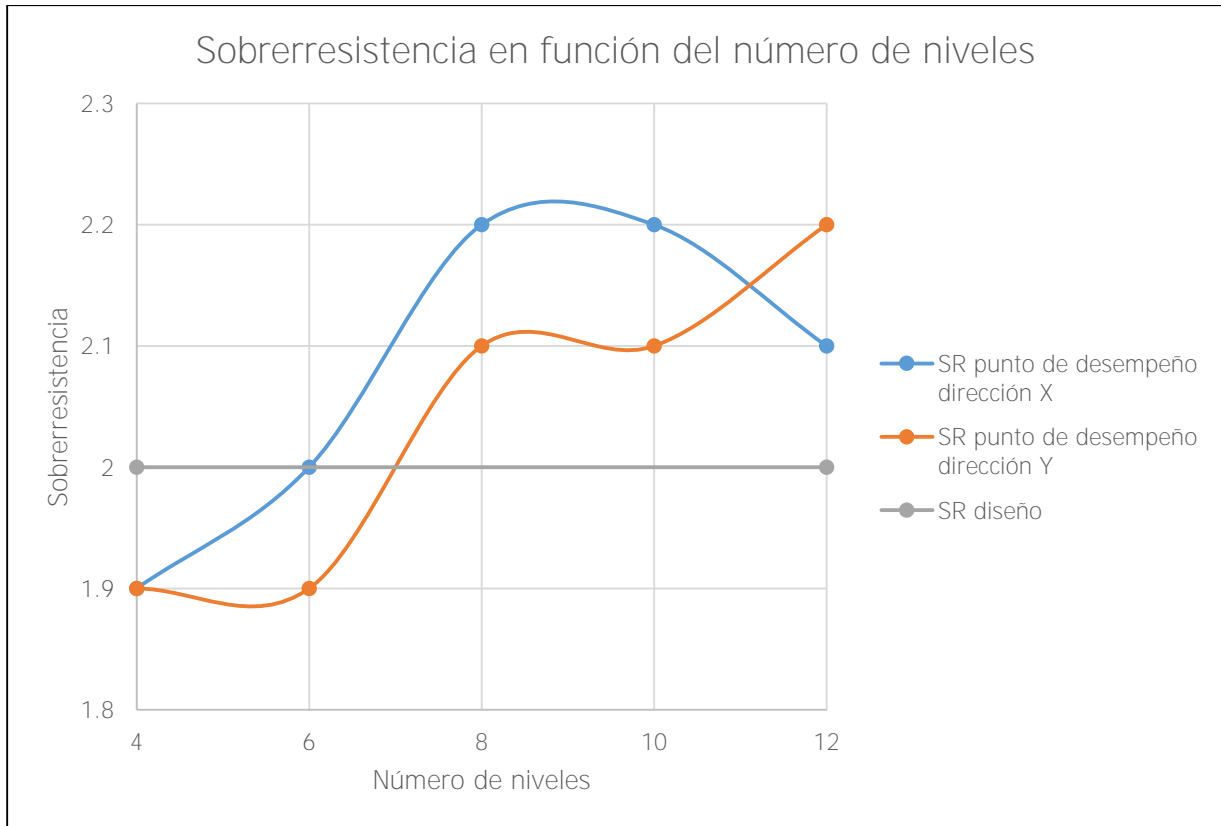


Figura 71. Sobrerresistencia en el punto de desempeño según el número de niveles para los modelos del sistema de muros con LP

Capítulo 9: Resultados de los modelos del sistema estructural tipo muro convencional

9.1 Análisis pseudo dinámico

9.1.1 Período

En el siguiente cuadro se muestran los períodos obtenidos del análisis pseudo dinámico para los modelos del sistema tipo muro y dual. La diferencia entre estos modelos se verá en el análisis de capacidad espectral, ya que la definición de las rótulas difiere entre ambos modelos. Sin embargo, para el análisis elástico, la distribución de la planta y las propiedades de los elementos son idénticas. Al igual que para el modelo con losas planas y conforme a la ecuación de período (T), al aumentar la cantidad de pisos en el modelo y, por ende, la masa de la estructura, el período incrementa. El comportamiento de los modelos del sistema tipo muro y dual es acorde a la teoría.

Cuadro 26. Períodos de acuerdo con el análisis pseudo dinámico de los modelos del sistema tipo muro y dual

Modelo	Período [s]
M4 y D4	0,63
M6 y D6	0,93
M8 y D6	1,09
M10 y D10	1,30
M12 y D12	1,54

Con los datos anteriores se determinó una ecuación experimental para aproximar el período de oscilación de los modelos del sistema muro y dual que se muestra en la Figura 72. En esta figura también se muestra la ecuación que propone el Código Sísmico de Costa Rica (2010) en la sección 7.4.5 *Estimación del período del primer modo de vibración* para edificios tipo muro formados, exclusivamente, por muros estructurales o marcos arriostrados. Se concluye que la relación de período y número de niveles obtenidas para el análisis es prácticamente lineal, con un coeficiente de correlación del 93%. Al igual que ocurrió con los modelos con losas planas, se establece que la ecuación del Código subestima los períodos para estructuras de muros, lo que implica una sobreestimación de la rigidez lateral de los edificios.

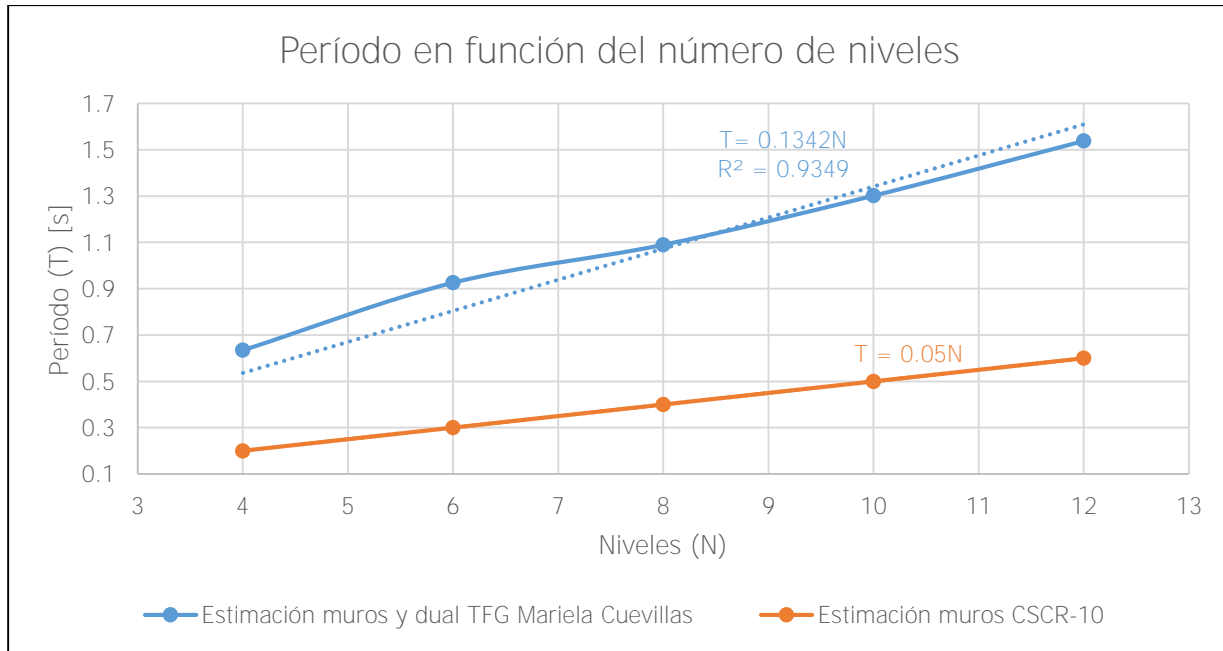


Figura 72. Gráfica del período en función del número de niveles obtenidos mediante el análisis pseudo dinámico para los modelos del sistema con muros y dual

En el siguiente cuadro se muestran los datos mencionados anteriormente, pero de manera cuantitativa. Se determina que los modelos del sistema tipo muro y dual tienen un porcentaje de diferencia con respecto a la aproximación del Código, que es menor que el porcentaje de diferencia que se tenía en los modelos con losas planas. Sin embargo, los porcentajes son altos, por lo que se mantiene la aseveración de que las ecuaciones proporcionadas por el Código se alejan de los resultados experimentales.

Cuadro 27. Comparación de períodos obtenidos mediante el análisis pseudo dinámico

Modelo muros y dual	TFG Mariela Cuevillas [s]	CSCR-10 [s]	Diferencia CSCR-10 [%]
4	0,63	0,20	68%
6	0,93	0,30	68%
8	1,09	0,40	63%
10	1,30	0,50	62%
12	1,54	0,60	61%

9.1.2 Derivas inelásticas

El cálculo de las derivas inelásticas obtenido del análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema de muros se encuentra en la sección B.2 Cálculo de derivas inelásticas del Apéndice B: Cálculos para modelos del sistema tipo muro convencional. Como el modelo inelástico es el mismo para el sistema de muros y el sistema estructural tipo dual, los resultados de esta sección aplican para ambos casos. En todos los cuadros de esa sección se mantiene la tendencia de que los desplazamientos en el techo son los mayores valores de toda la estructura, y disminuyen conforme se desciende en el edificio.

En las siguientes dos figuras se observan las derivas inelásticas obtenidas del análisis pseudo dinámico para los modelos del sistema tipo muro y dual. Todas las curvas tienen una forma similar a la de losas planas. Si se revisan detenidamente los cuadros en los apéndices donde se muestran los resultados de desplazamientos y derivas, específicamente la columna de Deriva/límite, se observa que, para la mayoría de los casos, este valor es ligeramente menor en los modelos del sistema tipo muro y dual que en los modelos con losas planas. A pesar de que el modelo del sistema tipo muro y dual tiene vigas que limitan el desplazamiento lateral de la estructura, estas no representan un aporte excesivo para el control de los desplazamientos, por lo que las derivas no se ven afectadas significativamente por su presencia en el modelo, no obstante, sí disminuyen. En ambas figuras se demarca el valor límite que establece el CSCR-10 para las edificaciones de muros que es de 0,01.

De las derivas inelásticas del análisis pseudo dinámico para los modelos del sistema tipo muro y dual en ambas direcciones, se concluye que ningún modelo alcanza el límite que establece el Código, ya que todos los valores se encuentran a la izquierda de la línea vertical. De las figuras, es evidente que cuando se realiza el análisis de la estructura aplicando un sismo en la dirección Y , los valores de derivas son mayores que cuando se analiza la estructura en el sentido X . Esto se debe a que en la dirección Y , la estructura tiene muros más cortos y menos columnas que lo que tiene en el sentido X . Además, en el caso de los modelos del sistema tipo muro y dual, las vigas son más rígidas en la dirección X que en la dirección Y , ya que son más largas y tienen mayor peralte, como se observa en Figura 27. Por lo tanto, el edificio tiene una menor rigidez en el plano Y y, consecuentemente, tendrá desplazamientos y derivas mayores.

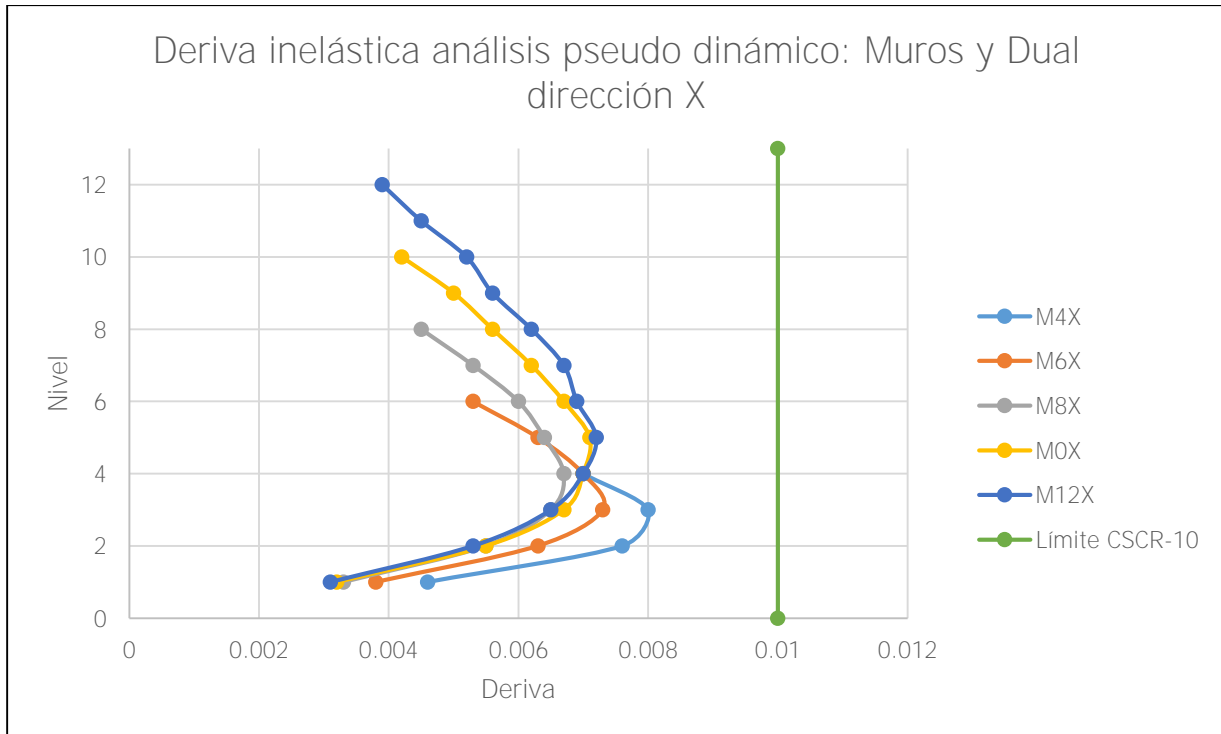


Figura 73. Deriva inelástica obtenida mediante el análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema tipo muro y dual dirección X

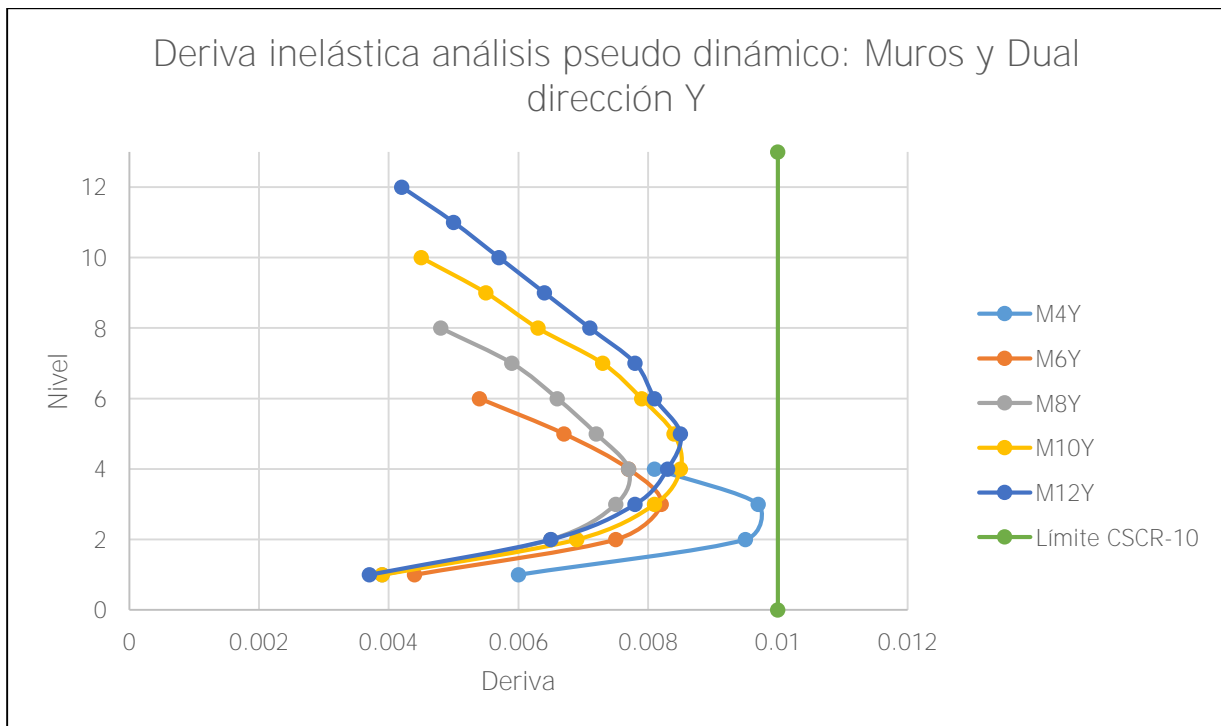


Figura 74. Deriva inelástica obtenida mediante el análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema tipo muro y dual dirección Y

9.1.3 Cortantes basales

El cortante basal obtenido del análisis pseudo dinámico tiene el mismo valor para el modelo del sistema de muros como el dual. Nuevamente, se confirma que, a mayor desplazamiento del techo, mayor será el cortante basal, por lo que los cortantes en la dirección Y son mayores que los de la dirección X y se incrementan al aumentar el número de niveles en los modelos. El siguiente cuadro y figura reflejan lo comentado.

Cuadro 28. Fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema tipo muro y dual

Modelo	Cortante dirección X [ton]	Cortante dirección Y [ton]
M4	2134	2265
M6	2270	2300
M8	2610	2703
M10	2836	3097
M12	3025	3279

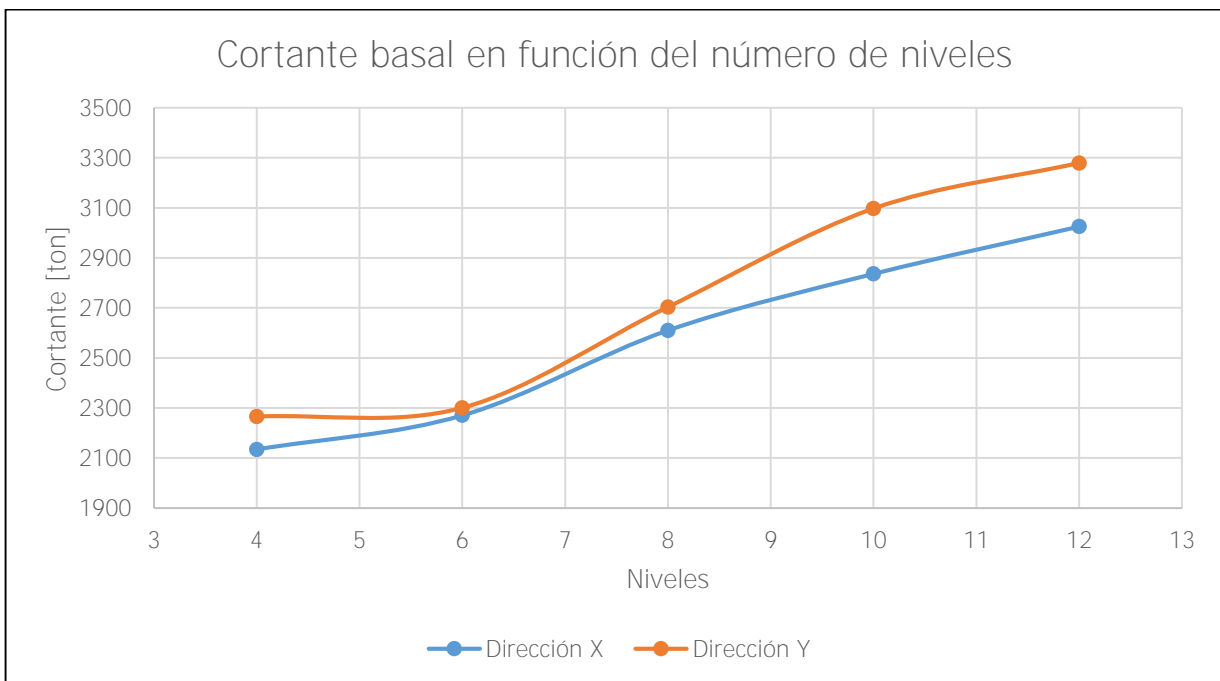


Figura 75. Gráfica de las fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis pseudo dinámico para el modelo del sistema tipo muro y dual

Para el sistema de muros se hará el mismo ejercicio que se hizo para el sistema con losas planas, donde se presenta, a manera de ejemplo para todos los modelos, la gráfica donde se muestra el cortante basal para el modelo M4X con un valor de 2134ton. Se sigue el mismo procedimiento que se describió en la sección 8.1.3 Cortantes basales, para obtener el desplazamiento elástico en el techo y el desplazamiento inelástico asociado. El desplazamiento elástico absoluto en el techo obtenido del análisis pseudo dinámico en la dirección X se puede analizar con mayor detenimiento en el Apéndice B: Cálculos para modelos del sistema tipo muro convencional en el Cuadro 87.

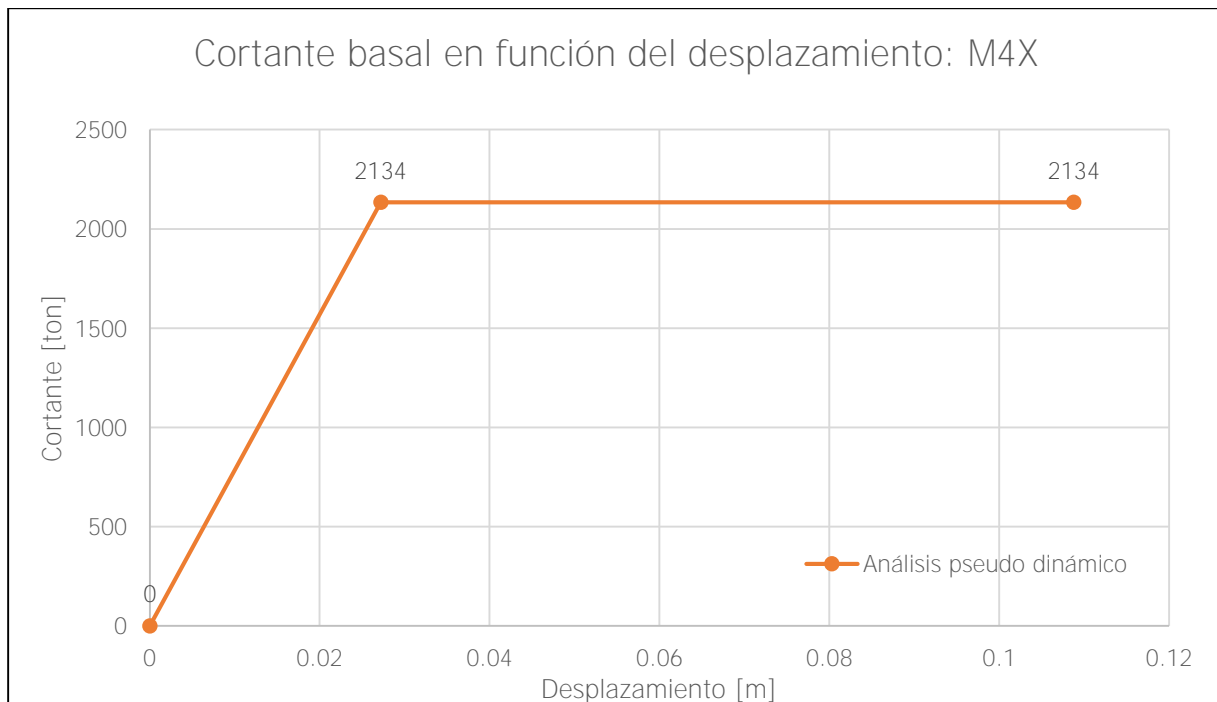


Figura 76. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis pseudo dinámico M4X

9.2 Análisis de capacidad espectral

9.2.1 Período

En el siguiente cuadro se despliegan los períodos obtenidos para el análisis de capacidad espectral para el modelo con muros. Todos los valores aumentan con respecto a su modelo semejante de análisis elástico. En la última columna se observa el porcentaje de aumento con respecto al primer análisis y se concluye que, para los modelos del sistema tipo muro, el período del análisis de capacidad espectral aumenta en menor proporción, con respecto al análisis pseudo dinámico, que los modelos con losas planas.

Cuadro 29. Períodos obtenidos del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema tipo muro

Modelo	Período [s]	Aumento con respecto a análisis pseudo dinámico [%]
M4	0,68	7%
M6	1,05	12%
M8	1,22	10%
M10	1,47	11%
M12	1,76	12%

En la siguiente figura se muestra de manera gráfica las aproximaciones del período para ambos análisis y se evidencia que las curvas mantienen una tendencia de crecimiento similar. El coeficiente de correlación aumenta en un 2% para el análisis de capacidad espectral, pasando de un 93% a un 95%, lo que quiere decir que, para los edificios de muros, el período está estrechamente relacionado, de manera lineal y por medio de las ecuaciones desplegadas, con el número de niveles que tenga el modelo.

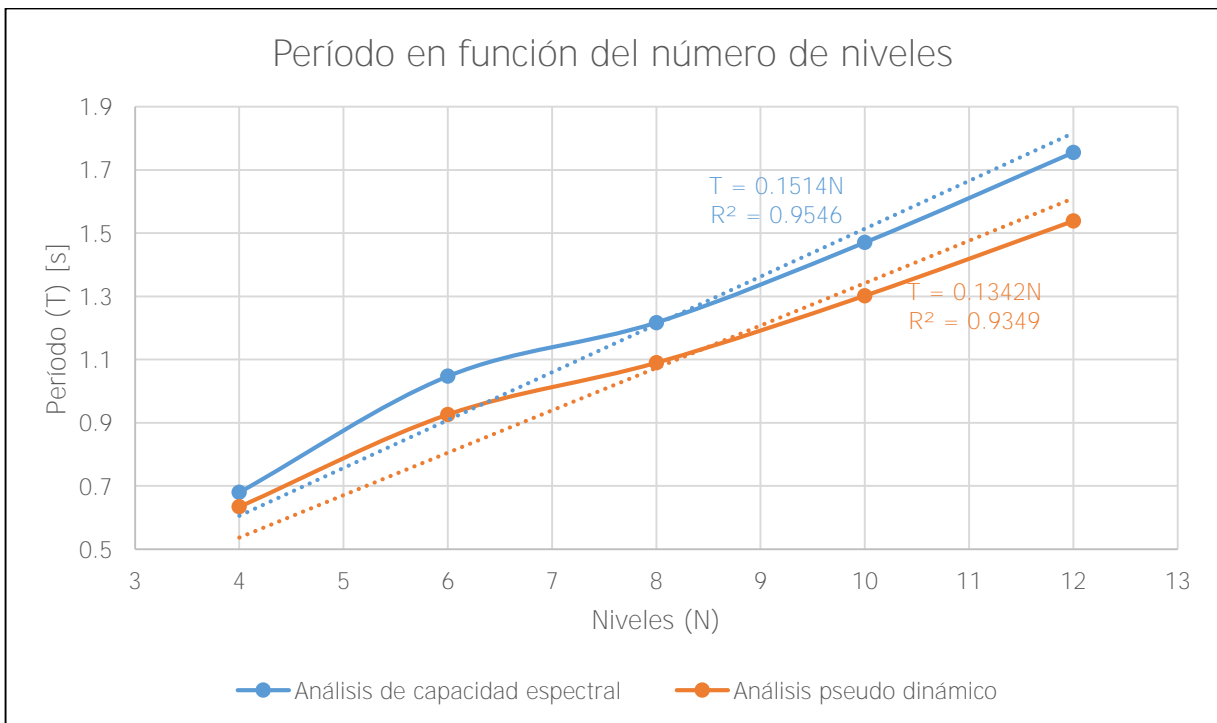


Figura 77. Gráfica del período en función del número de niveles obtenido del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema tipo muro

9.2.2 Derivas inelásticas

En este apartado se muestran varias figuras con las derivas inelásticas analizadas desde tres estados diferentes. Siguiendo la misma metodología que se utilizó para los modelos con losas planas, la línea azul es la deriva obtenida mediante el análisis pseudo dinámico y son las mismas curvas de la sección 9.1.2 Derivas inelásticas. Adicionalmente, la curva anaranjada representa las derivas inelásticas obtenidas por medio del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño y la curva gris representa las derivas inelásticas obtenidas por medio del análisis de capacidad espectral, pero en el punto de prevención de colapso.

De la Figura 78 a la Figura 87 se muestran las gráficas con las derivas en los tres puntos mencionados. Nuevamente, se puede visualizar que, en la mayoría de los casos, las derivas del análisis pseudo dinámico son menores a las derivas del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño y las curvas anaranjadas nunca sobrepasan el límite impuesto por el CSCR-10. Por lo tanto, para estos modelos con muros también se cumple que la estructura se mantiene en un rango seguro, sin desplazamientos laterales excesivos cuando esta se encuentra en el punto de desempeño.

Todas las curvas de todos los modelos analizados en el punto de prevención de colapso sobrepasan el límite impuesto por el Código en algún nivel y también se concluye que las derivas en el sentido Y son mayores a las del sentido X . Por último, se vuelve a analizar que, en los cuadros en los apéndices donde se muestran los resultados de desplazamientos y derivas, específicamente la columna de Deriva/límite, se observa que, para la mayoría de los casos, este valor es ligeramente menor en los modelos del sistema tipo muro que en los modelos con losas planas.

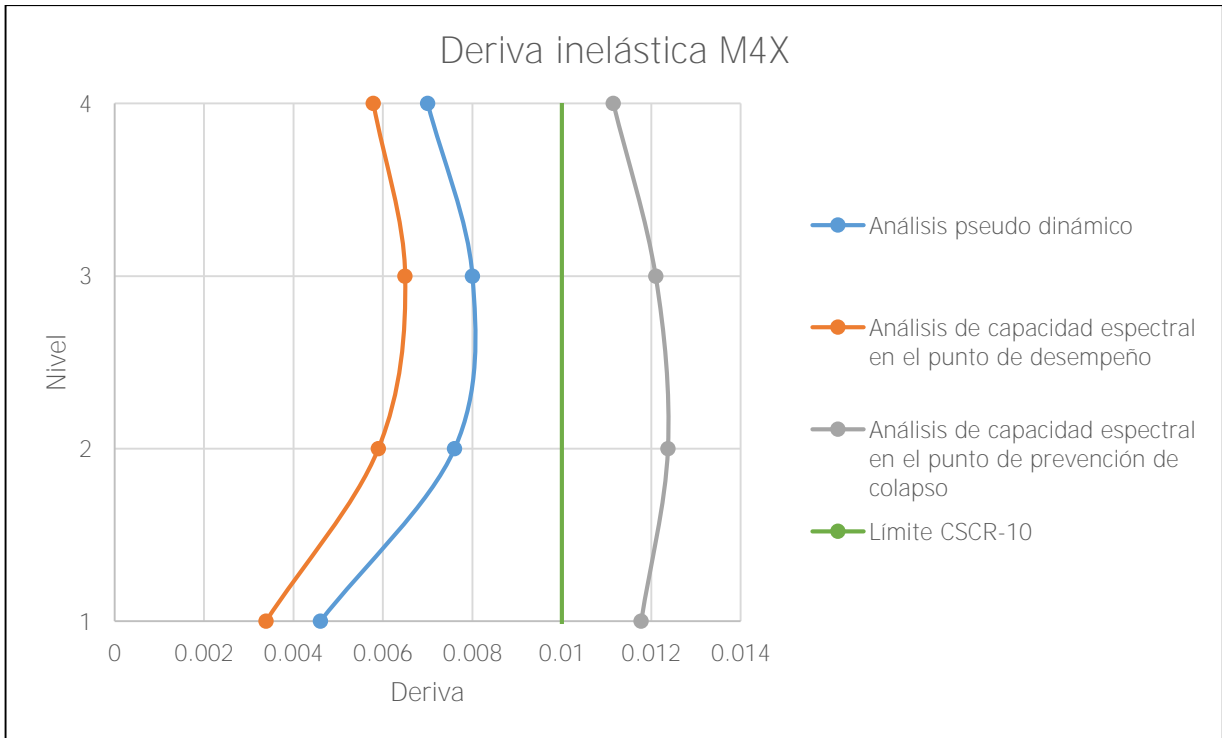


Figura 78. Deriva inelástica M4X

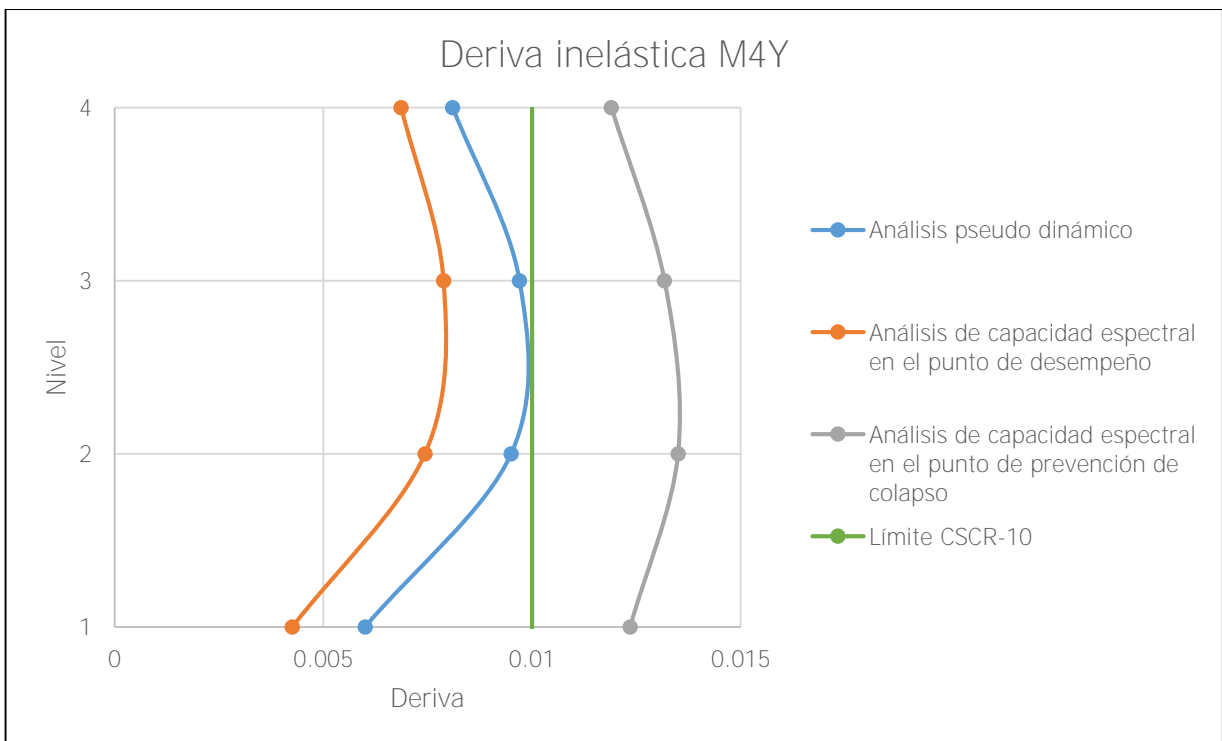


Figura 79. Deriva inelástica M4Y

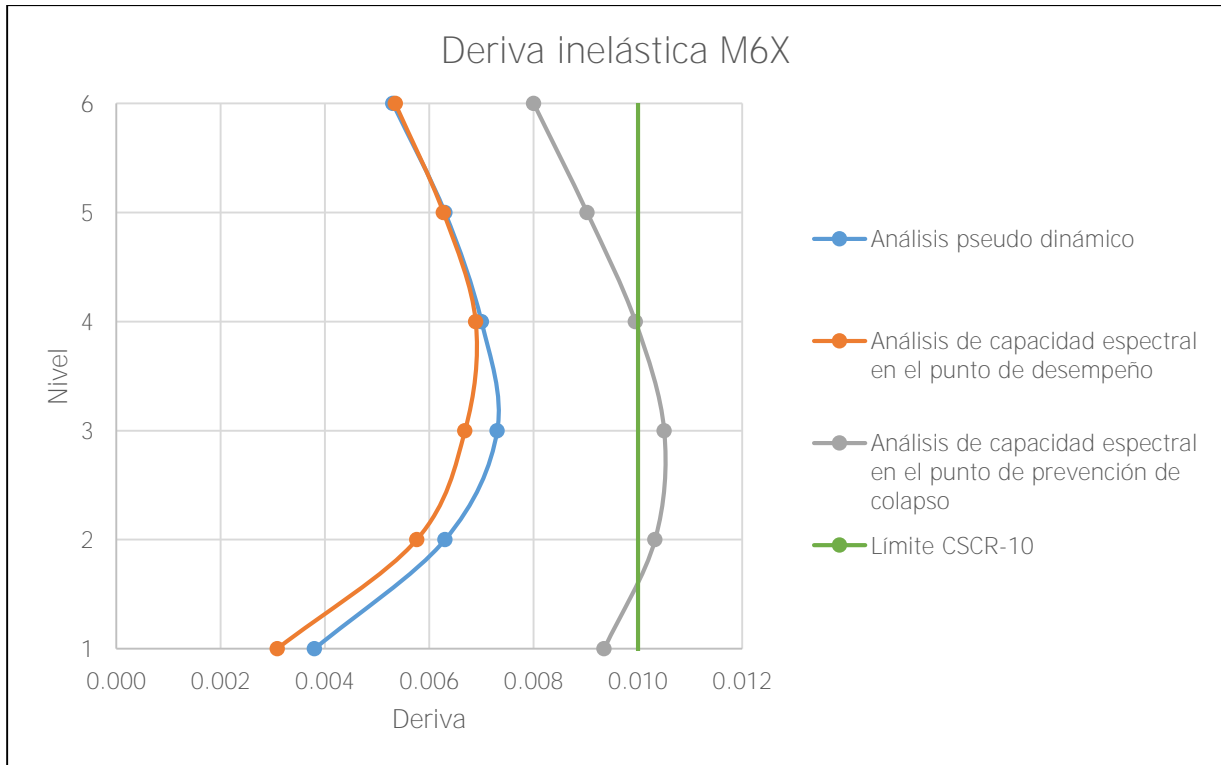


Figura 80. Deriva inelástica M6X

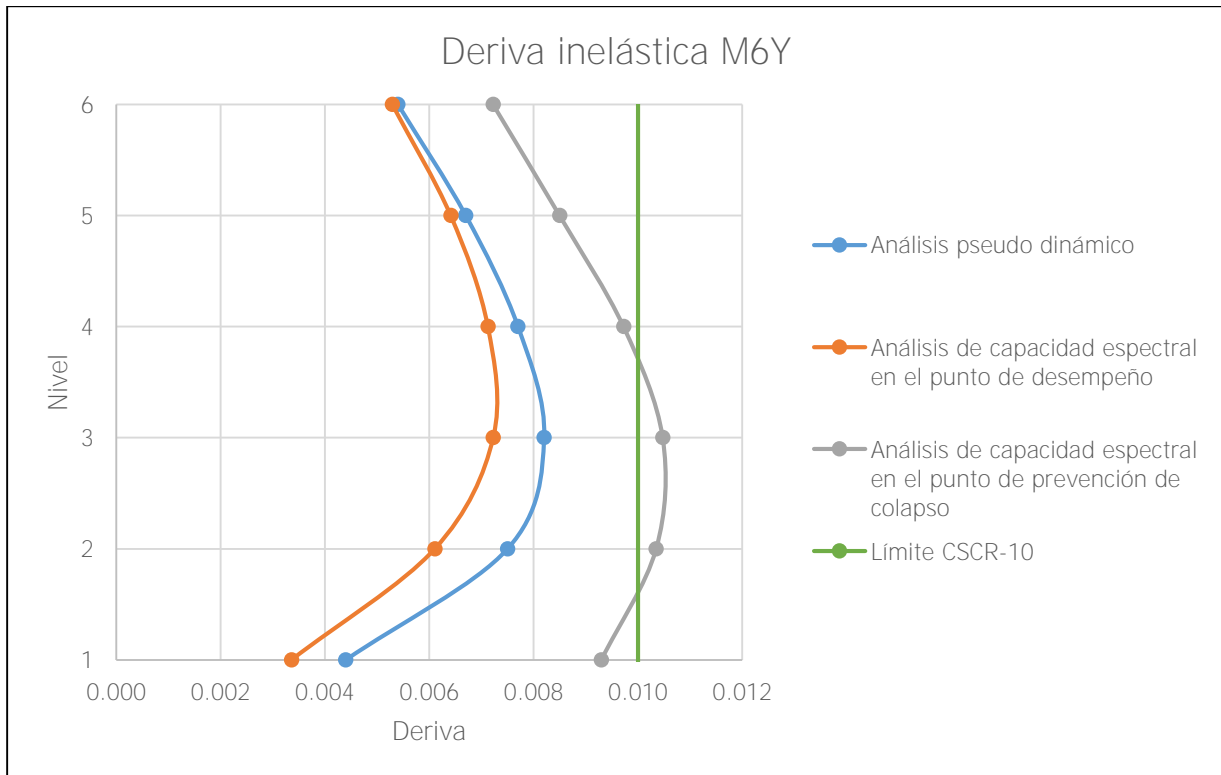


Figura 81. Deriva inelástica M6Y

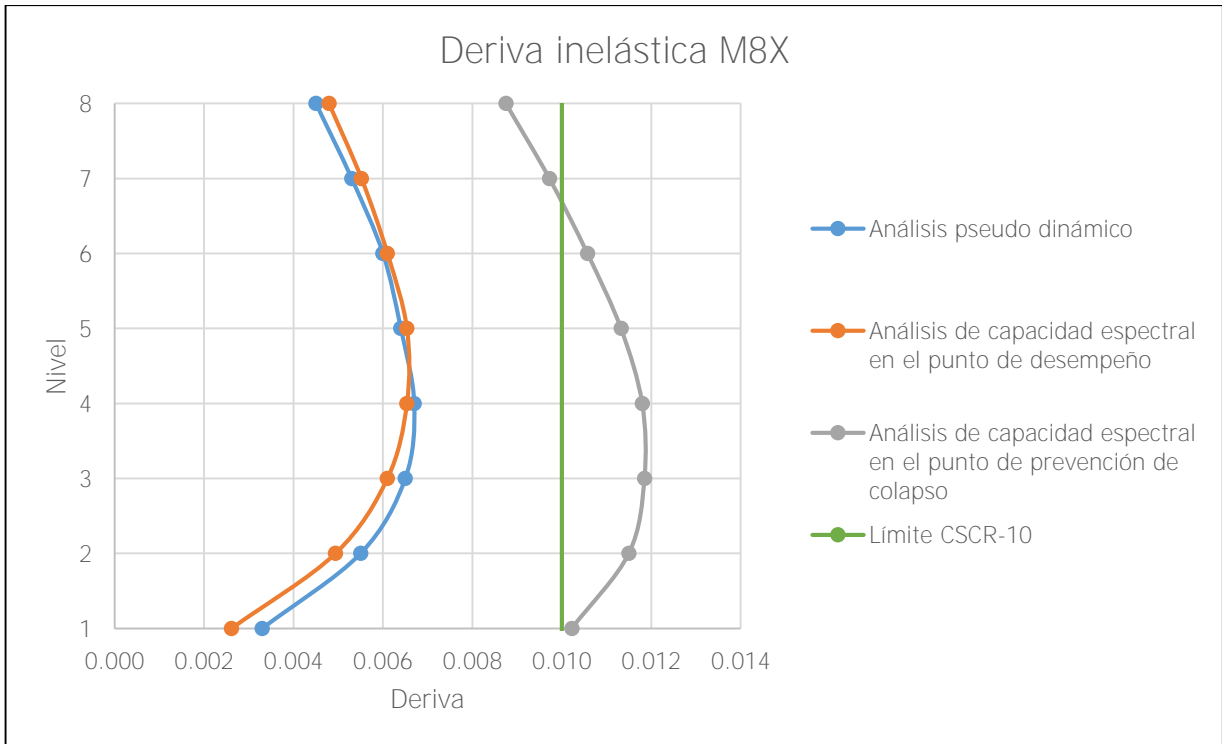


Figura 82. Deriva inelástica M8X

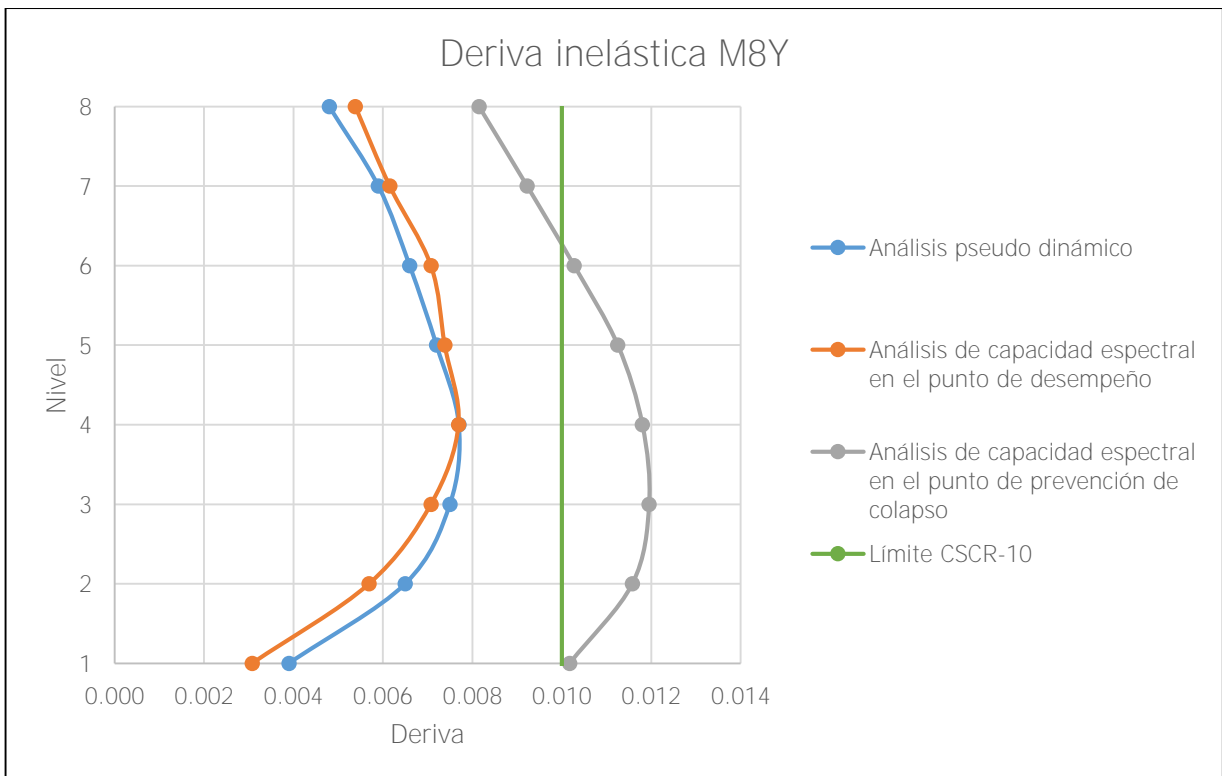


Figura 83. Deriva inelástica M8Y

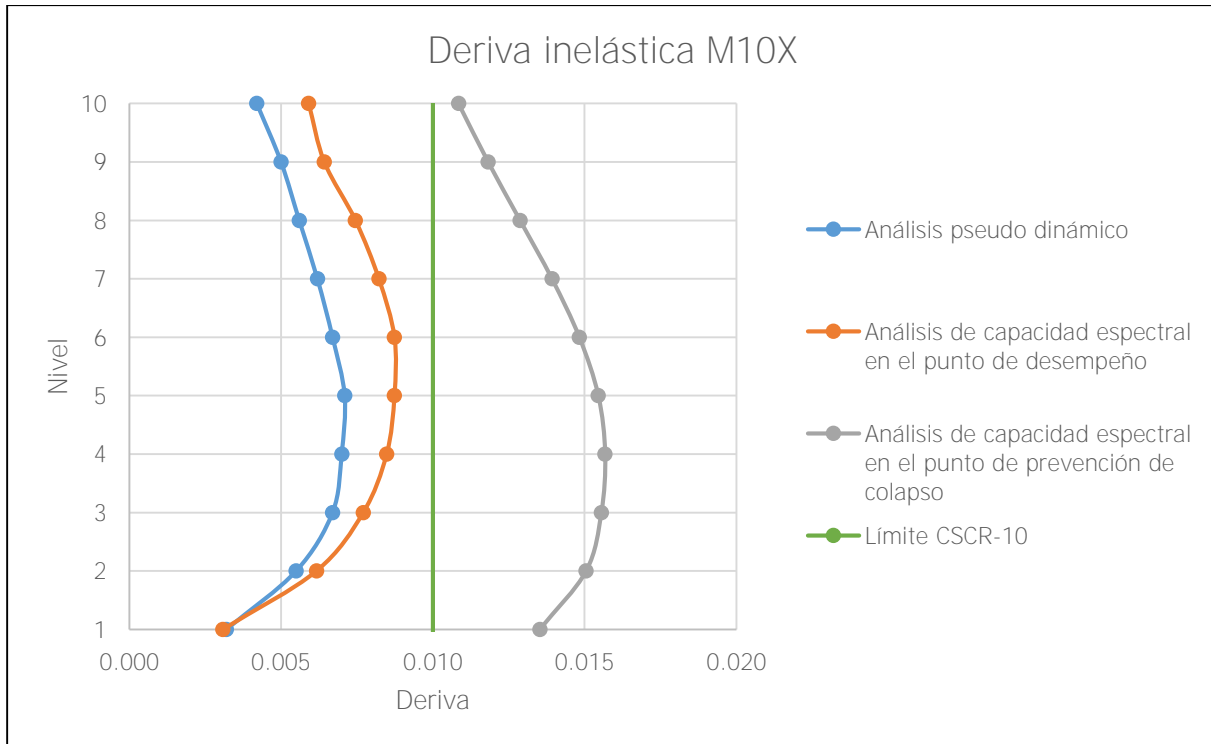


Figura 84. Deriva inelástica M10X

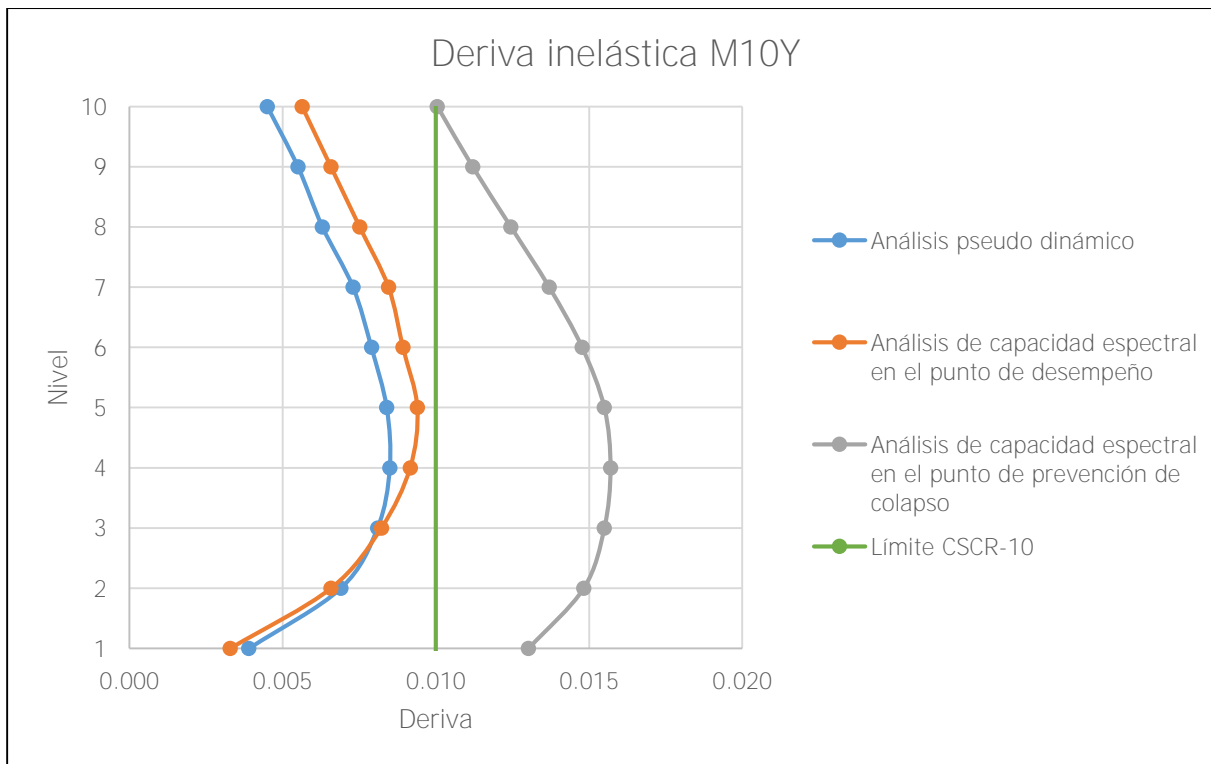


Figura 85. Deriva inelástica M10Y

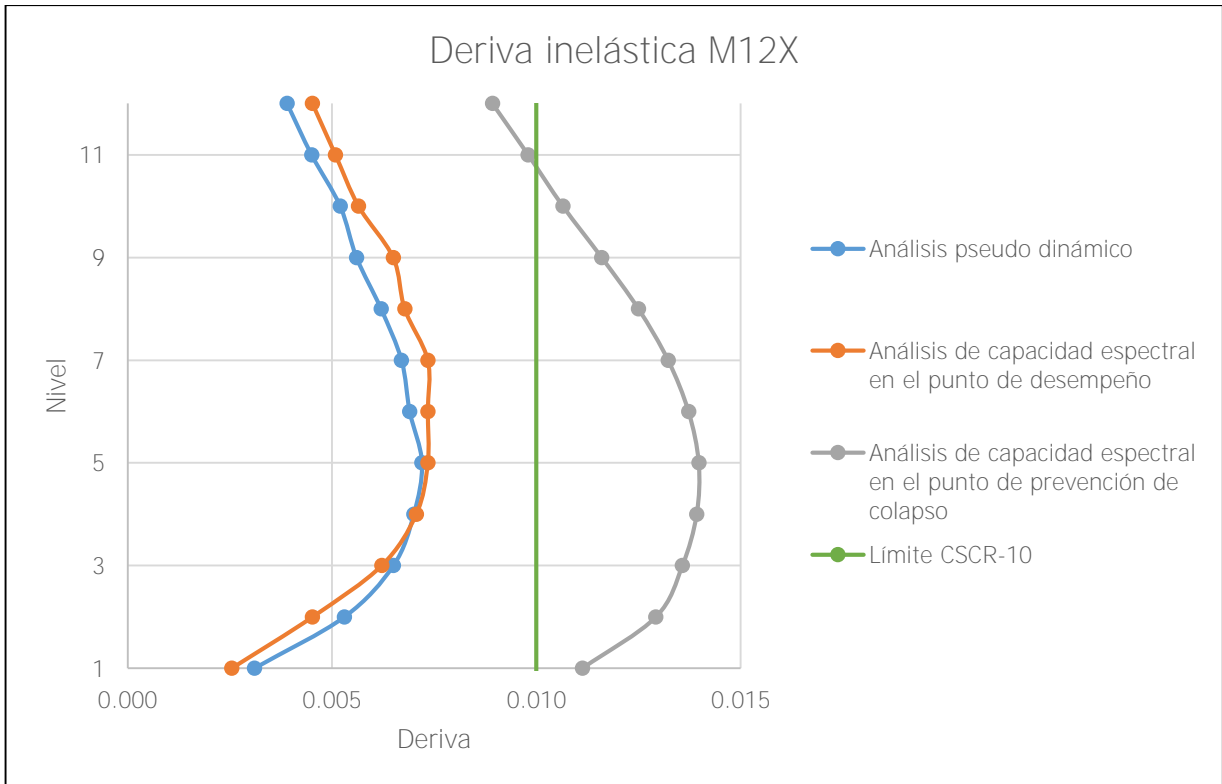


Figura 86. Deriva inelástica M12X

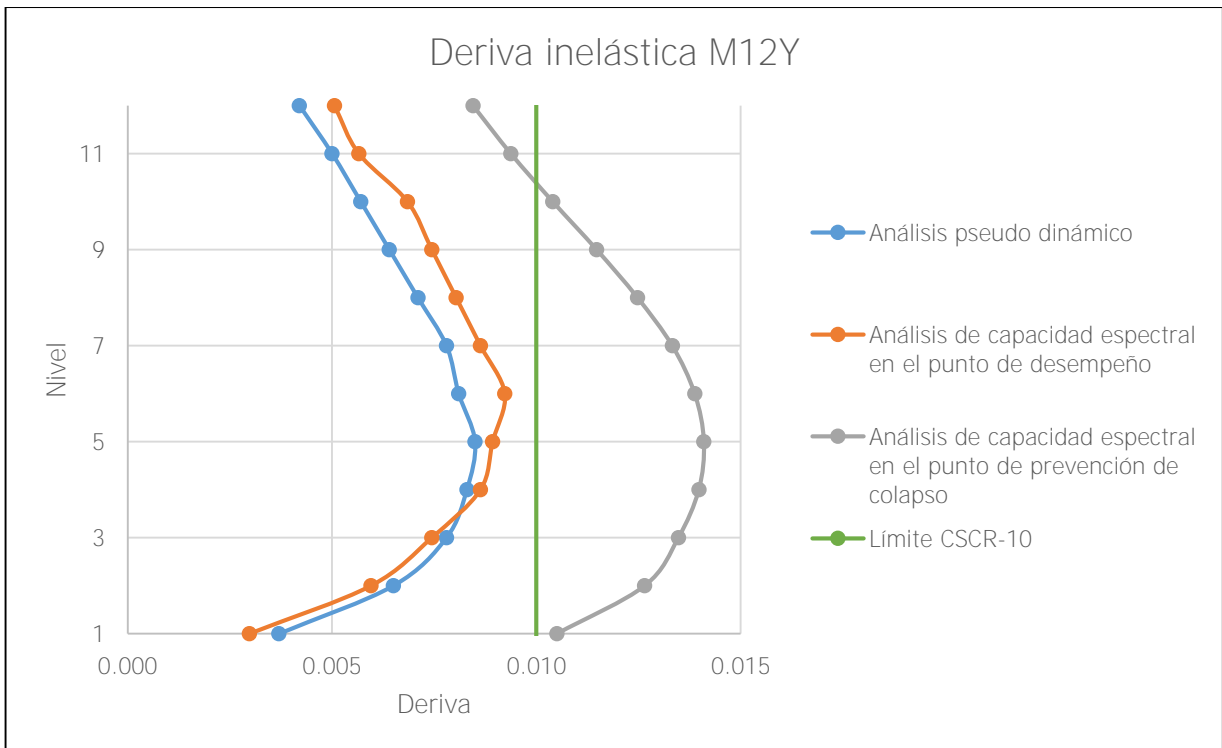


Figura 87. Deriva inelástica M12Y

9.2.3 Curva de capacidad estructural y ductilidad en punto de desempeño

En el Apéndice B: Cálculos para modelos del sistema tipo muro convencional, sección B.3 Cálculo del punto de desempeño, se muestran los cuadros con las salidas del programa SAP2000 (cortantes basales y desplazamientos) que se transformaron a coordenadas del espectro inelástico para obtener los puntos de desempeño.

Se observa que la ductilidad en el punto de desempeño, desde la Figura 88 hasta la Figura 97, disminuye conforme se aumentan los niveles en el modelo. Por lo tanto, el punto rojo de las figuras se desplaza hacia la derecha para buscar intersecar una curva con menor ductilidad, lo que implica un mayor desplazamiento inelástico en el punto de desempeño. Lo mismo ocurre para el punto de cedencia de la bilineal, que en cada modelo se desplaza más hacia la derecha. Las curvas de desempeño de muros también concuerdan con lo que establece el ATC-40 que la pendiente de las curvas disminuye conforme se incrementa el número de niveles en los modelos.

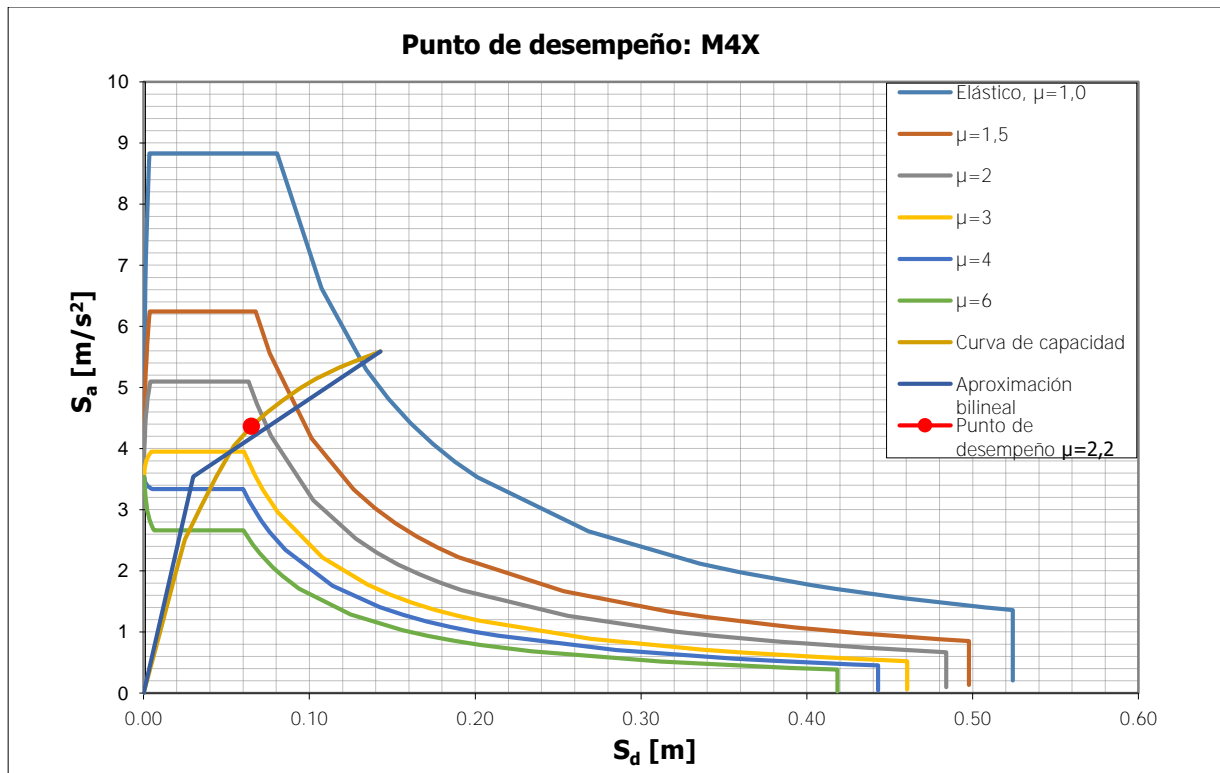


Figura 88. Punto de desempeño M4X

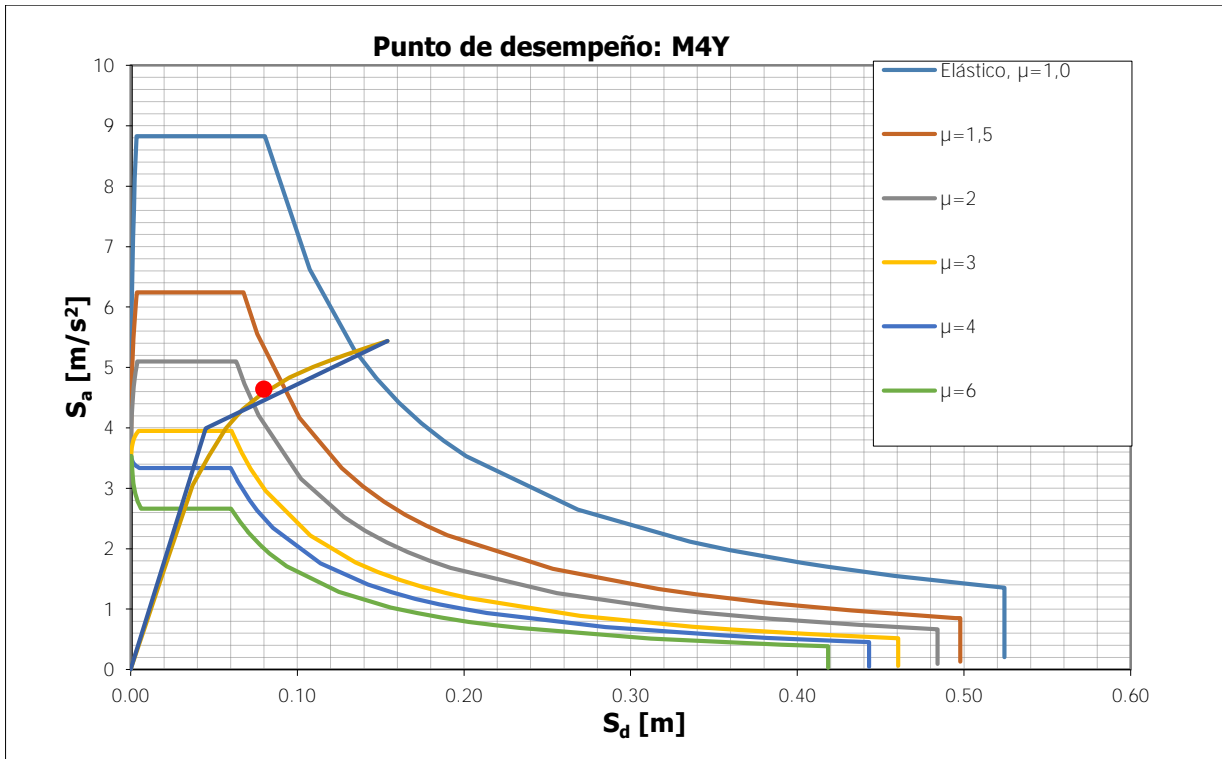


Figura 89. Punto de desempeño M4Y

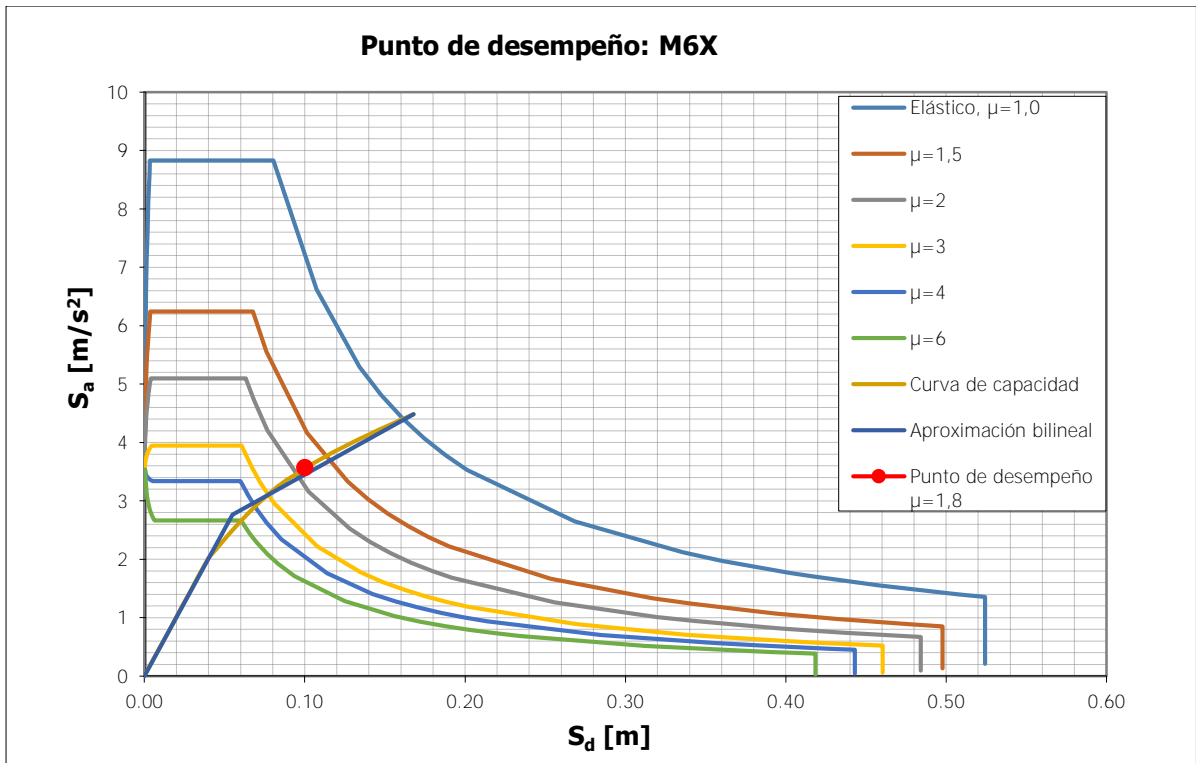


Figura 90. Punto de desempeño M6X

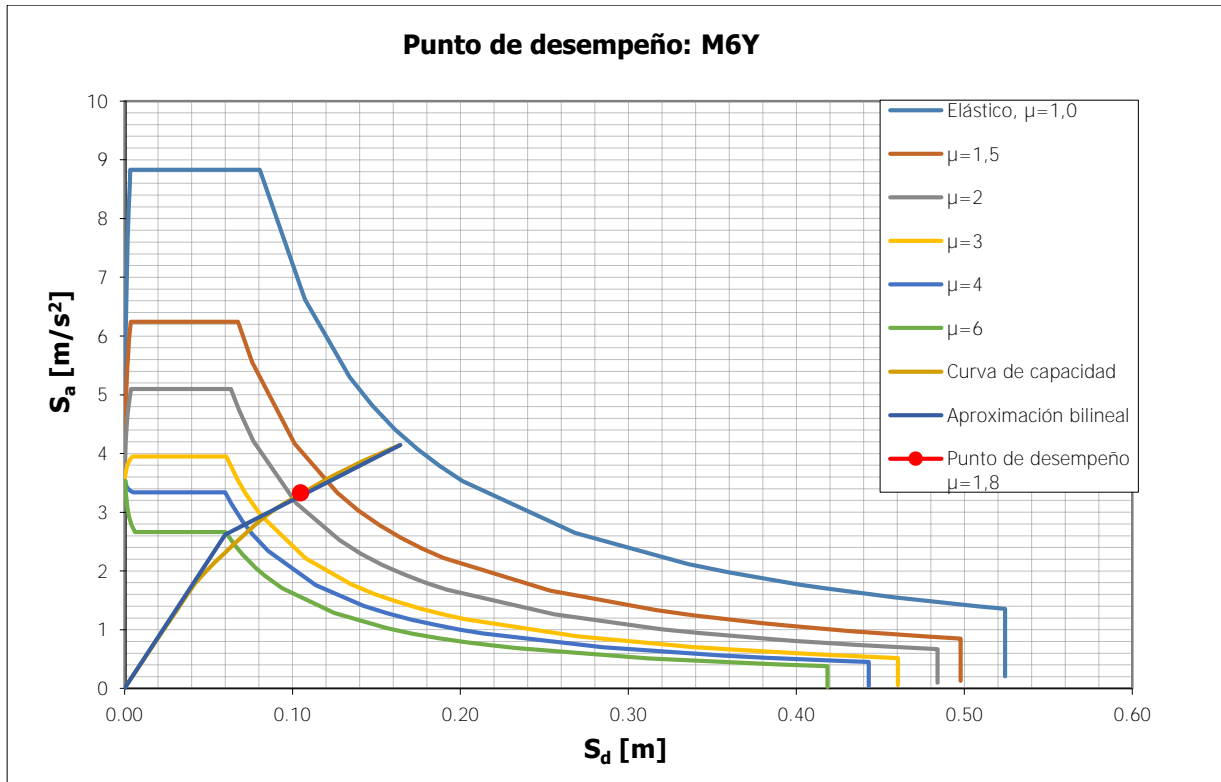


Figura 91. Punto de desempeño M6Y

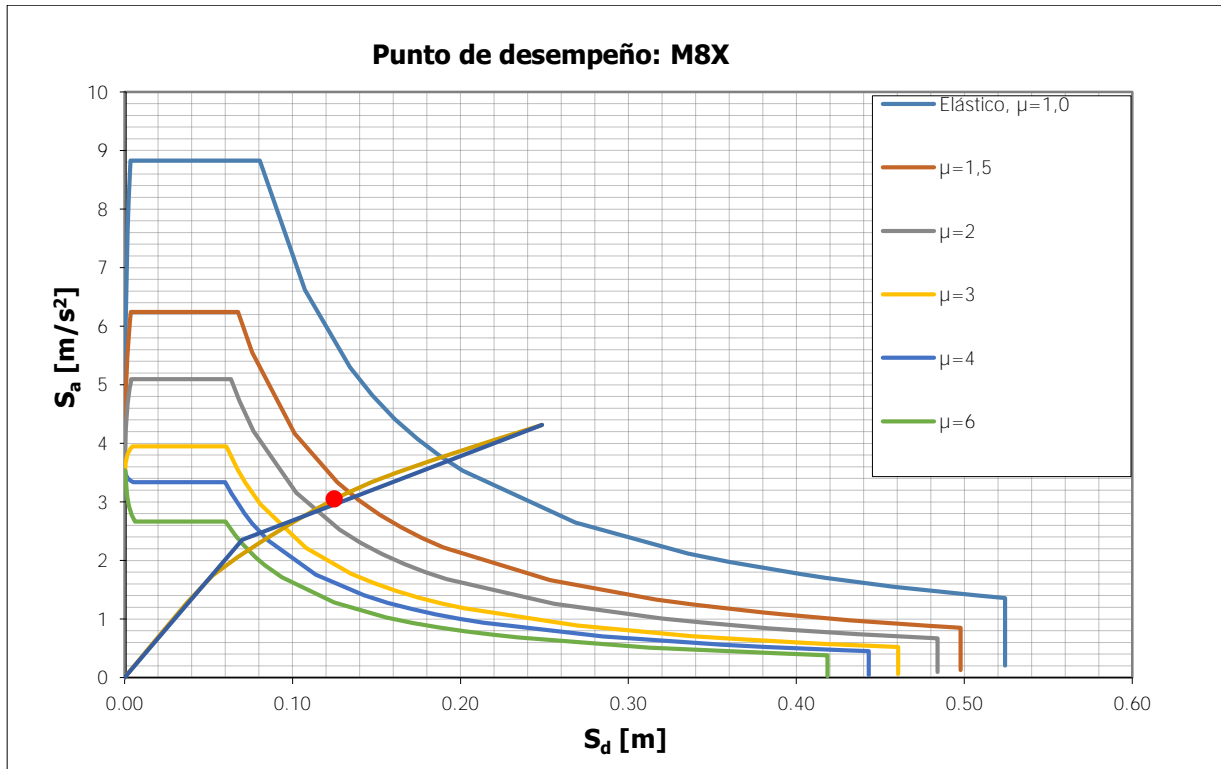


Figura 92. Punto de desempeño M8X

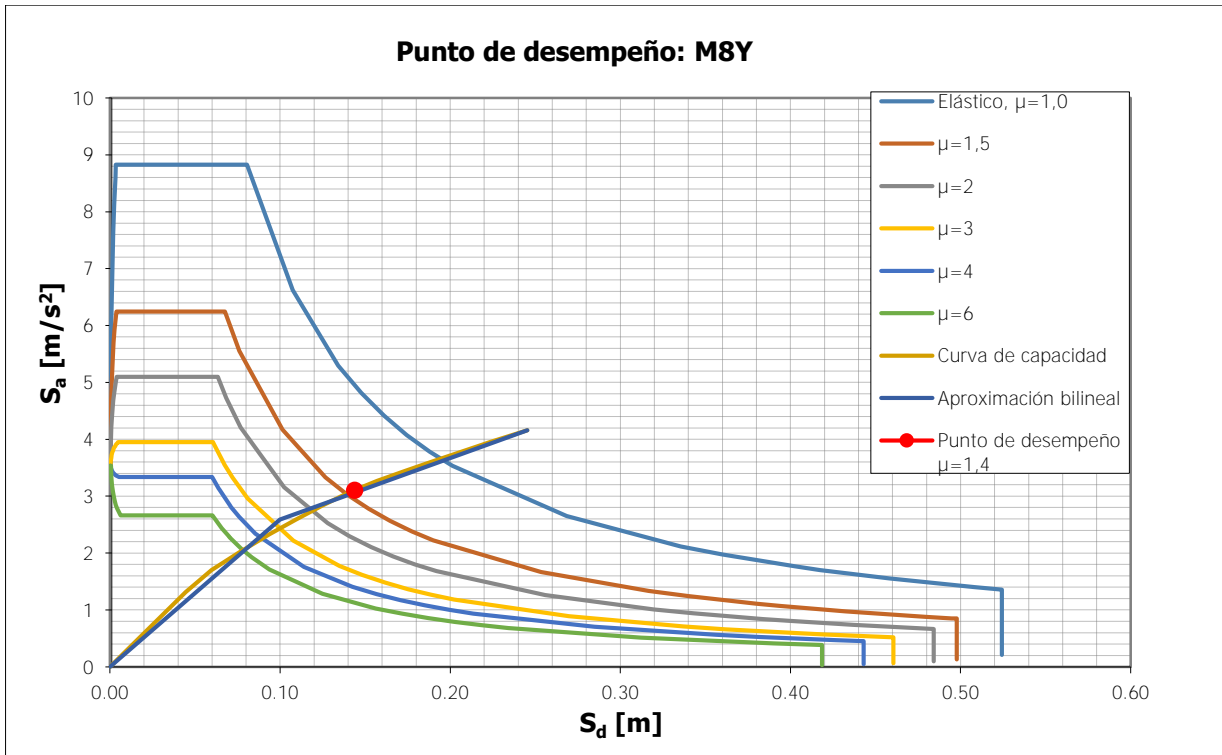


Figura 93. Punto de desempeño M8Y

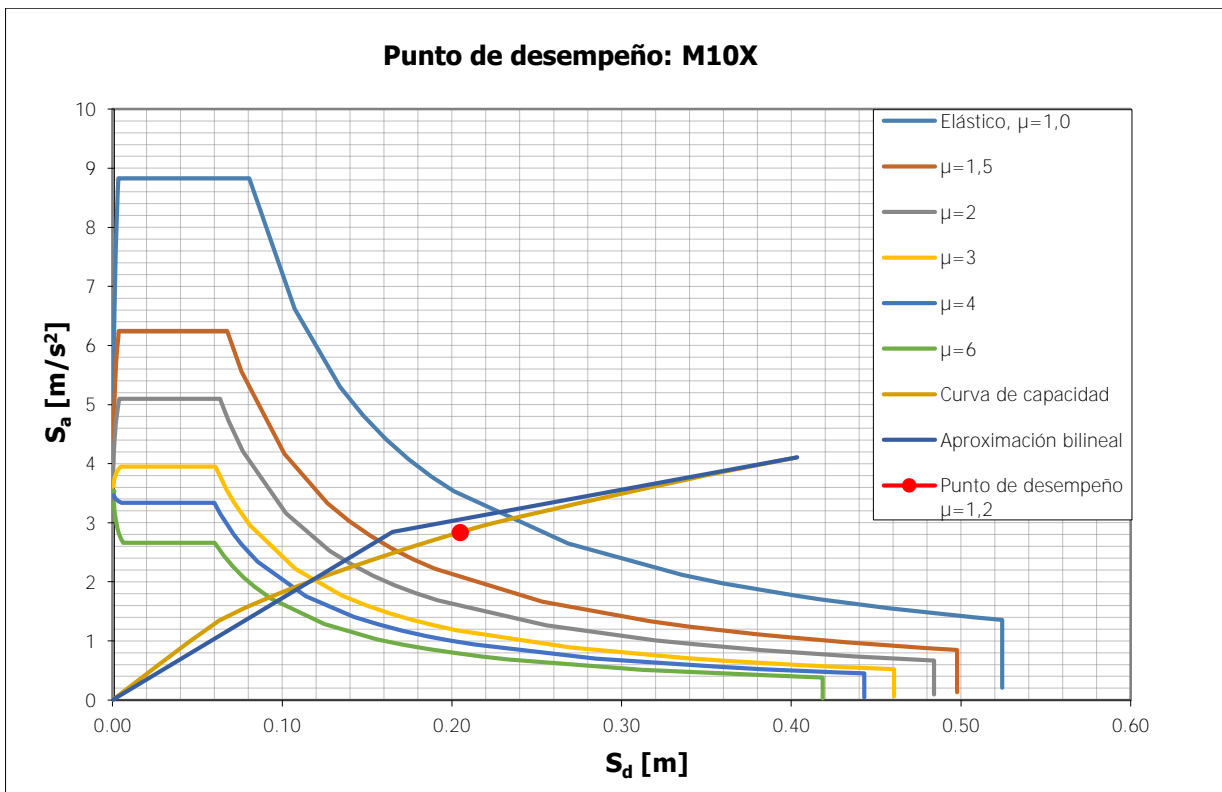


Figura 94. Punto de desempeño M10X

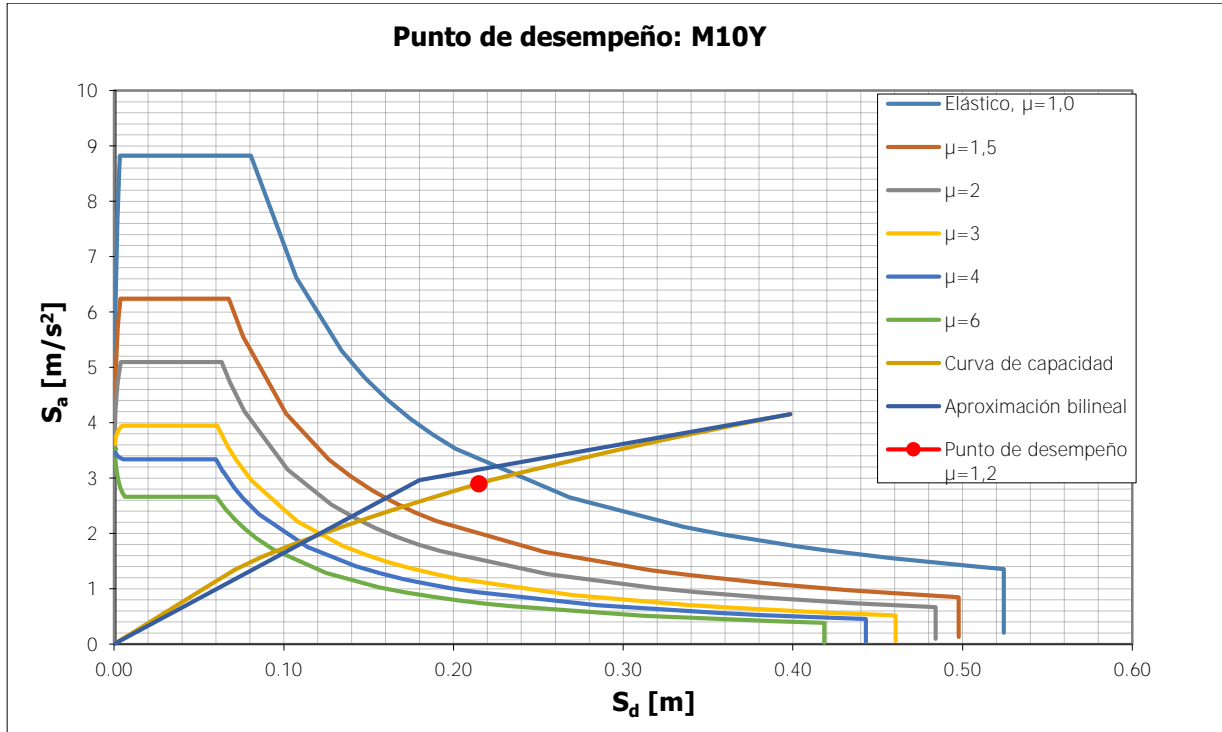


Figura 95. Punto de desempeño M10Y

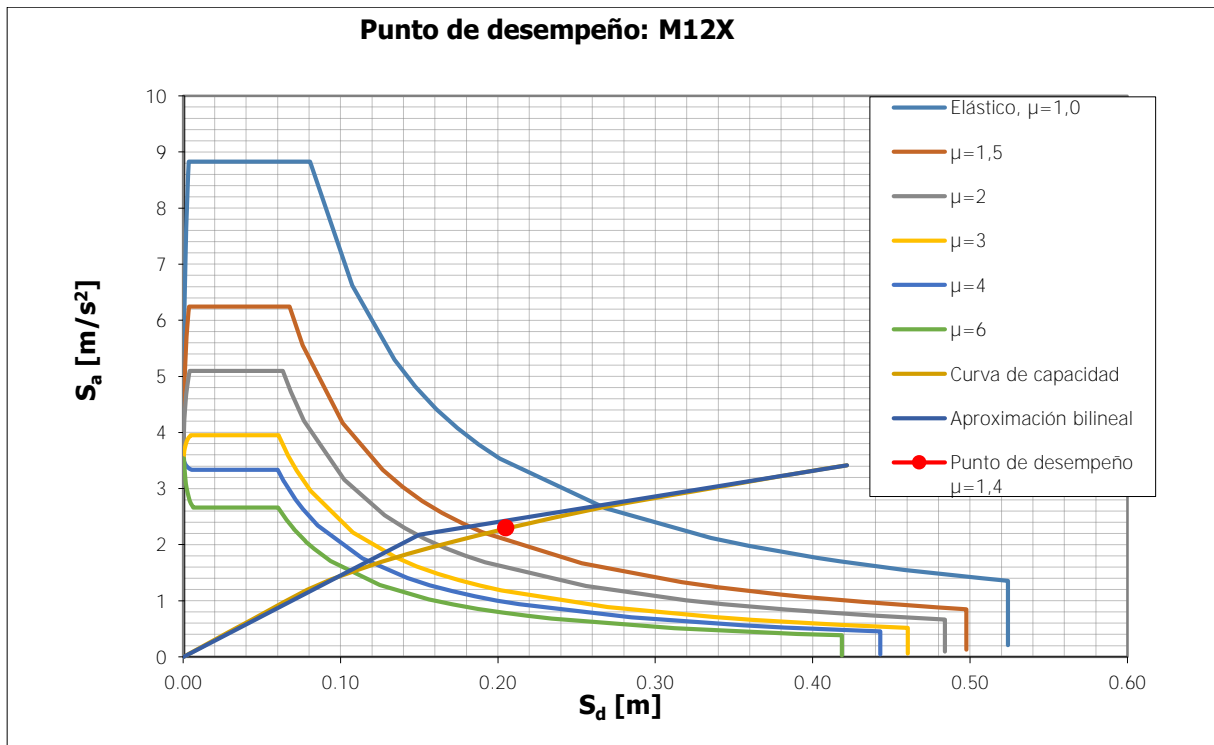


Figura 96. Punto de desempeño M12X

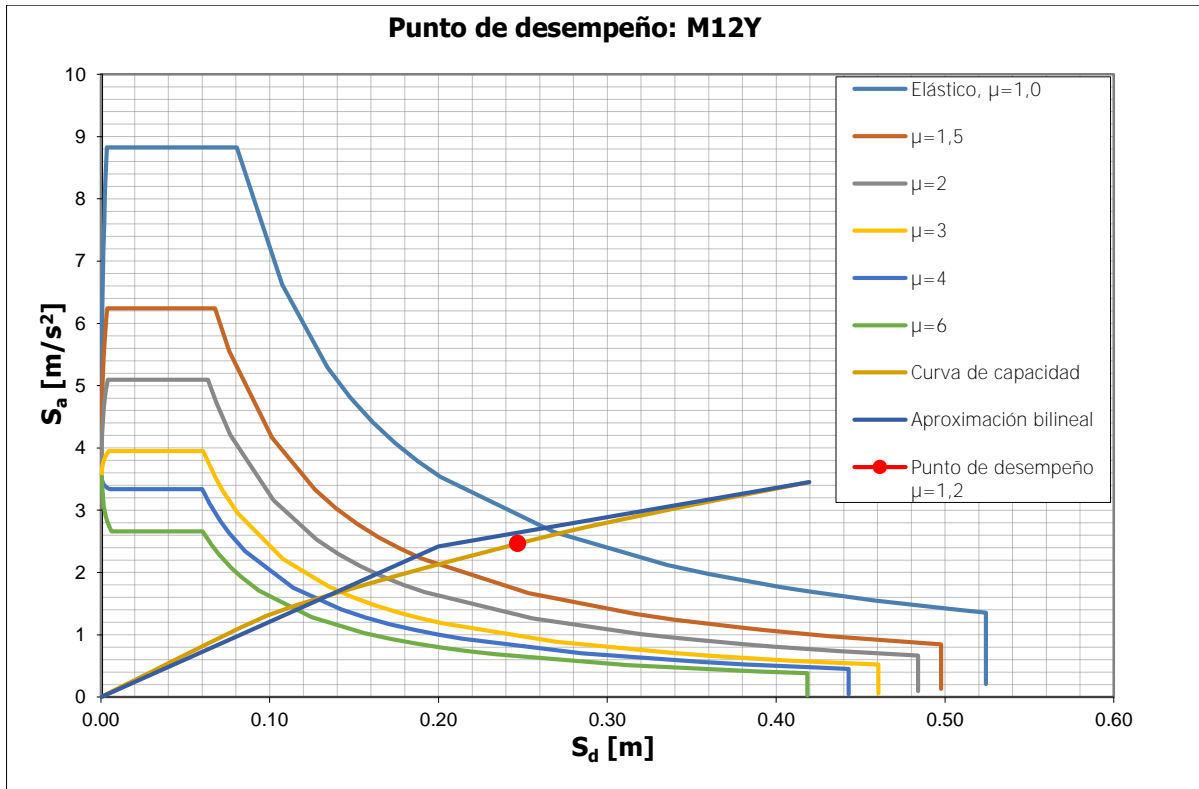


Figura 97. Punto de desempeño M12Y

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de las ductilidades en el punto de desempeño de las figuras anteriores. Para los modelos del sistema tipo muro, se definió la ductilidad de diseño con un valor de 2. De los resultados obtenidos se concluye que los modelos del sistema tipo muro son menos dúctiles que los de losas planas, ya que, en este caso, solamente uno de los diez modelos cumple con la ductilidad asignada. Esto implica que se utilizaron fuerzas más pequeñas para el diseño de elementos, lo que puede representar un problema de fallas frágiles. De manera gráfica, en la Figura 98 se demarca la ductilidad de diseño con una línea horizontal y se muestra que únicamente en el modelo de cuatro niveles en la dirección X, la ductilidad sobrepasa el límite establecido.

Cuadro 30. Resumen de ductilidades en el punto de desempeño para los modelos del sistema tipo muro

Modelo	Dirección X			Dirección Y		
	$\mu_{\text{diseño}}$	μ_i	Factor α	$\mu_{\text{diseño}}$	μ_i	Factor α
M4	2,0	2,2	1,1	2,0	1,8	0,9
M6	2,0	1,8	0,9	2,0	1,8	0,9
M8	2,0	1,8	0,9	2,0	1,4	0,7
M10	2,0	1,2	0,6	2,0	1,2	0,6
M12	2,0	1,4	0,7	2,0	1,2	0,6

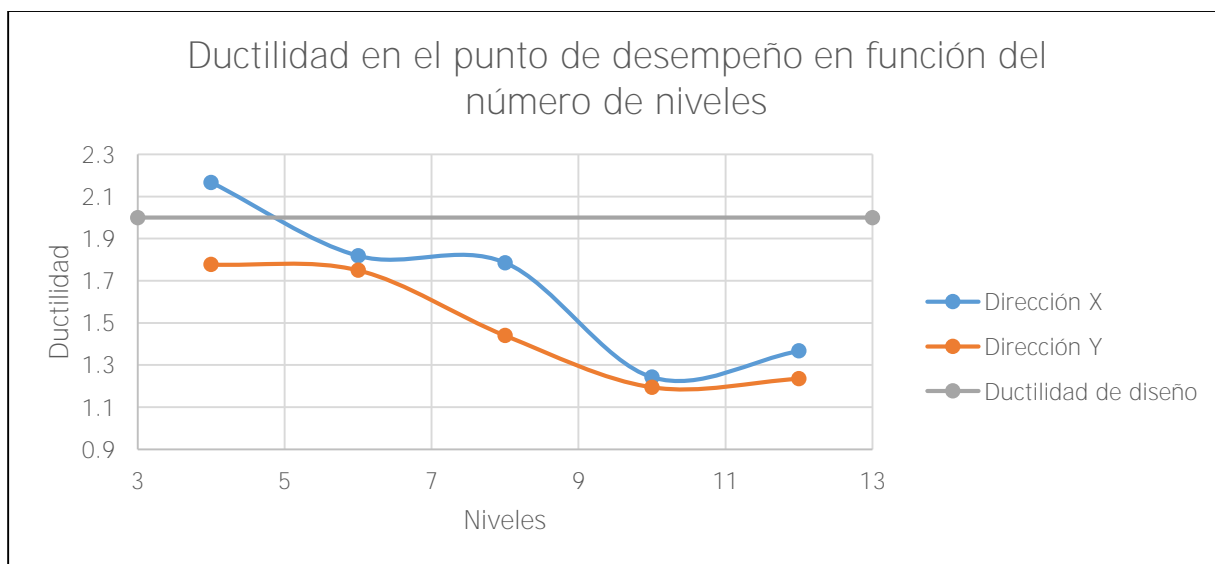


Figura 98. Ductilidad en el punto de desempeño obtenido del método de capacidad espectral para los modelos del sistema tipo muro

9.2.4 Cortantes basales

Para calcular el cortante basal en el punto de desempeño, en la Figura 99 se muestra la ecuación de mejor ajuste debajo de la gráfica. En este caso, el desplazamiento en el punto de desempeño tiene un valor de 0,065m entonces se evalúa ese punto en la variable "x" y se obtiene un valor de aceleración espectral de 4,361 m/s².

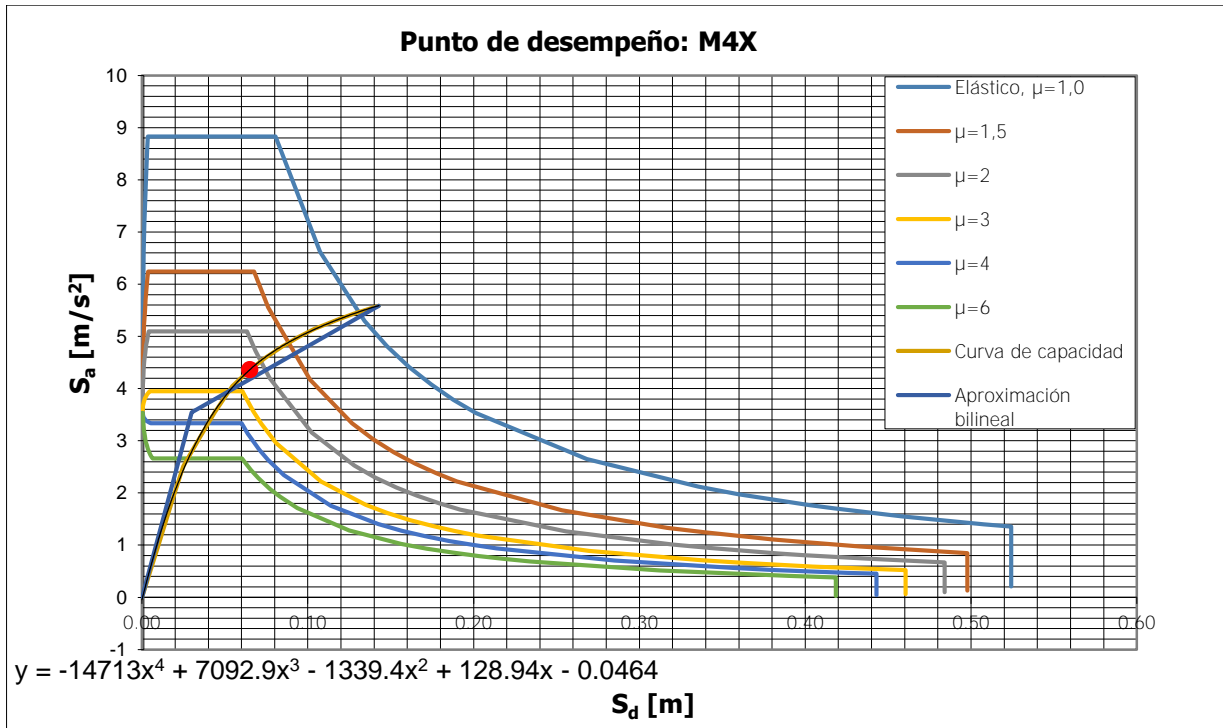


Figura 99. Aproximación polinomial de grado 4 de la curva de capacidad de M4X

Utilizando la constante Λ del Cuadro 117 se obtiene que el cortante en este punto tiene un valor de 4432ton y se la llamará cortante en el punto de desempeño. En el siguiente cuadro se resumen los cortantes basales en el punto de desempeño y en el punto de prevención de colapso.

Cuadro 31. Fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema tipo muro

Modelo	Cortante basal dirección X [ton]		Cortante basal dirección Y [ton]	
	Punto de desempeño	Punto de prevención de colapso	Punto de desempeño	Punto de prevención de colapso
M4	4423	5667	4739	5555
M6	5406	6786	5081	6323
M8	6150	8711	6279	8419
M10	7190	10434	7396	10617
M12	7071	10517	7640	10685

En las siguientes dos figuras que se muestran a continuación se grafican, a manera de ejemplo para todos los modelos, el cortante basal en el punto de desempeño para el modelo M4X con un valor de 4423ton y el cortante basal en el punto de prevención de colapso con un valor de 5667ton.

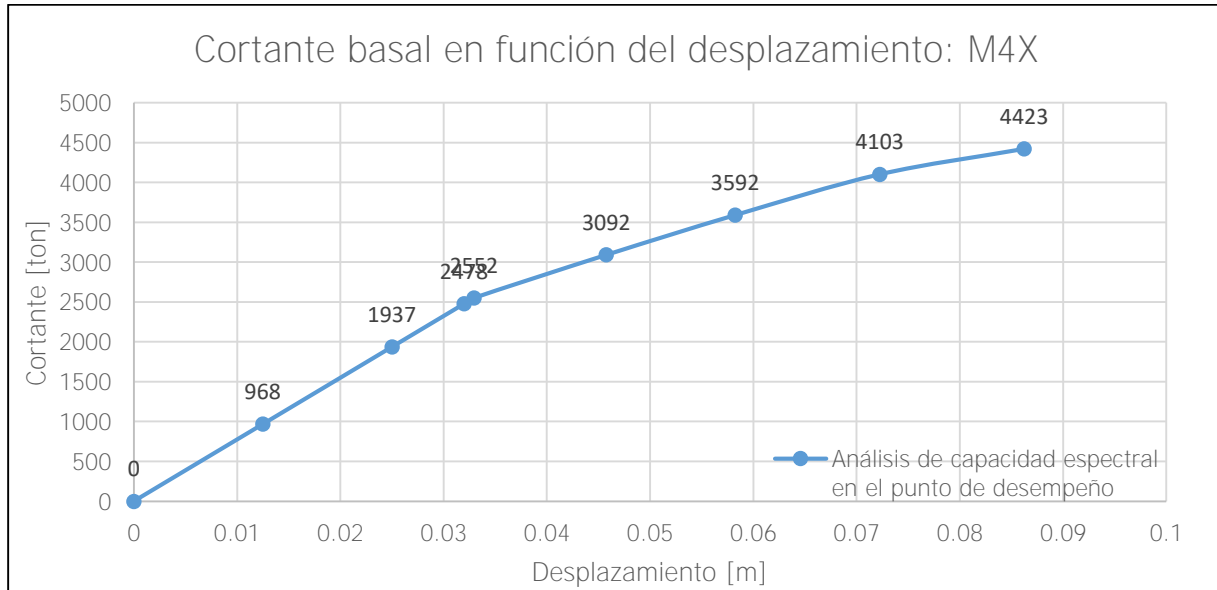


Figura 100. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M4X

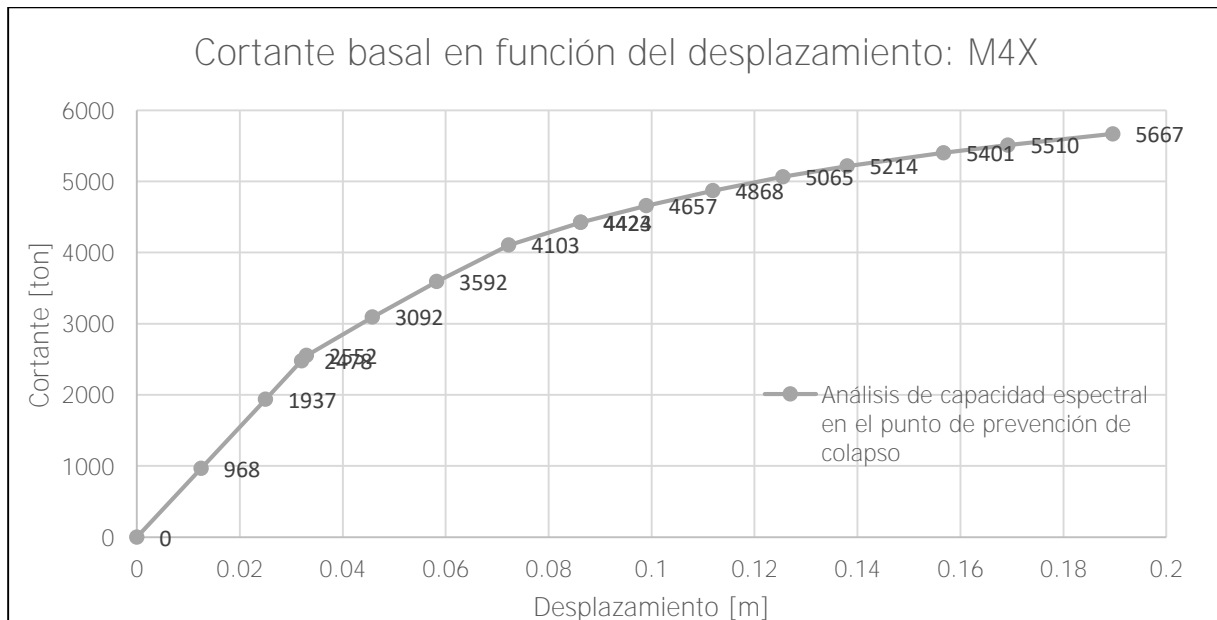


Figura 101. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M4X

En la próxima figura se presentan los datos del Cuadro 31 de manera gráfica. A pesar de que no se cumple la tendencia que se venía presentando de que el cortante es mayor en el sentido Y, se observa que las curvas tienen trayectos muy parecidos y que los valores no son muy diferentes entre sí en las dos direcciones de análisis.

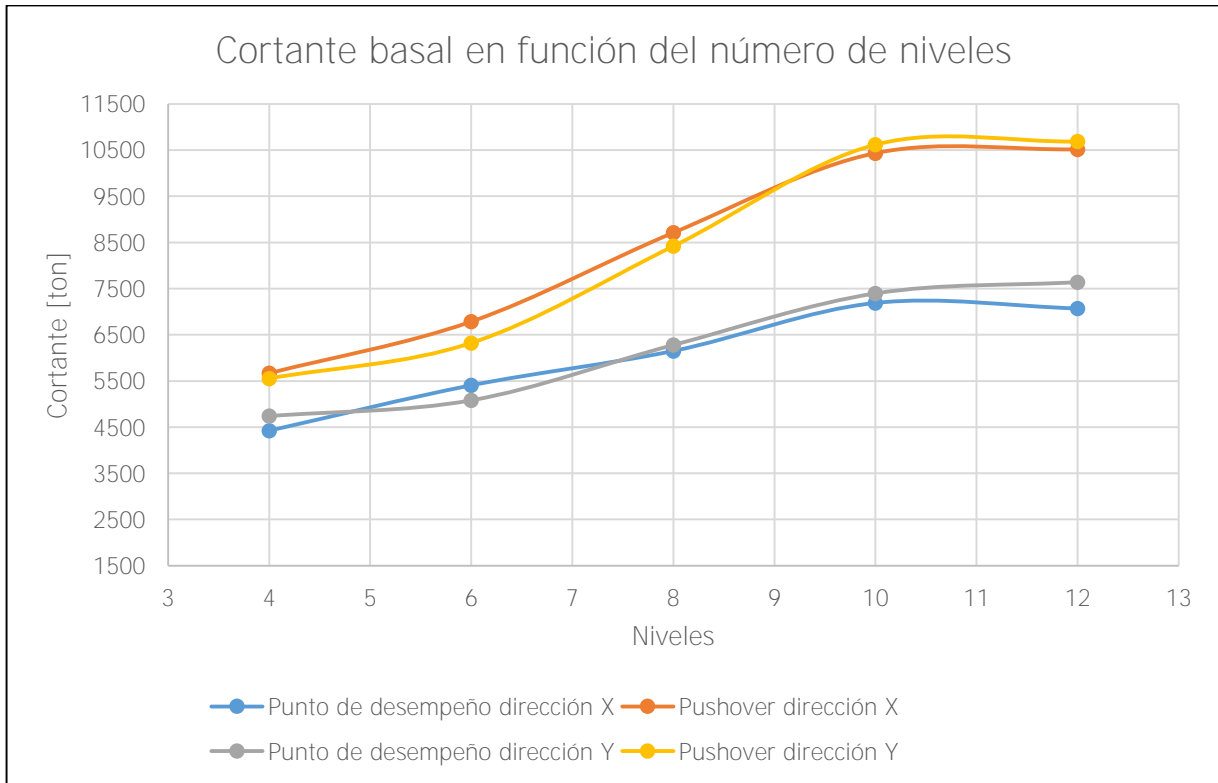


Figura 102. Gráfica de las fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema tipo muro

9.2.5 Sobrerresistencia

A continuación, se superponen las tres figuras que se incluyeron en las secciones de cortante basal para el análisis pseudo dinámico y el análisis de capacidad espectral para cada modelo en ambas direcciones, para calcular la sobrerresistencia de los diferentes modelos.

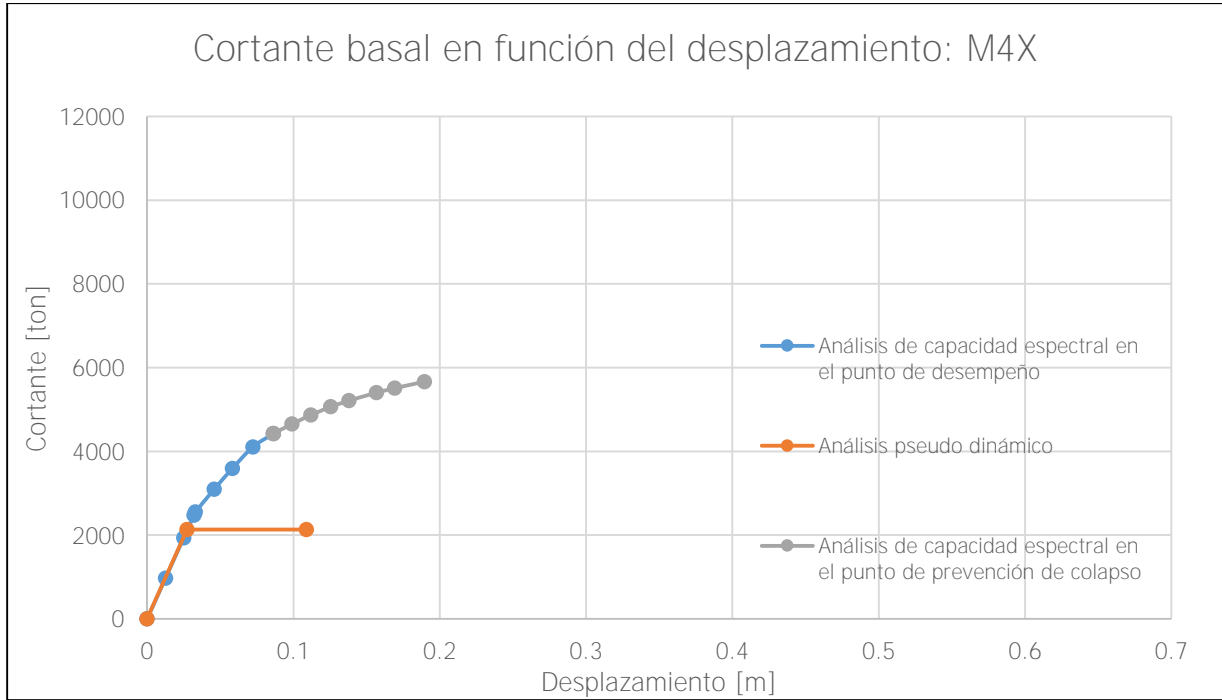


Figura 103. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M4X

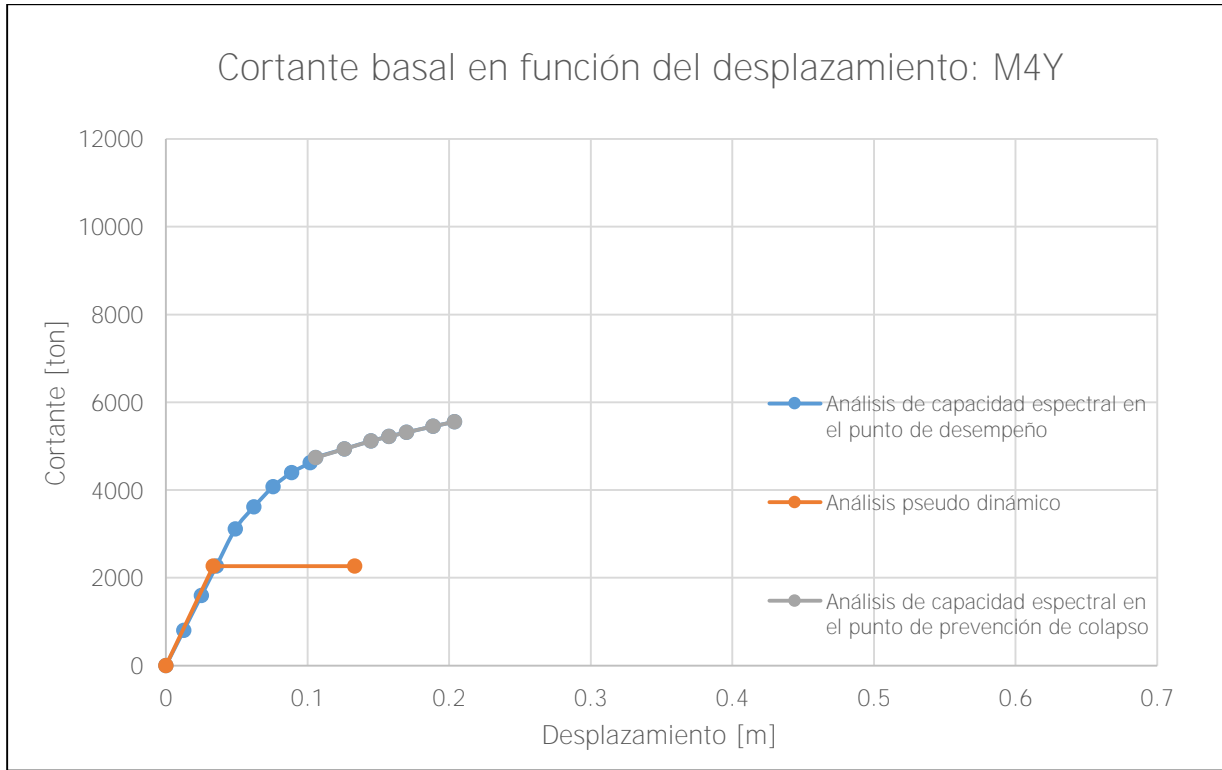


Figura 104. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M4Y

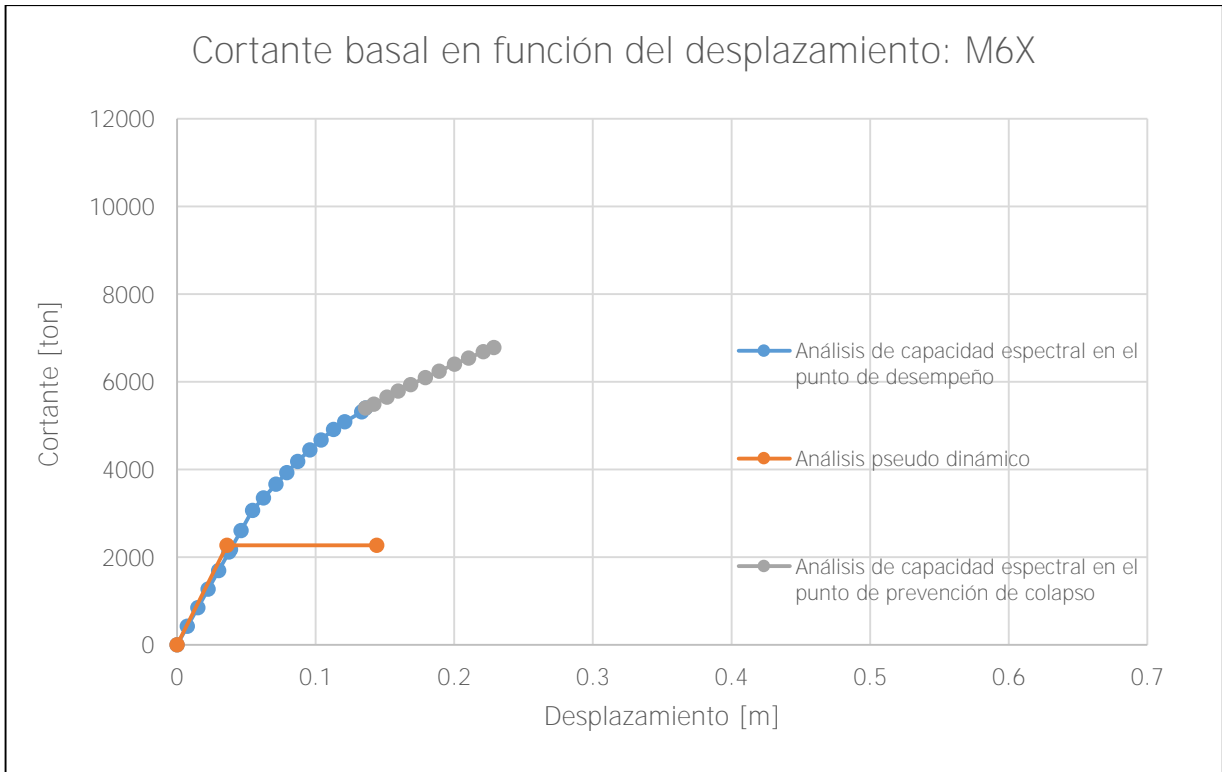


Figura 105. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M6X

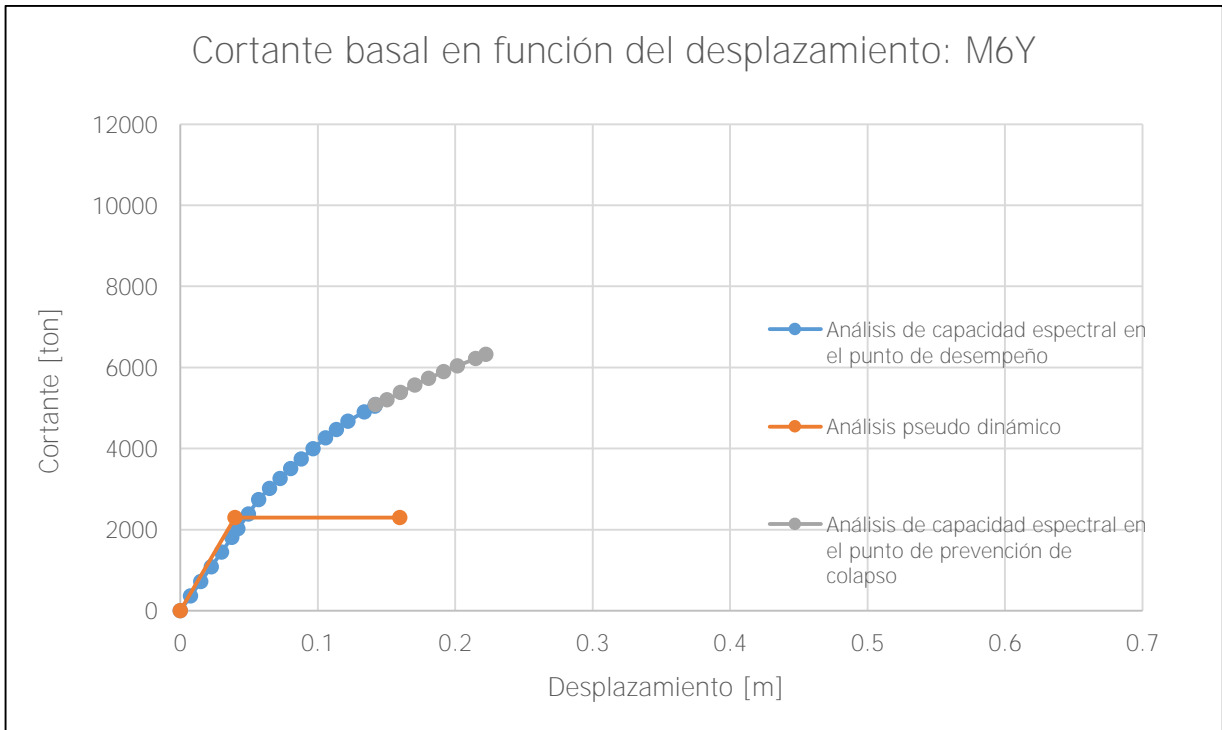


Figura 106. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M6Y

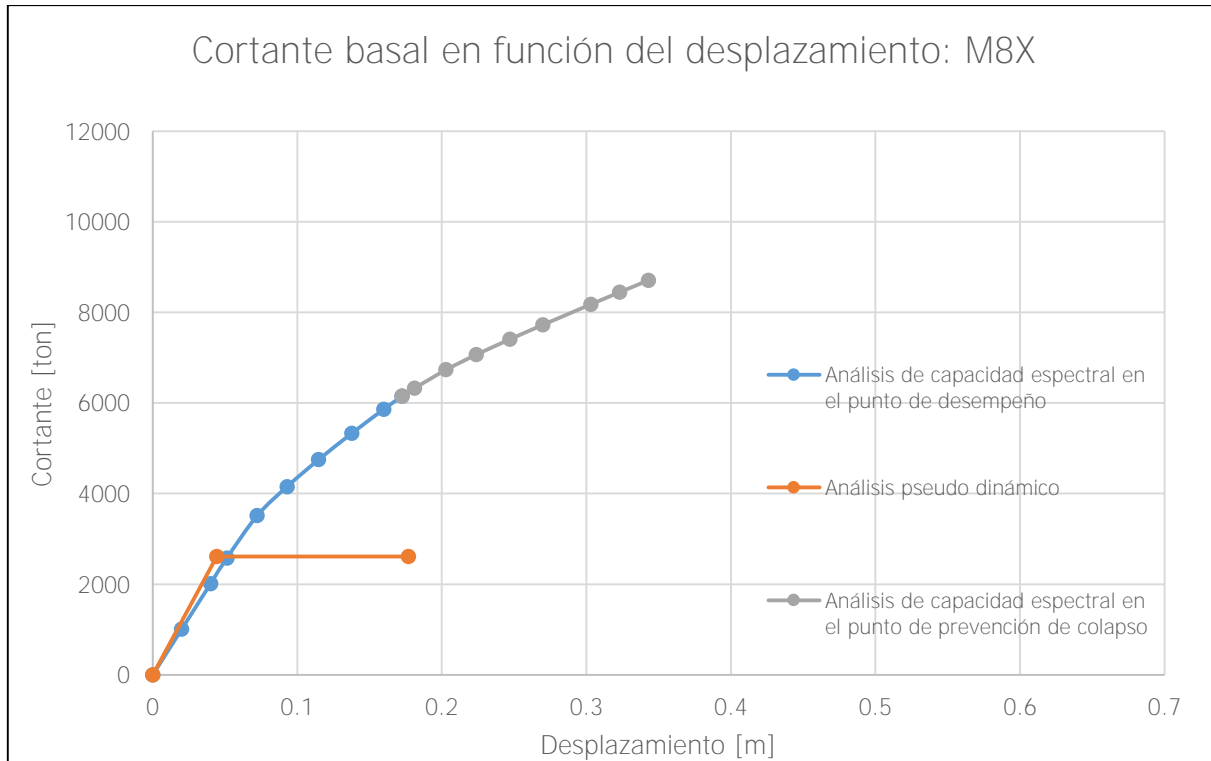


Figura 107. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M8X

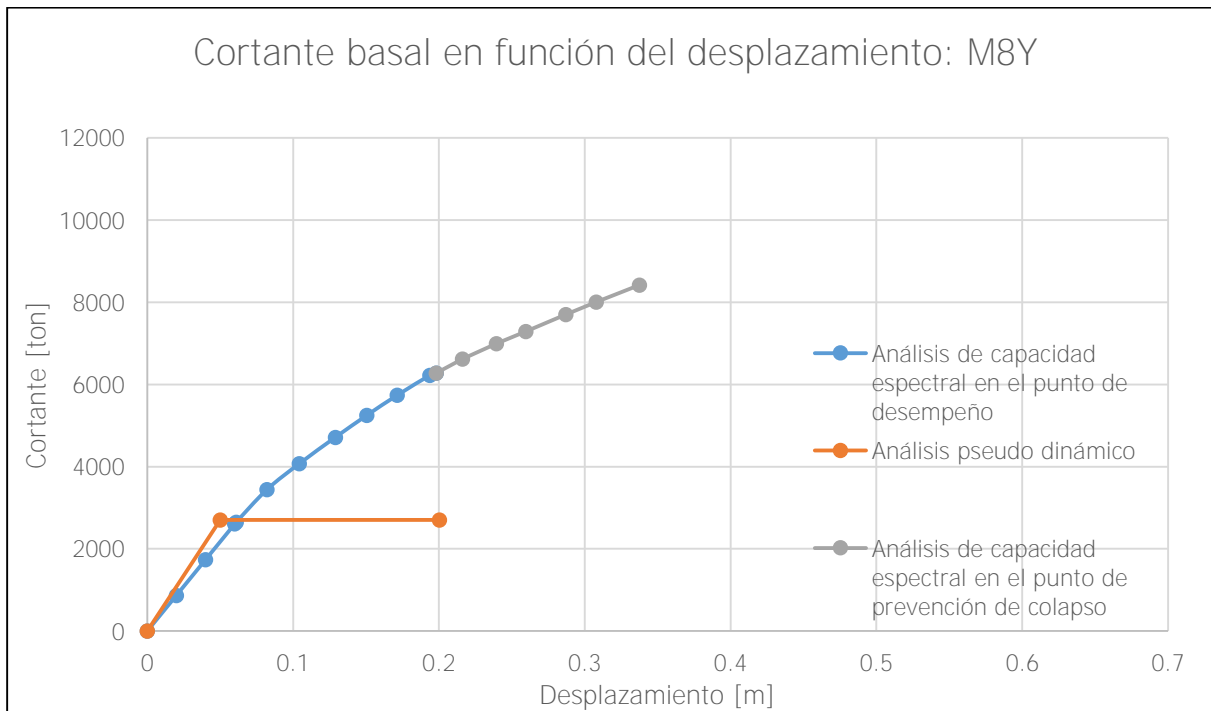


Figura 108. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M8Y

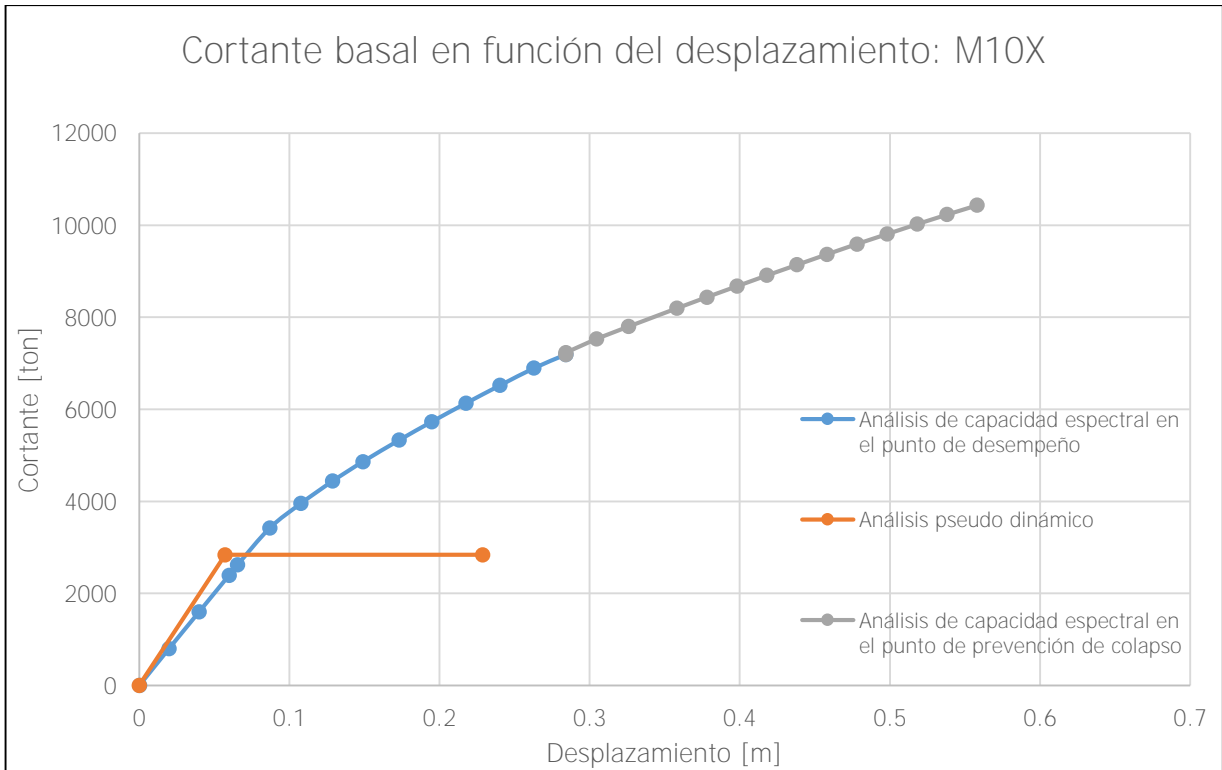


Figura 109. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M10X

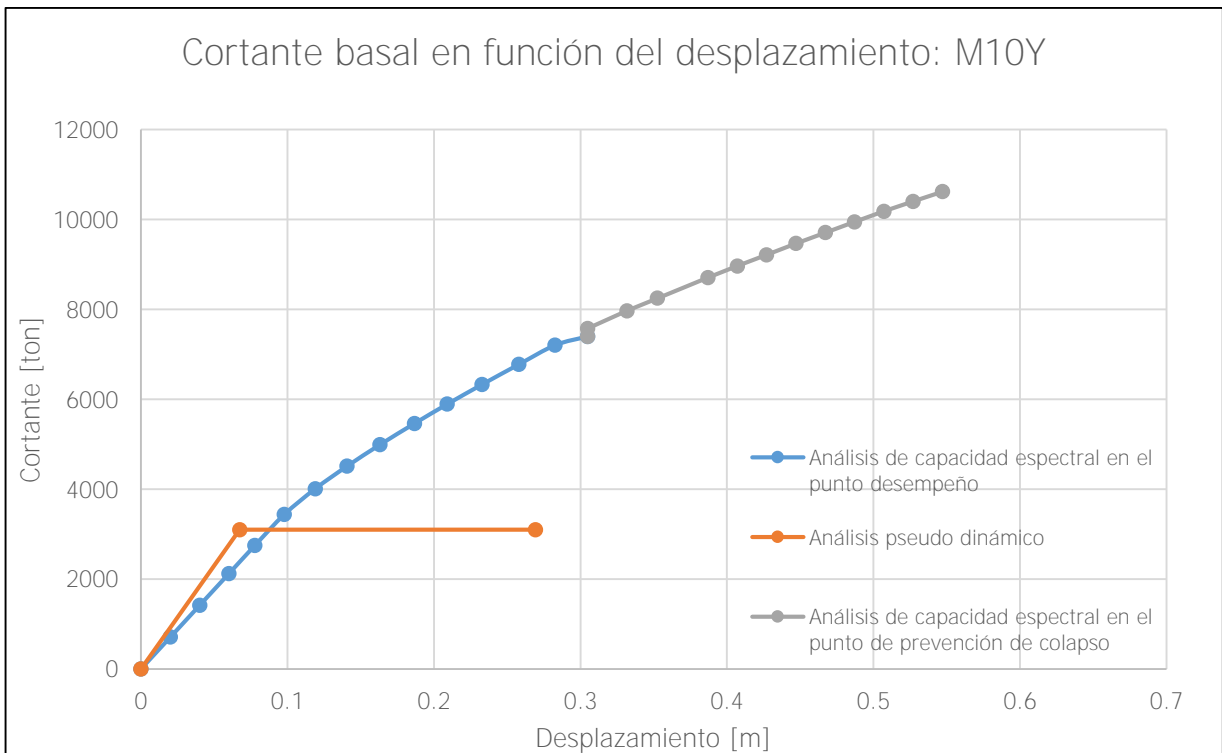


Figura 110. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M10Y

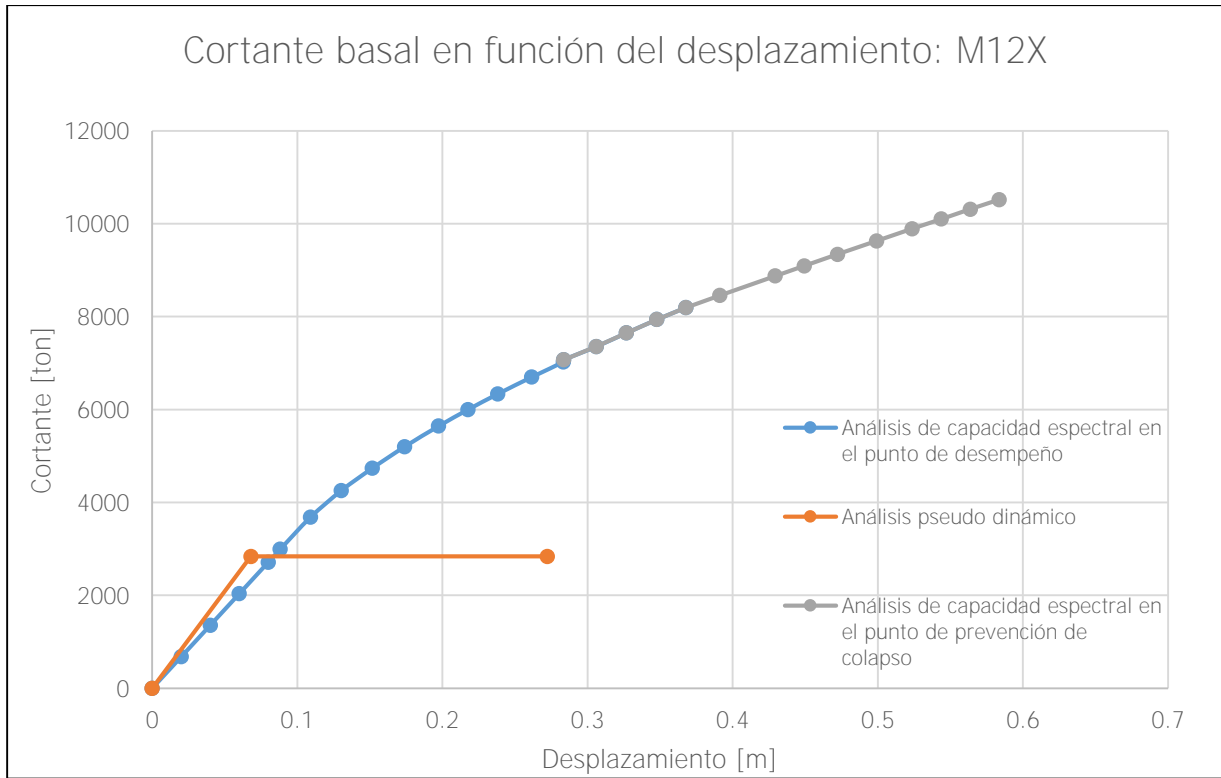


Figura 111. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M12X

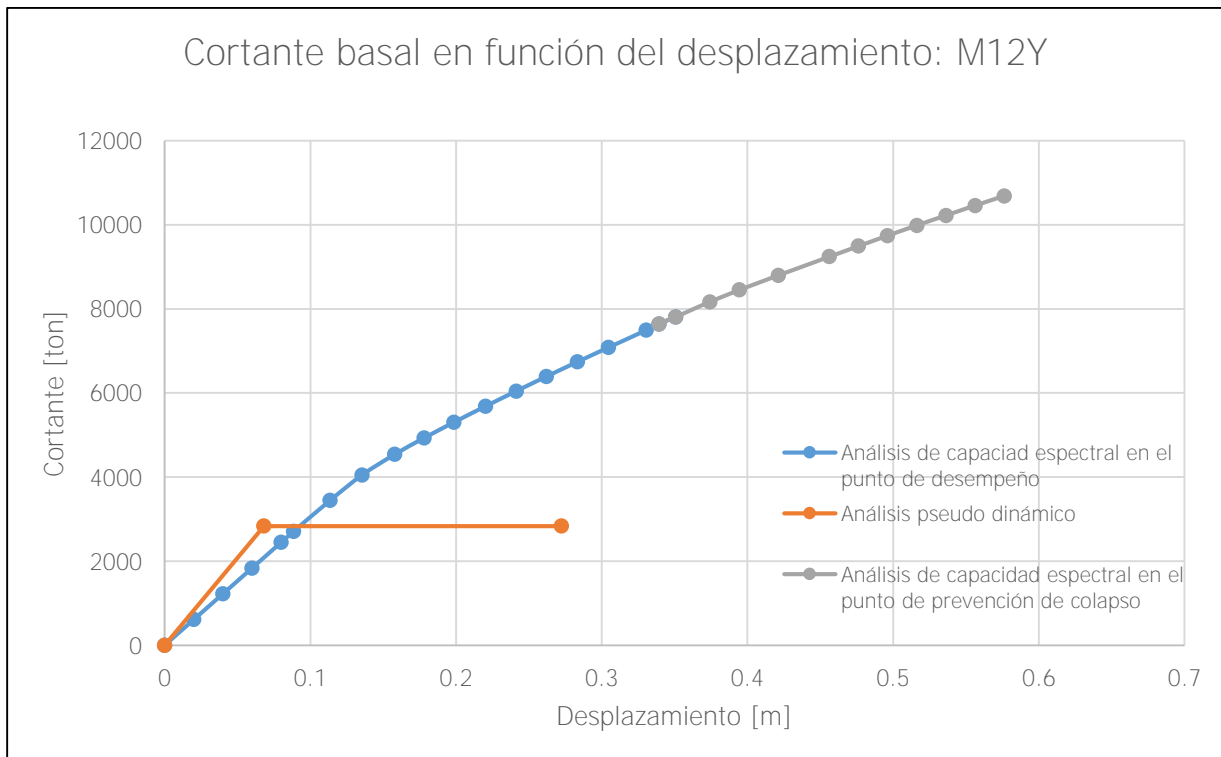


Figura 112. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia M12Y

Utilizando los valores máximos de cortante de las figuras anteriores, se crea el siguiente cuadro con las sobrerresistencias en el punto de desempeño y en el punto de prevención de colapso. Para los modelos del sistema tipo muro también se confirma que la sobrerresistencia tiene una tendencia creciente, en su mayoría, conforme se aumentan los niveles en el modelo. En este caso, se observa que todos los modelos, en ambas direcciones, cumplen con la sobrerresistencia de diseño, ya que todos los valores obtenidos superan el valor de 2. En la Figura 113 se grafican los valores obtenidos del análisis de capacidad espectral para el punto de desempeño.

Cuadro 32. Resumen de sobrerresistencias obtenidas mediante el método de capacidad espectral para los modelos del sistema tipo muro

Modelo	Ambas direcciones	Dirección X		Dirección Y	
	Diseño	Punto de desempeño	Pushover	Punto de desempeño	Pushover
M4	2,0	2,1	2,7	2,1	2,5
M6	2,0	2,4	3,0	2,2	2,7
M8	2,0	2,4	3,3	2,3	3,1
M10	2,0	2,5	3,7	2,4	3,4
M12	2,0	2,3	3,5	2,3	3,3

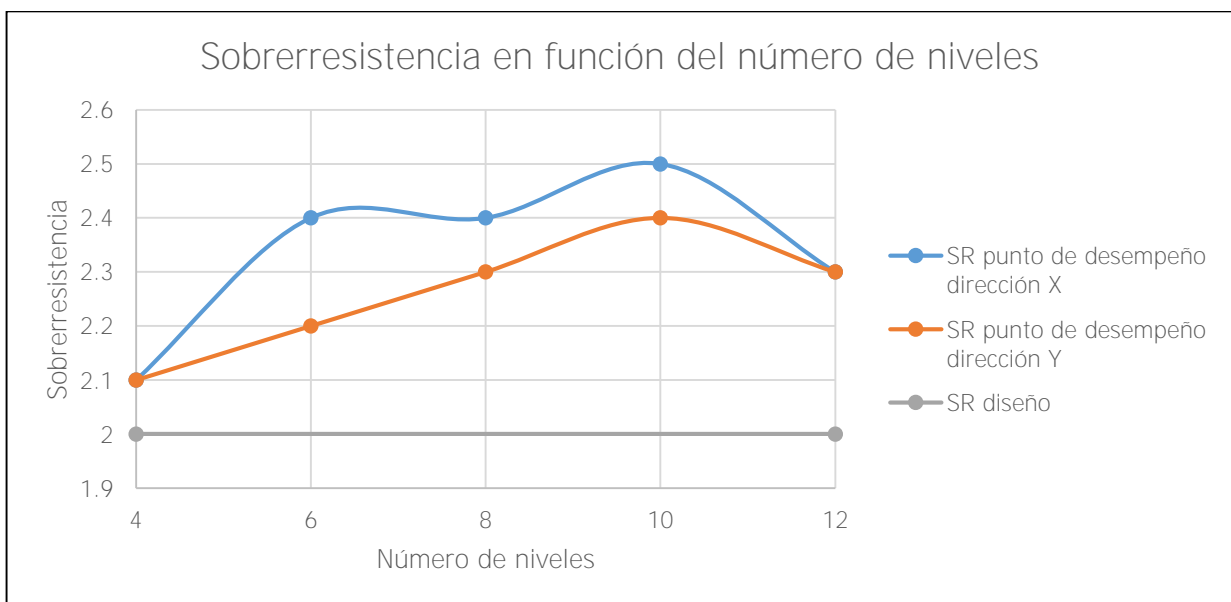


Figura 113. Sobrerresistencia en el punto de desempeño según el número de niveles para los modelos del sistema tipo muro

Capítulo 10: Resultados de los modelos del sistema estructural tipo dual convencional

10.1 Análisis pseudo dinámico

10.1.1 Período

En la sección 9.1.1 Período se presentó los datos para el período de los modelos de los sistemas con muros y dual.

10.1.2 Derivas inelásticas

En la sección 9.1.2 Derivas inelásticas se presentó los datos para las derivas inelásticas de los modelos de los sistemas con muros y dual.

10.1.3 Cortantes basales

En la sección 9.1.3 Cortantes basales se presentó los datos para los cortantes basales de los modelos de los sistemas con muros y dual.

10.2 Análisis de capacidad espectral

10.2.1 Período

En el siguiente cuadro se despliegan los períodos obtenidos para el análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema estructural tipo dual. Todos los valores aumentan con respecto a su modelo similar de análisis elástico, incluso mantiene los valores del análisis inelástico para muros, a excepción del modelo de 12 niveles, que disminuye su período. Para el sistema estructural tipo dual se tiene el mismo patrón que el sistema de muros y se concluye que, el período del análisis de capacidad espectral aumenta en menor proporción, con respecto al análisis pseudo dinámico, que los modelos con losas planas.

Cuadro 33. Períodos obtenidos del análisis de capacidad espectral para el modelo del sistema estructural tipo dual

Modelo	Período [s]	Aumento con respecto a análisis pseudo dinámico [%]
D4	0,68	7%
D6	1,05	12%
D8	1,22	10%
D10	1,47	11%
D12	1,62	5%

En la siguiente figura se muestra de manera gráfica las aproximaciones del período para ambos análisis. El coeficiente de correlación disminuye en un 4% para el análisis de capacidad espectral, pasando de un 93% a un 89%, lo que quiere decir que, para los edificios del sistema estructural tipo dual, la relación entre el número de pisos y el período no es tan estrecha como la de muros o losas planas.

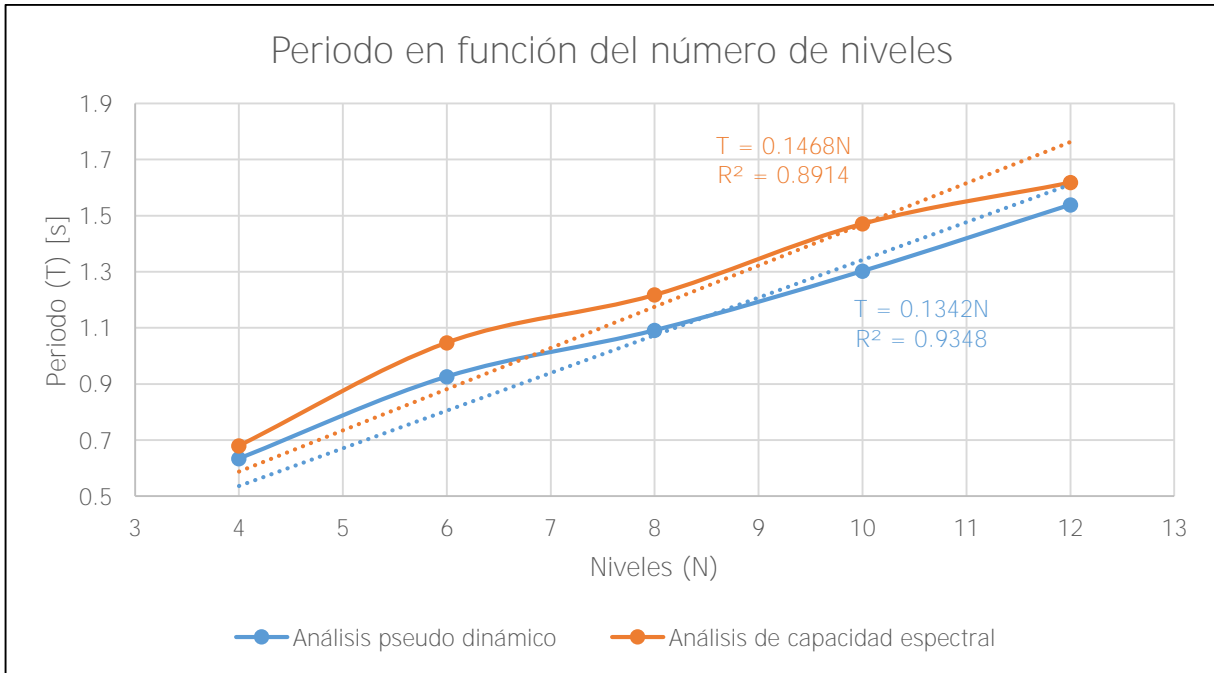


Figura 114. Gráfica del período en función del número de niveles obtenido del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema estructural tipo dual

10.2.2 Derivas inelásticas

De la Figura 115 a la Figura 124 se muestran las gráficas con las derivas obtenidas por medio del análisis pseudo dinámico y el análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño y en el punto de prevención de colapso para los modelos del sistema estructural tipo dual. Al igual que los dos casos anteriores, se puede visualizar que, en la mayoría de los casos, las derivas del análisis pseudo dinámico son menores a las derivas del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño y las curvas anaranjadas nunca sobrepasan el límite impuesto por el CSCR-10. Por lo tanto, para estos modelos del sistema estructural tipo dual se asegura que la estructura no sufrirá daños excesivos cuando se encuentre en el punto de desempeño.

Para estos modelos ocurrió lo siguiente: en el punto de desempeño, la mayoría de las derivas son mayores a las de muros y menores a las de losas planas. Sin embargo, en el punto de prevención de colapso, las derivas muestran los mayores valores de los tres sistemas. En el Capítulo 11: Comparación de resultados entre sistemas se realizará un análisis más profundo entre los modelos.

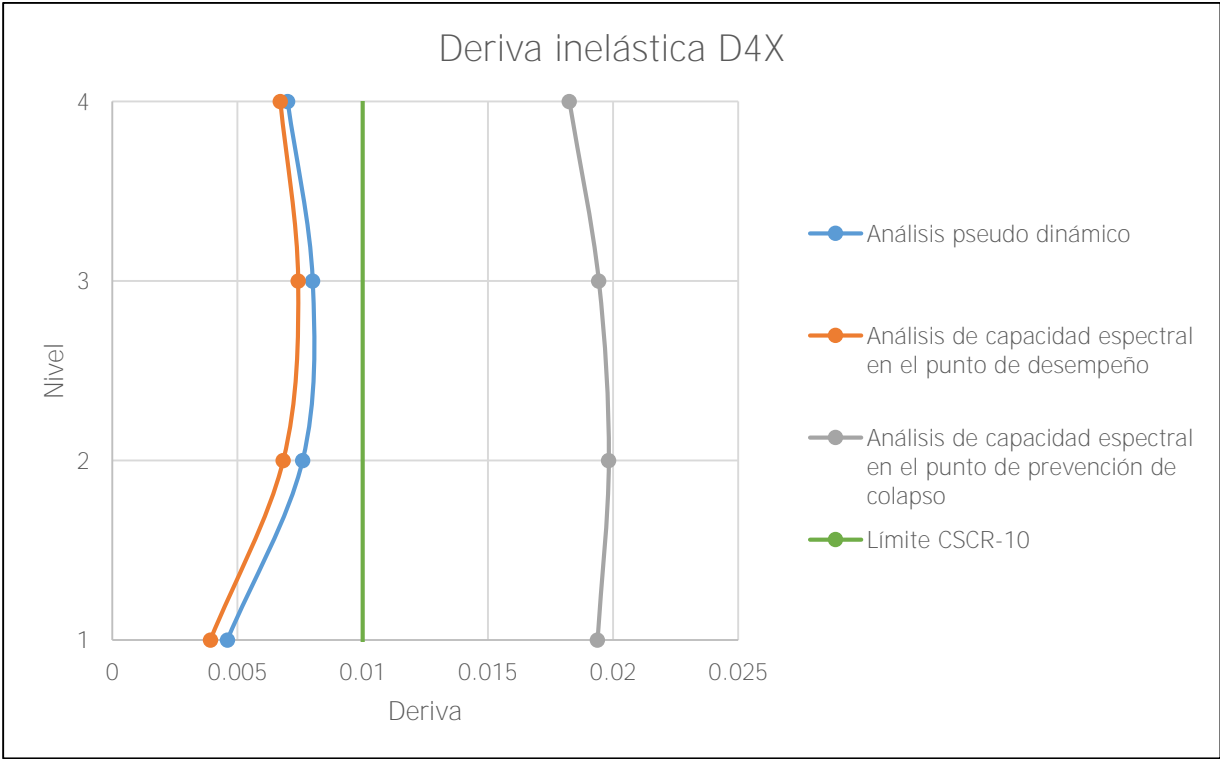


Figura 115. Deriva inelástica D4X

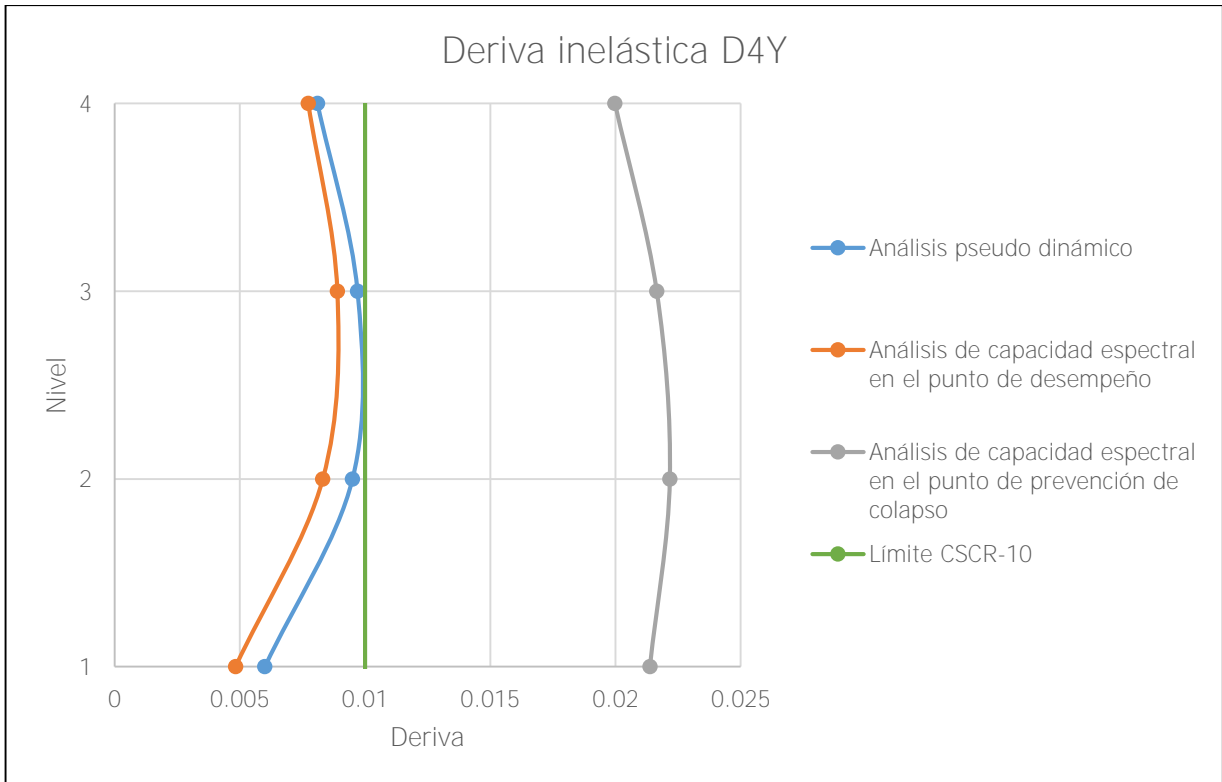


Figura 116. Deriva inelástica D4Y

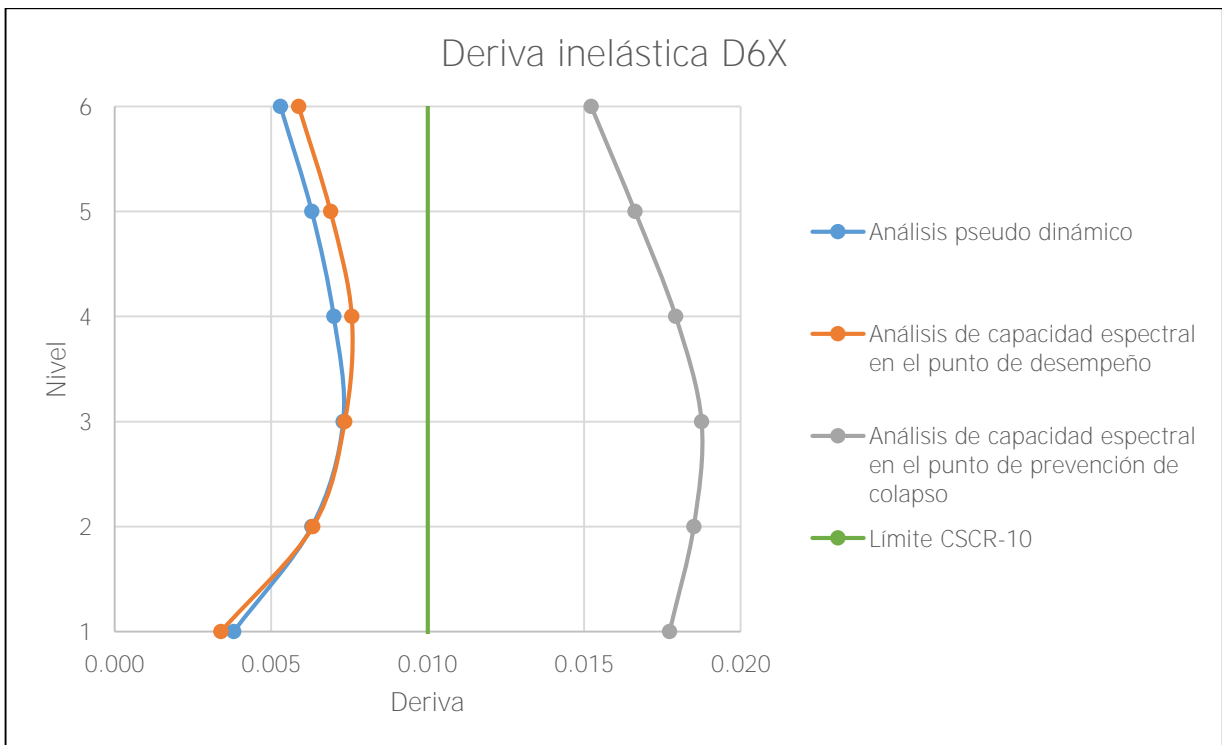


Figura 117. Deriva inelástica D6X

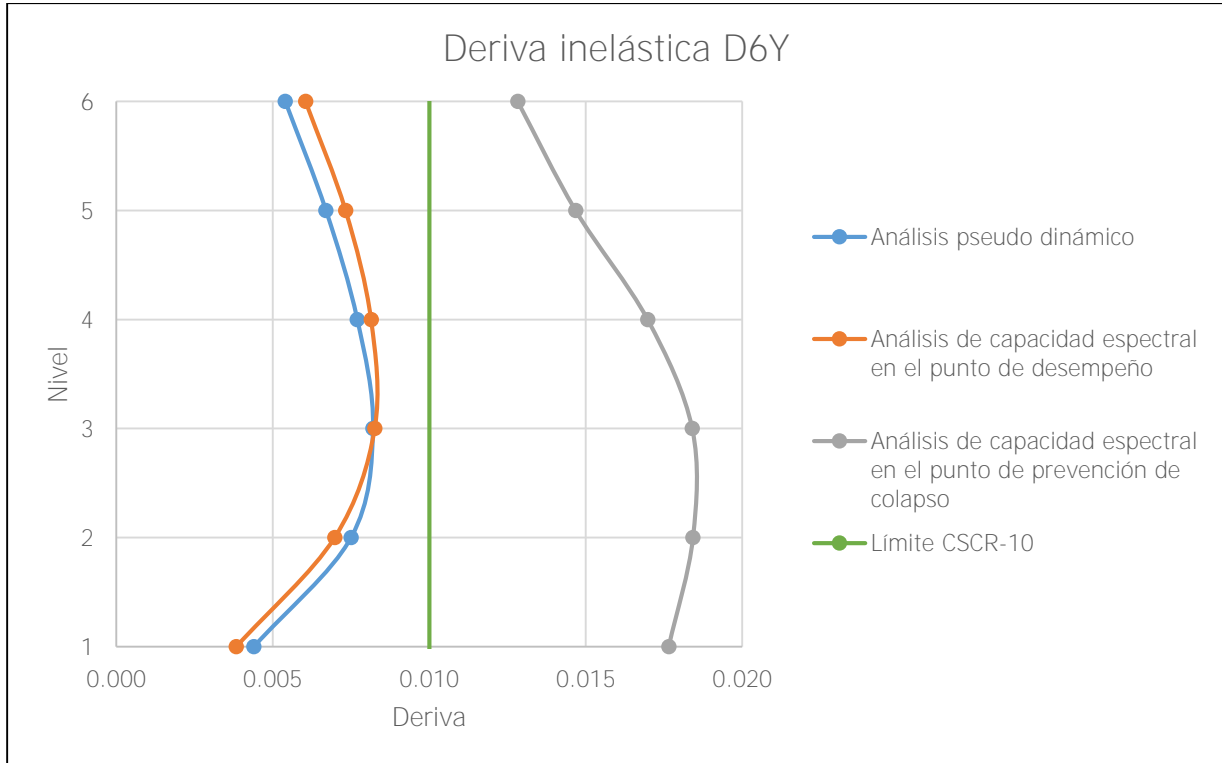


Figura 118. Deriva inelástica D6Y

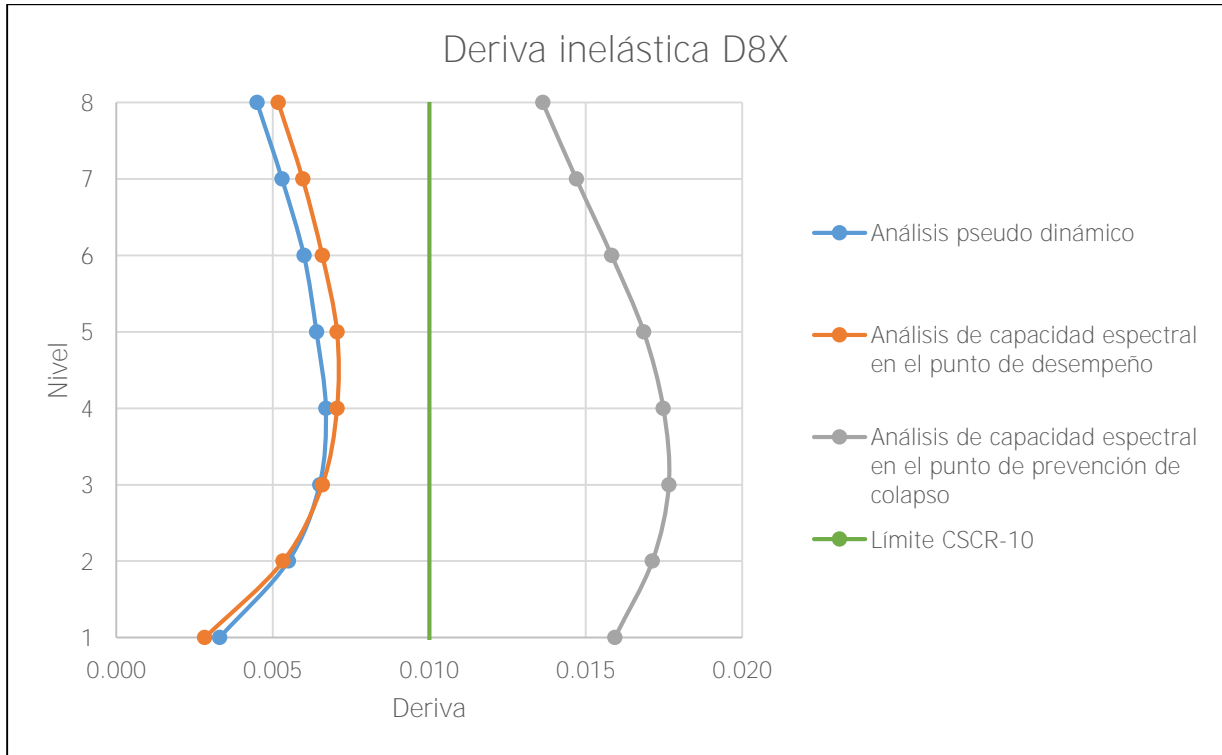


Figura 119. Deriva inelástica D8X

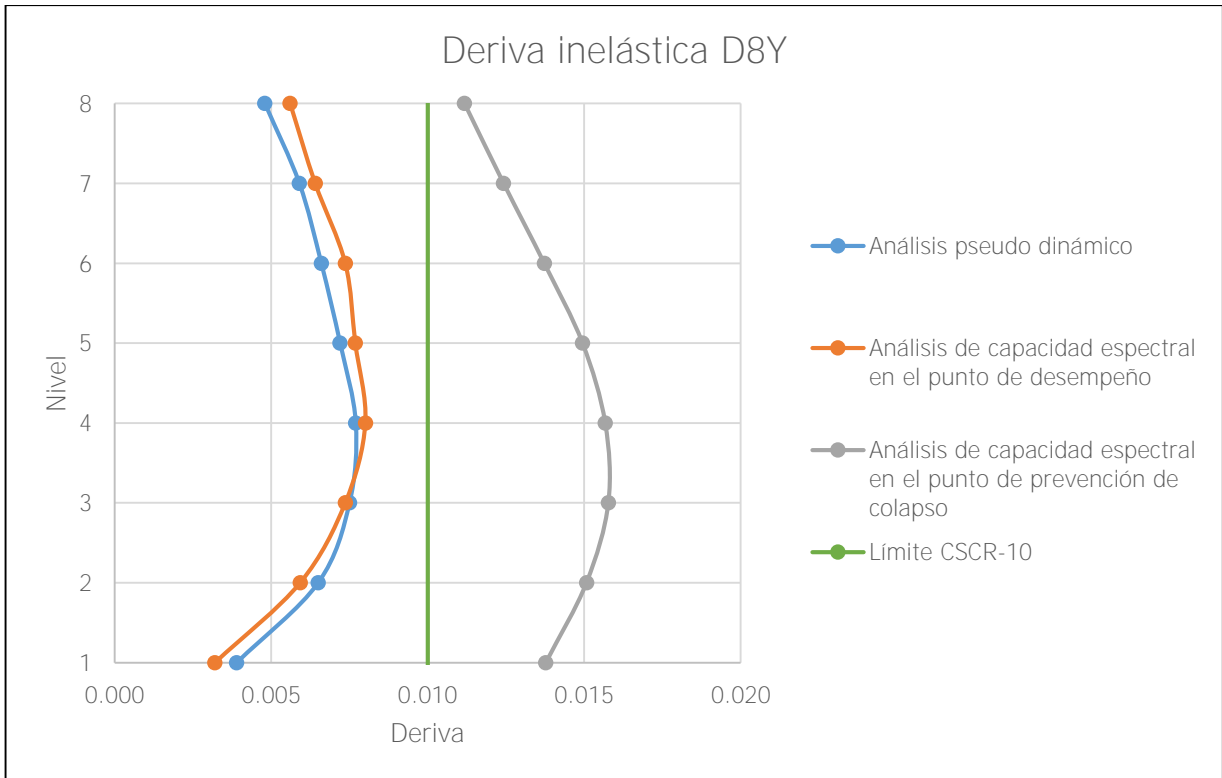


Figura 120. Deriva inelástica D8Y

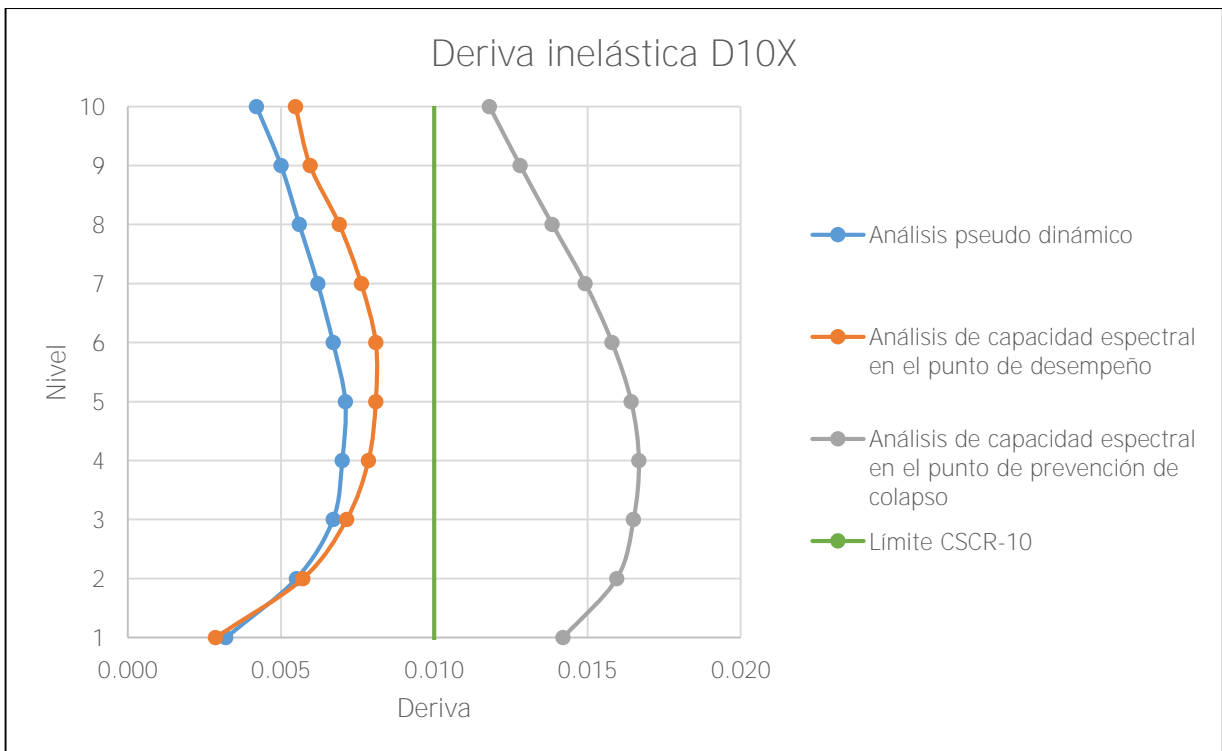


Figura 121. Deriva inelástica D10X

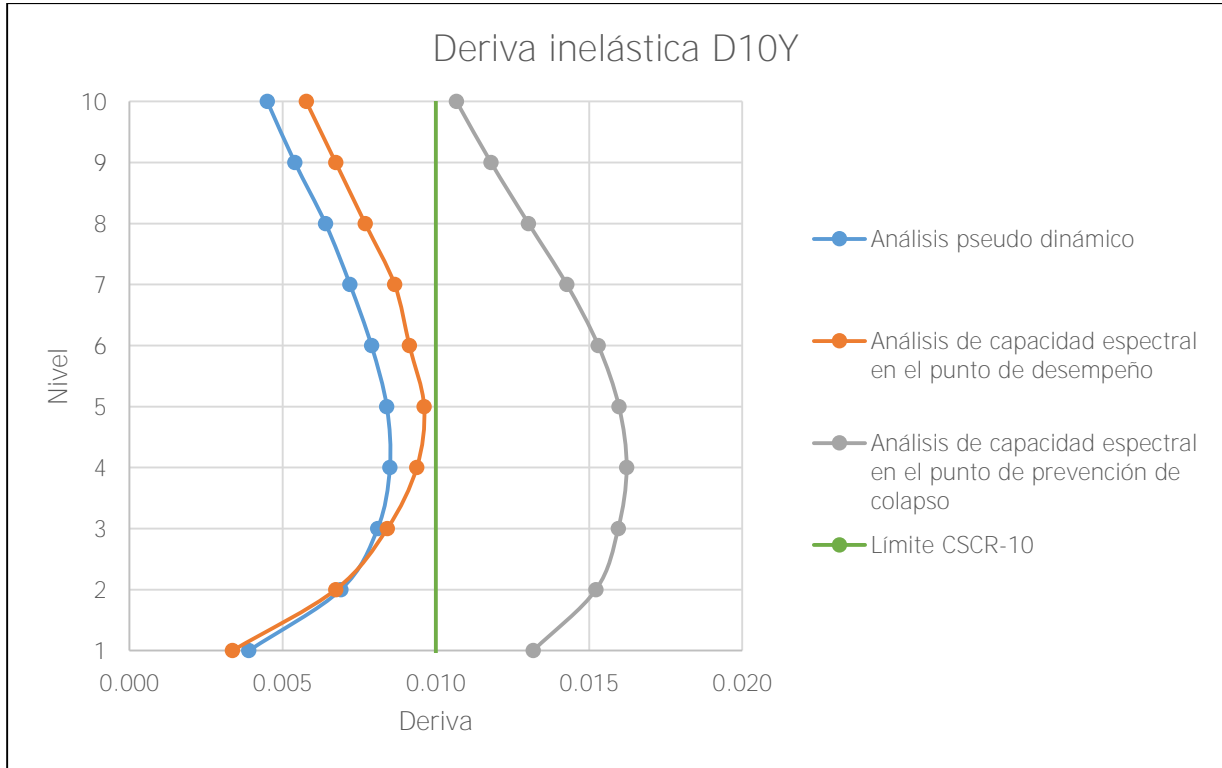


Figura 122. Deriva inelástica D10Y

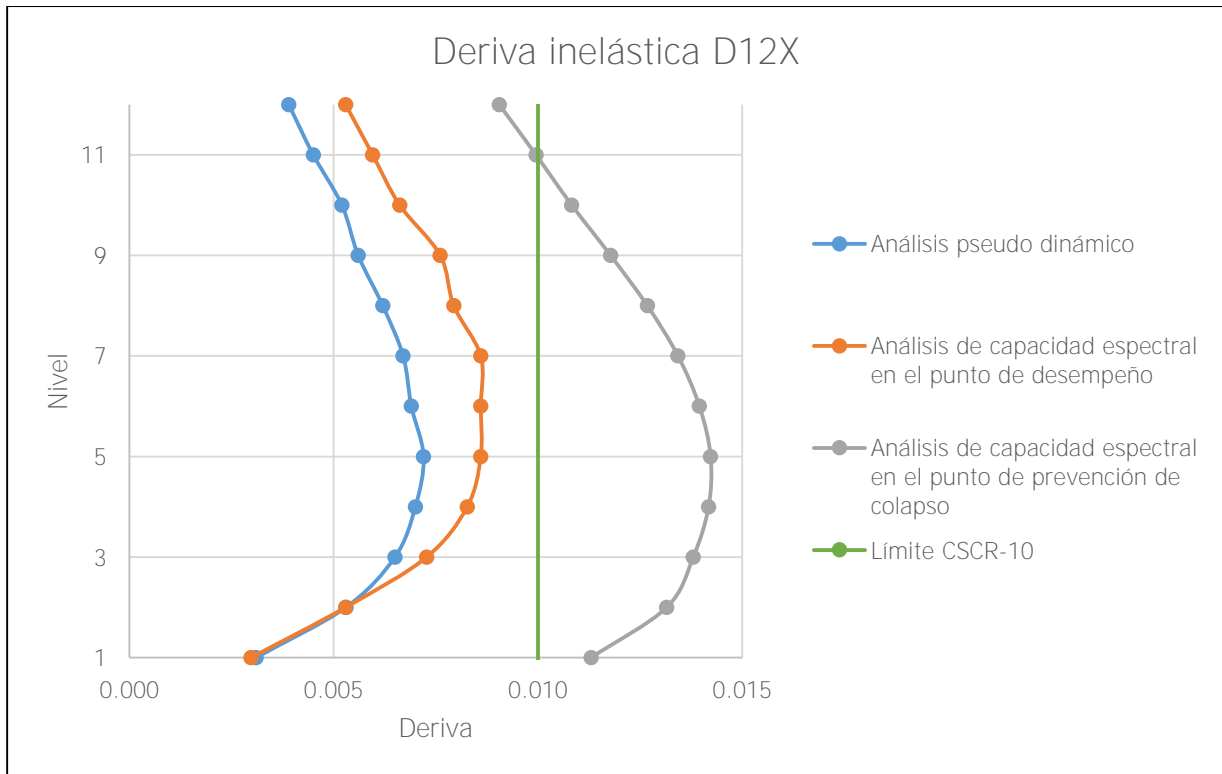


Figura 123. Deriva inelástica D12X

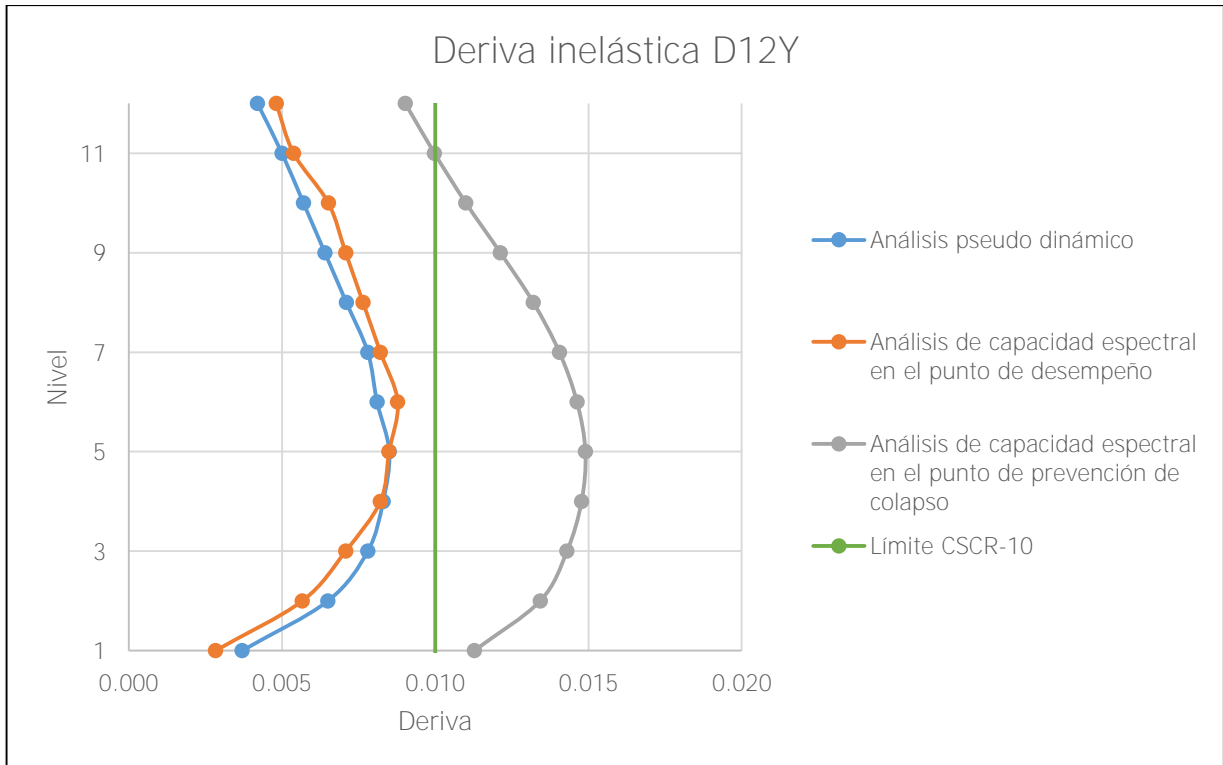


Figura 124. Deriva inelástica D12Y

10.2.3 Curva de capacidad estructural y ductilidad en punto de desempeño

En el Apéndice C: Cálculos para modelos tipo dual, sección C.3 Cálculo del punto de desempeño, se muestran los cuadros con las salidas del programa SAP2000 (cortantes basales y desplazamientos) que se transformaron a coordenadas del espectro inelástico para obtener los puntos de desempeño.

Se observa que la ductilidad en el punto de desempeño, desde la Figura 125 hasta la Figura 134, disminuye conforme se aumentan los niveles en el modelo, al igual que ocurrió para los modelos con losas planas y muros. Las curvas de desempeño del sistema estructural tipo dual también concuerdan con lo que establece el ATC-40 que la pendiente de las curvas disminuye conforme se incrementa el número de niveles en los modelos.

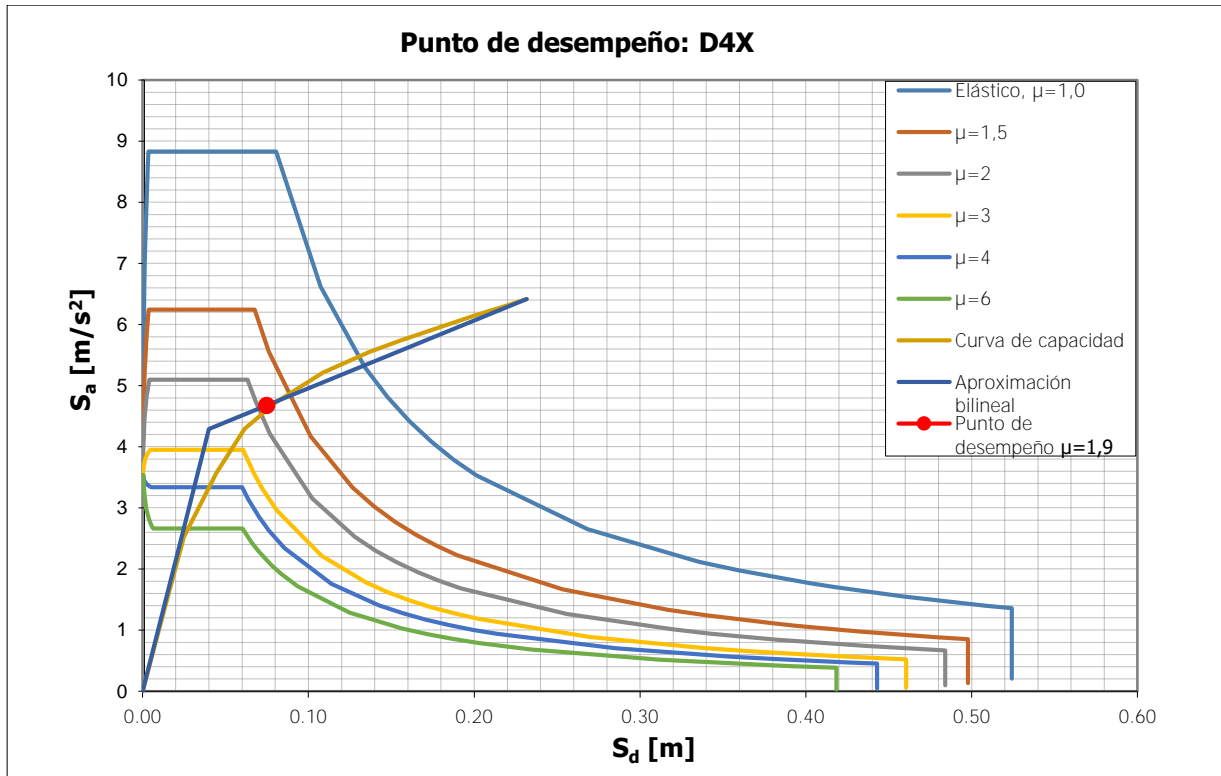


Figura 125. Punto de desempeño D4X

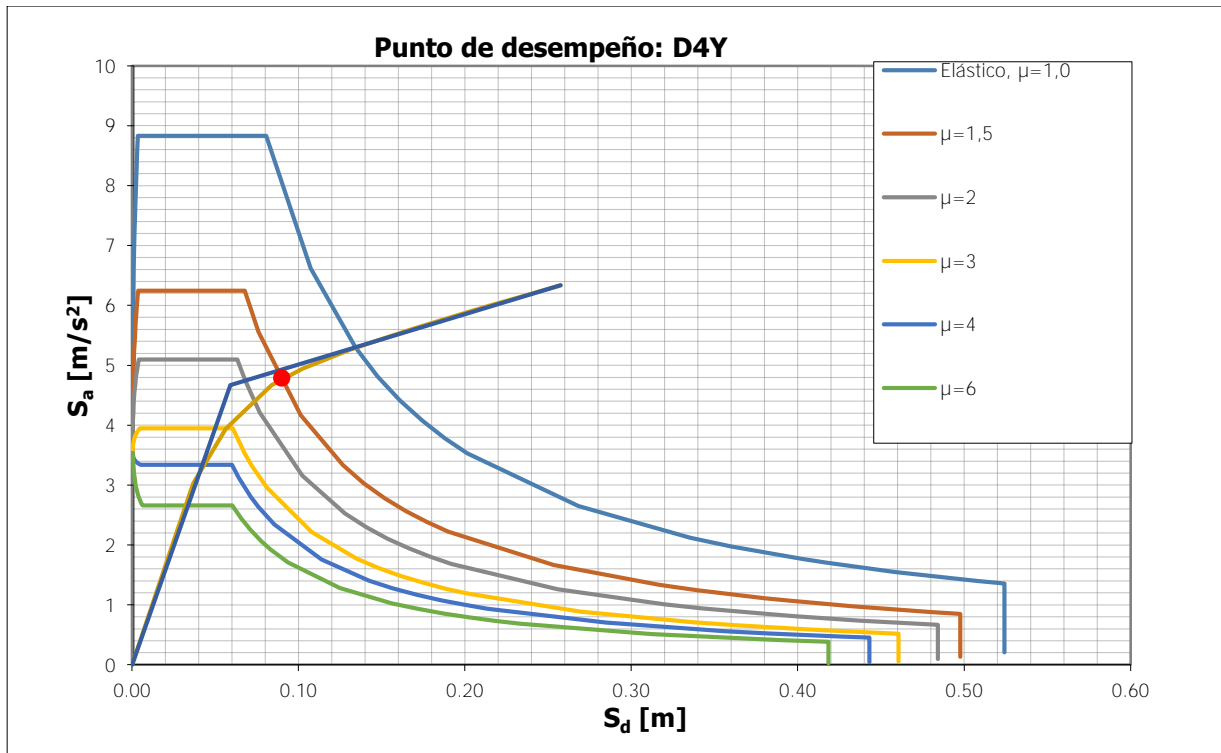


Figura 126. Punto de desempeño D4Y

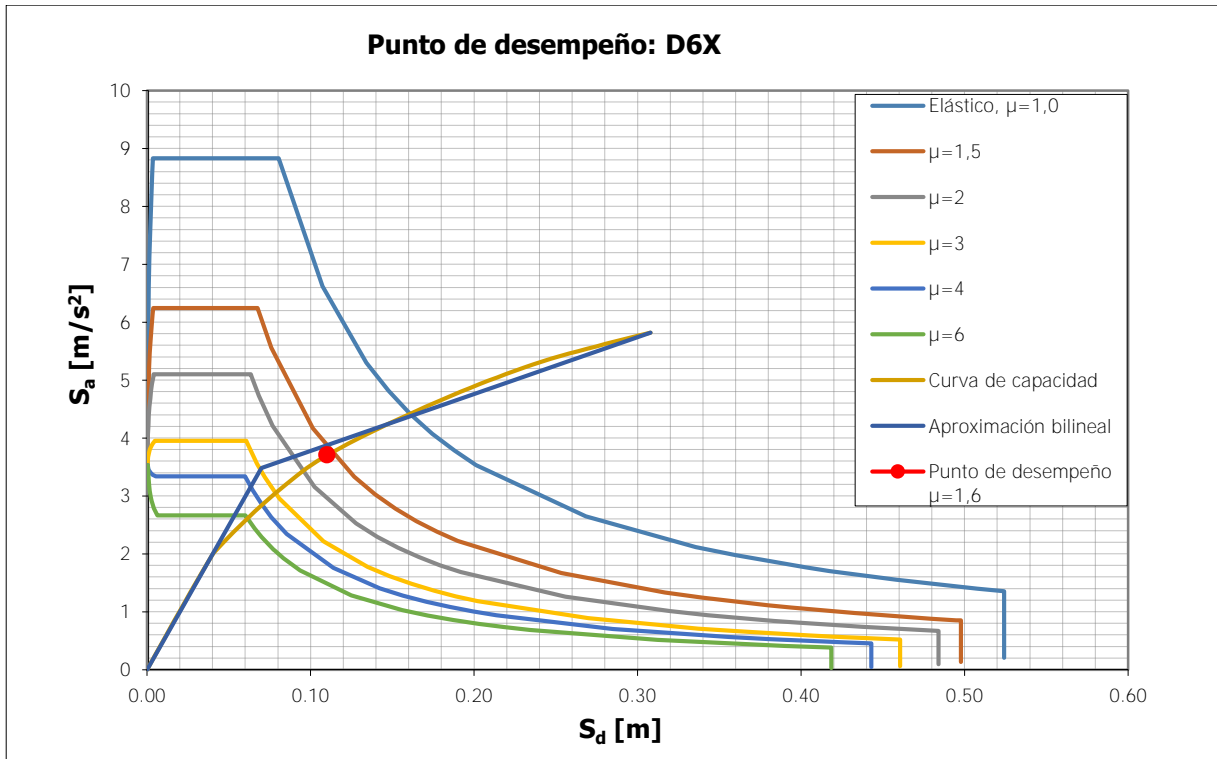


Figura 127. Punto de desempeño D6X

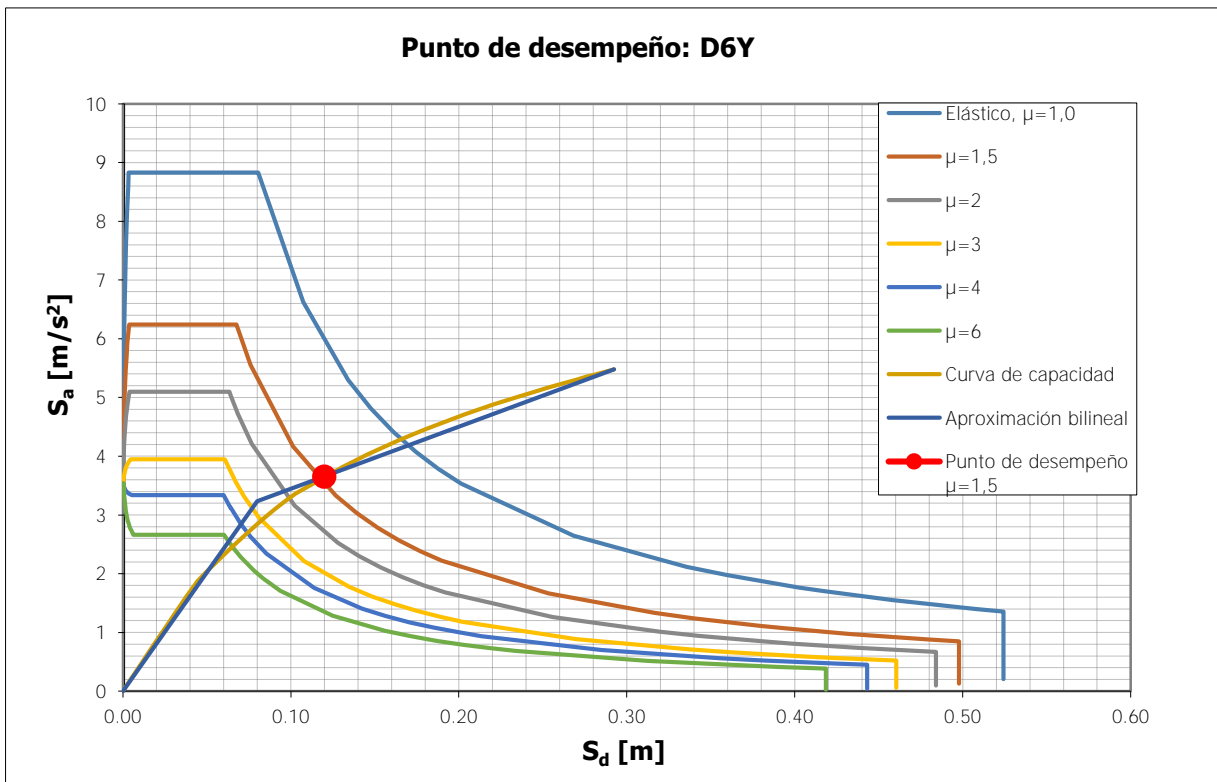


Figura 128. Punto de desempeño D6Y

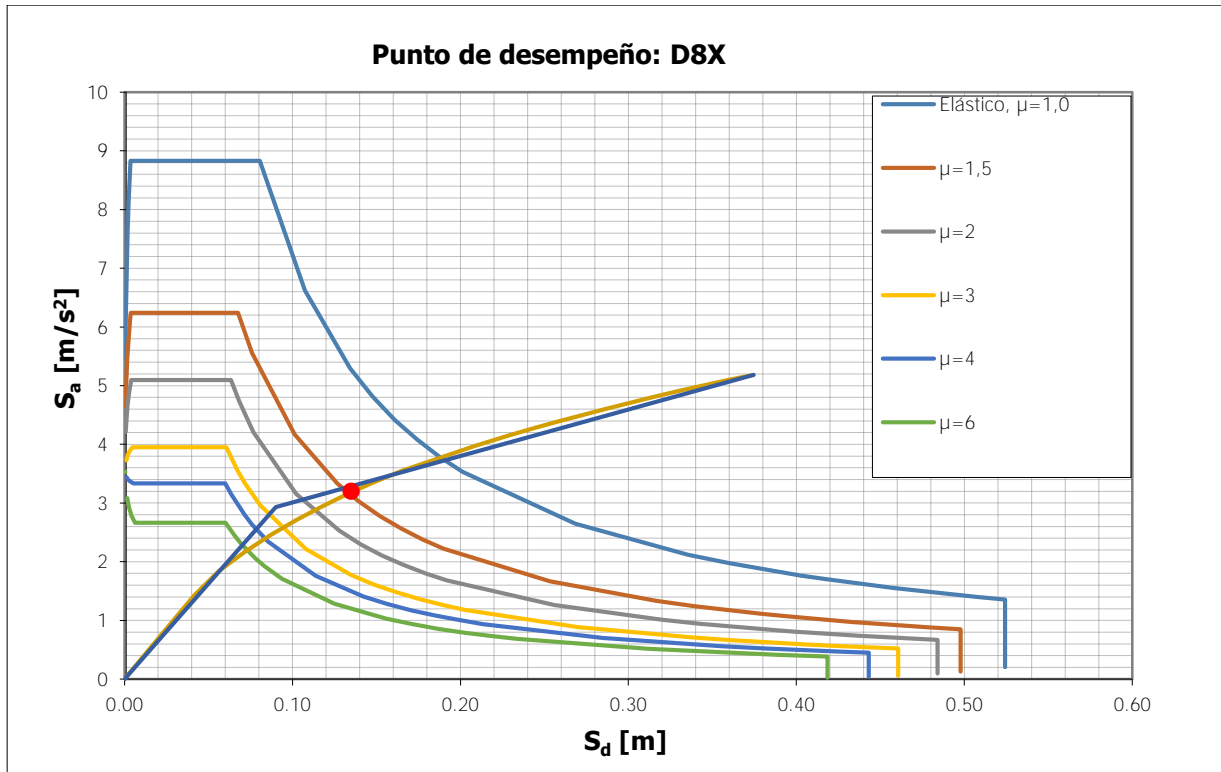


Figura 129. Punto de desempeño D8X

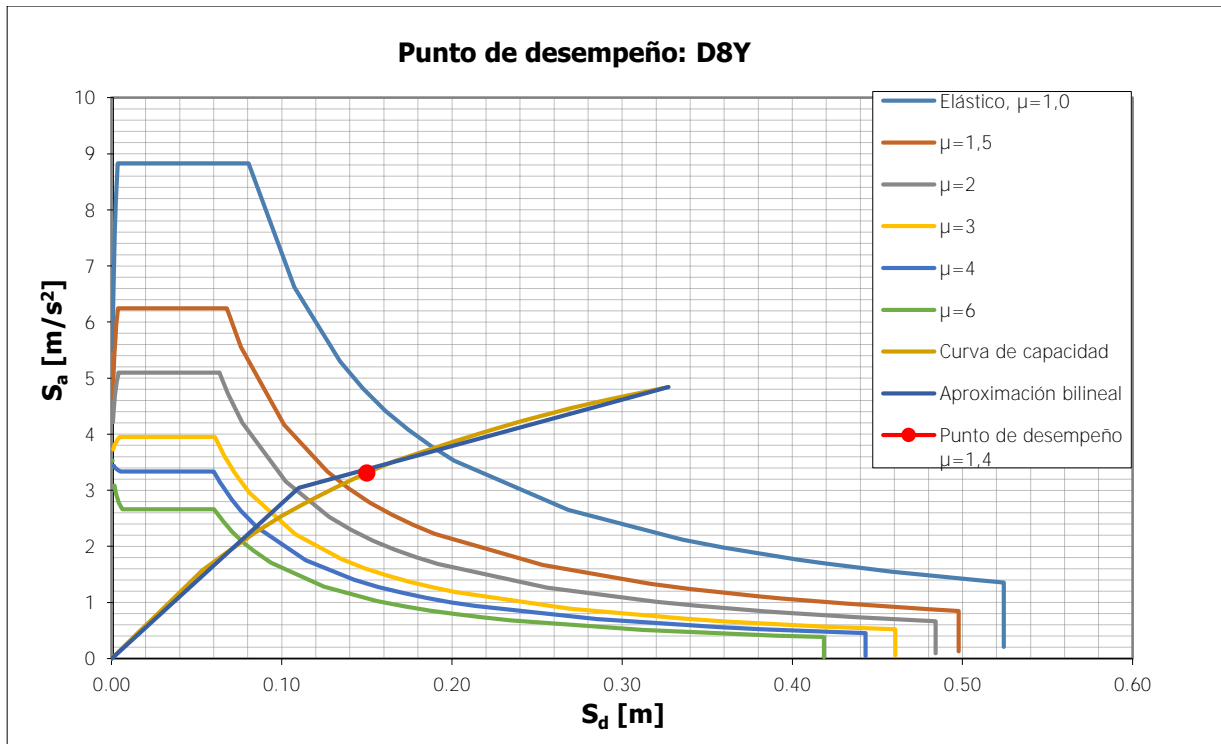


Figura 130. Punto de desempeño D8Y

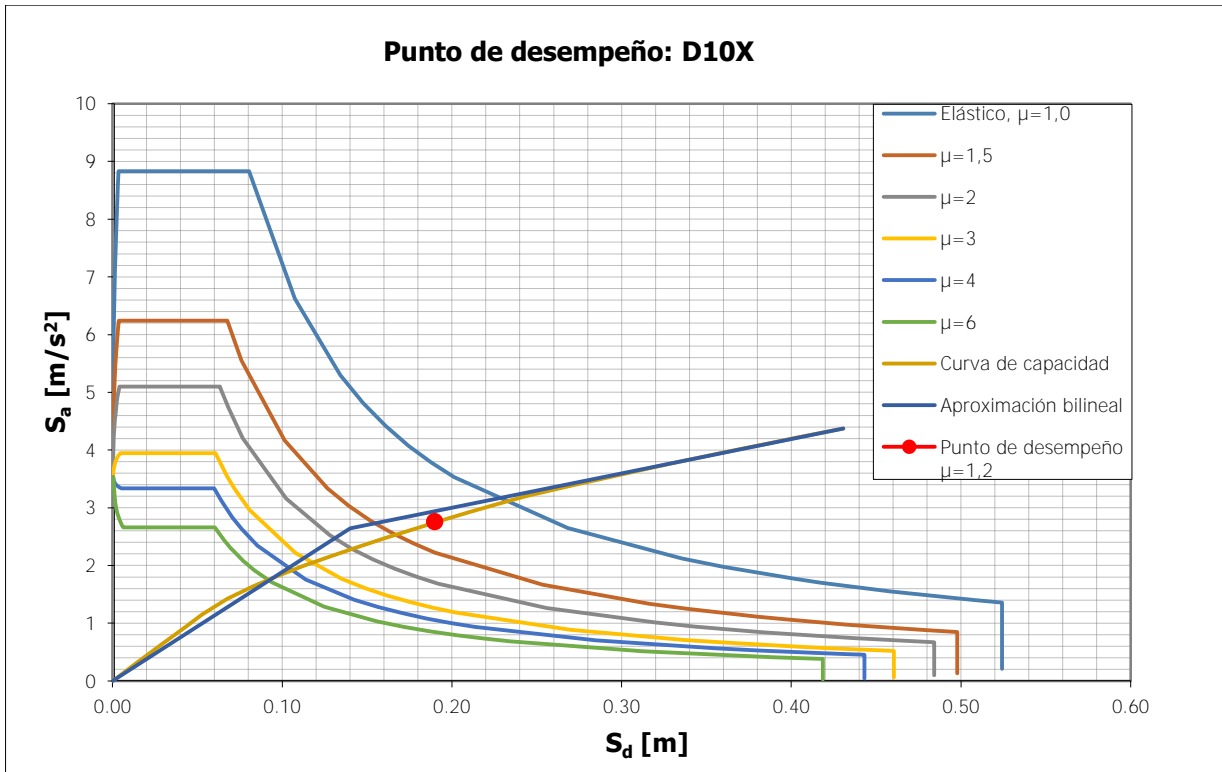


Figura 131. Punto de desempeño D10X

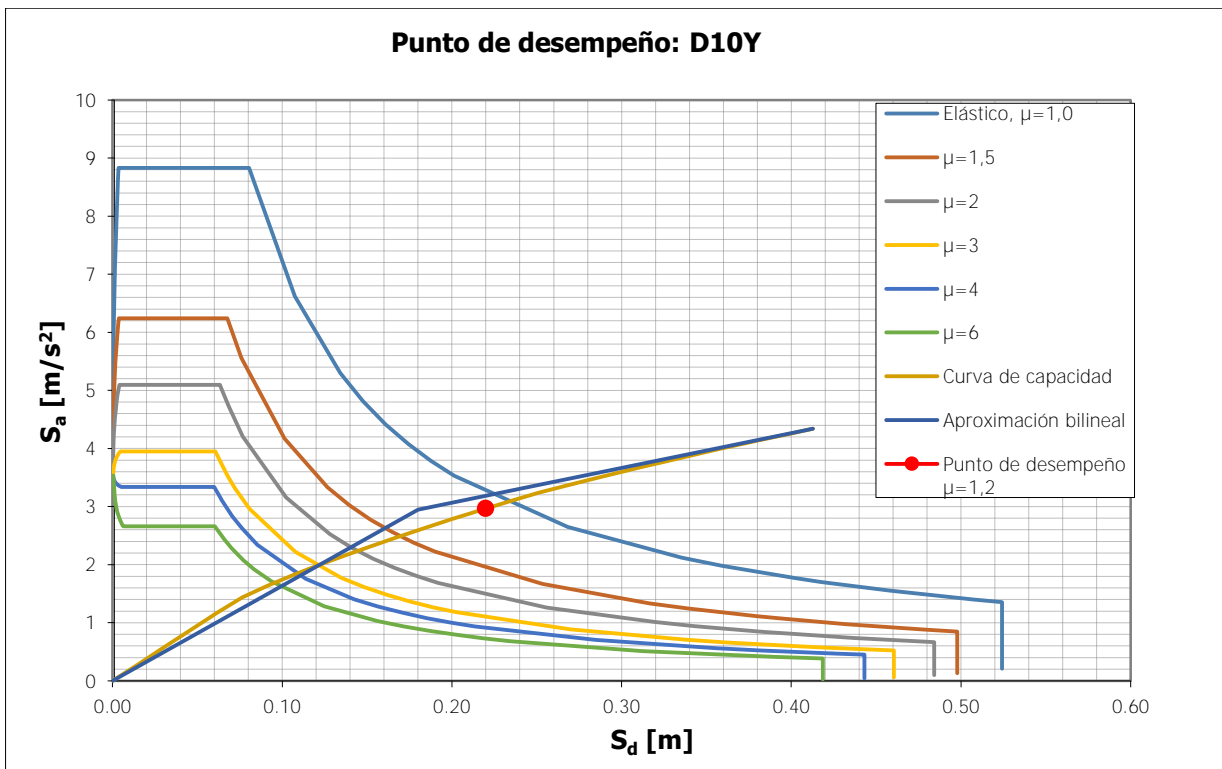


Figura 132. Punto de desempeño D10Y

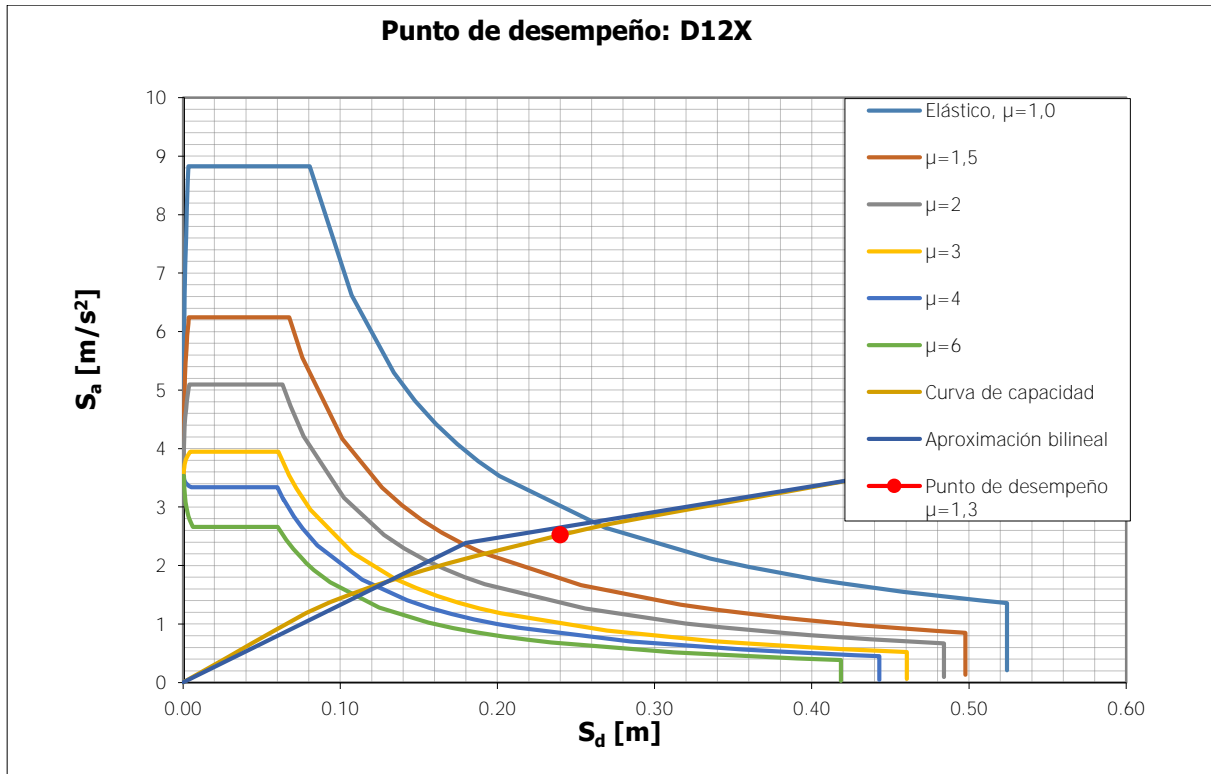


Figura 133. Punto de desempeño D12X

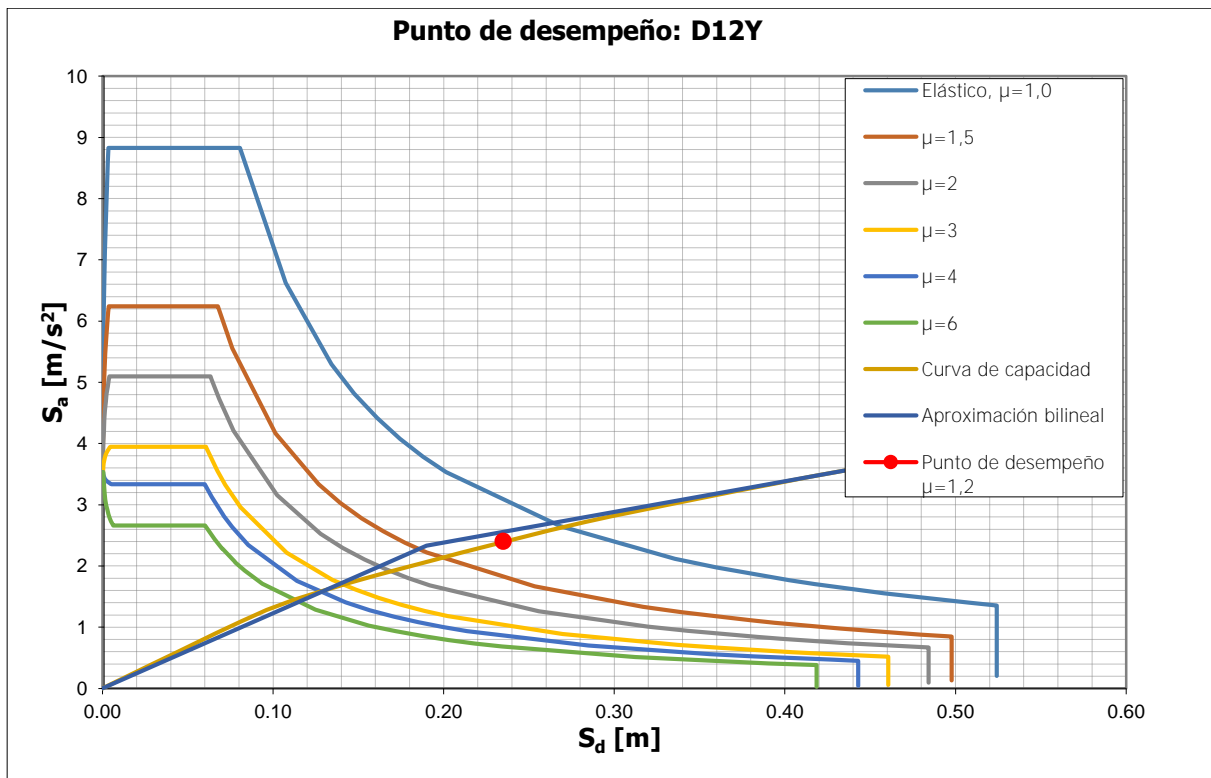


Figura 134. Punto de desempeño D12Y

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de las ductilidades en el punto de desempeño de las figuras anteriores. A pesar de que el CSCR-10 establece, en la Tabla 4.3, una ductilidad de 3 para el sistema estructural tipo dual, regular y con ductilidad local moderada, se utilizó una ductilidad de diseño de 2 para que los tres modelos fueran semejantes y puedan ser comparables directamente. Con esta asignación y de los resultados obtenidos se concluye que, en el punto de desempeño, los modelos del sistema estructural tipo dual son menos dúctiles que los de losas planos y muros, ya que, ninguno de los diez modelos cumple con la ductilidad asignada. Sin embargo, si se revisan las curvas de capacidad de las estructuras de los tres sistemas, las curvas de capacidad total (incluyendo todos los puntos hasta el punto de prevención de colapso), aquellas del sistema estructural tipo dual tienen más ductilidad. En el punto de desempeño aún no se ha utilizado toda la ductilidad que el sistema puede desarrollar. De manera gráfica, en la Figura 135 se demarca la ductilidad de diseño con una línea horizontal y se muestra que ningún modelo alcanza la ductilidad de diseño utilizada.

Cuadro 34. Resumen de ductilidades en el punto de desempeño para los modelos del sistema estructural tipo dual

Modelo	Dirección X			Dirección Y		
	$\mu_{\text{diseño}}$	μ_i	Factor α	$\mu_{\text{diseño}}$	μ_i	Factor α
D4	2,0	1,9	0,9	2,0	1,5	0,8
D6	2,0	1,6	0,8	2,0	1,5	0,8
D8	2,0	1,5	0,8	2,0	1,4	0,7
D10	2,0	1,4	0,7	2,0	1,2	0,6
D12	2,0	1,3	0,7	2,0	1,2	0,6

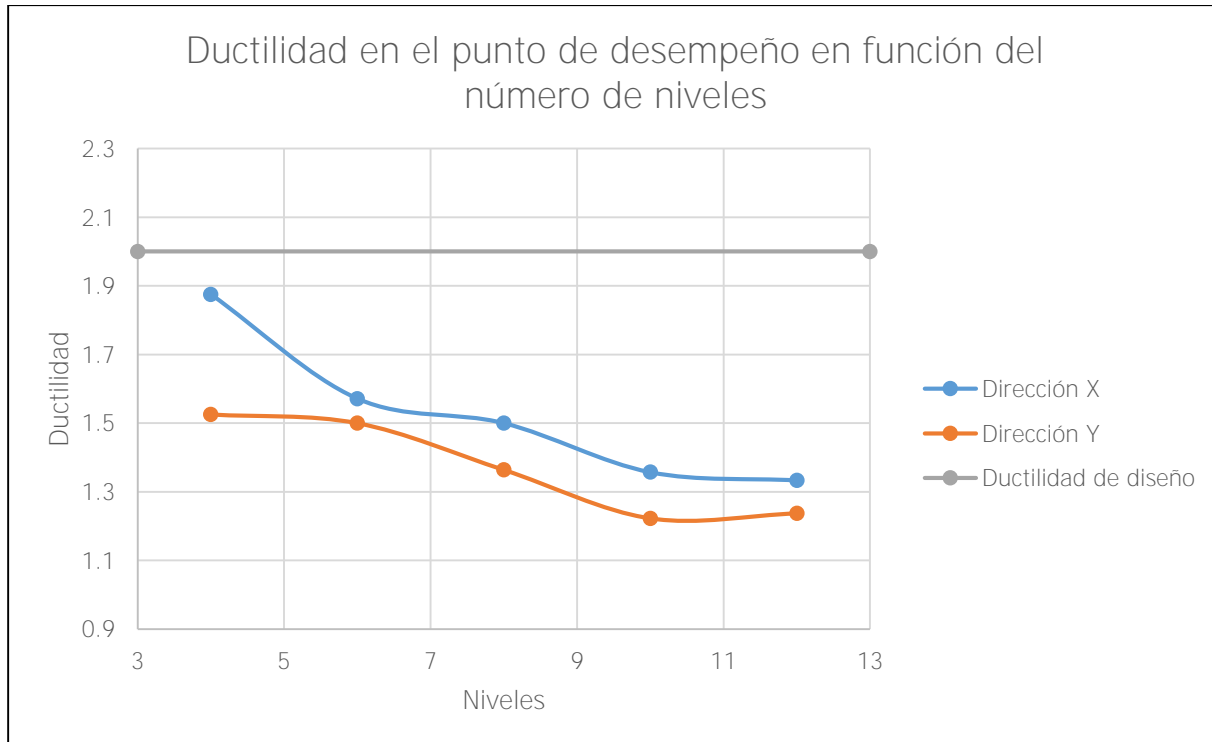


Figura 135. Ductilidad en el punto de desempeño obtenido del método de capacidad espectral para los modelos del sistema estructural tipo dual

10.2.4 Cortantes basales

Para calcular el cortante basal en el punto de desempeño, en la Figura 136 se muestra la ecuación de mejor ajuste debajo de la gráfica. En este caso, el desplazamiento en el punto de desempeño tiene un valor de 0,075m entonces se evalúa ese punto en la variable "x" y se obtiene un valor de aceleración espectral de 4,6715 m/s².

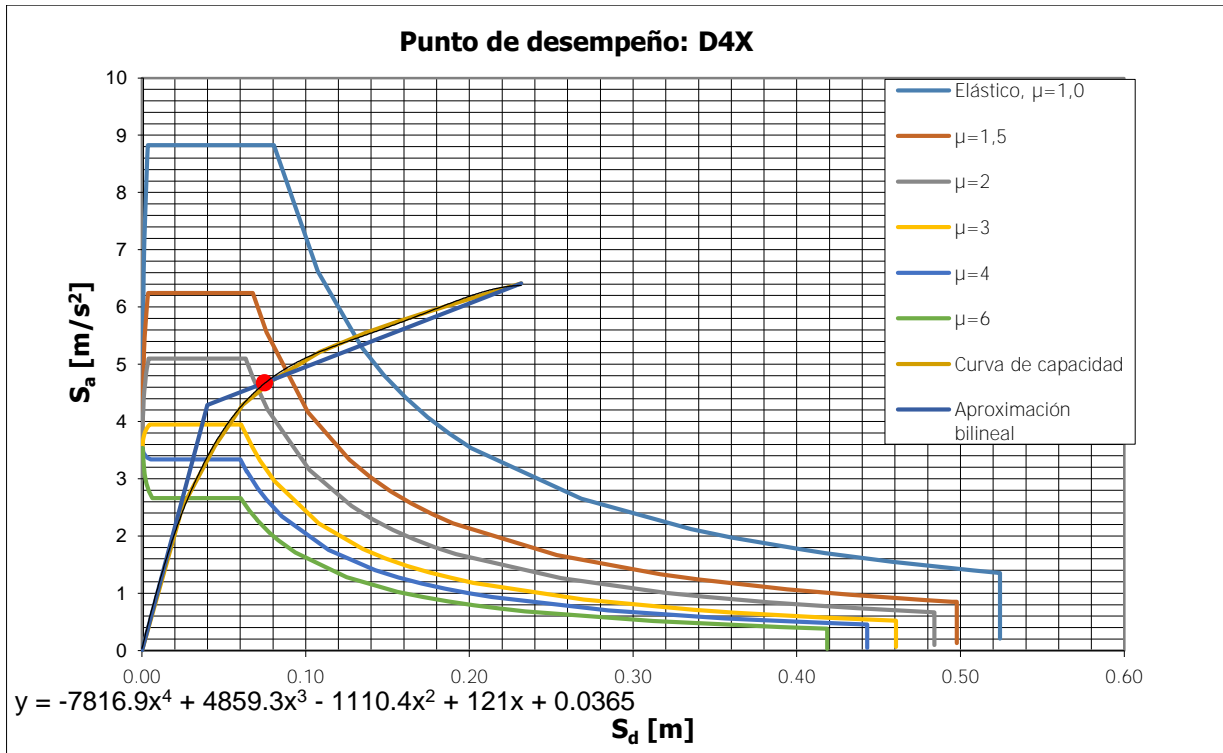


Figura 136. Aproximación polinomial de grado 4 de la curva de capacidad de D4X

Utilizando la constante Λ del Cuadro 161 se obtiene que el cortante en este punto tiene un valor de 4742ton y se la llamará cortante en el punto de desempeño. En el siguiente cuadro se resumen los cortantes basales en el punto de desempeño y en el punto de prevención de colapso.

Cuadro 35. Fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema estructural tipo dual

Modelo	Cortante basal dirección X [ton]		Cortante basal dirección Y [ton]	
	Punto de desempeño	Punto de prevención de colapso	Punto de desempeño	Punto de prevención de colapso
D4	4742	6509	4891	6475
D6	5611	8810	5569	8358
D8	6461	10467	6699	9808
D10	7009	11111	7587	11090
D12	7762	10709	7440	11175

En las siguientes dos figuras que se muestra a continuación se grafican, a manera de ejemplo para todos los modelos, el cortante basal en el punto de desempeño para el modelo D4X con un valor de 4742ton y el cortante basal en el punto de prevención de colapso con un valor de 6509ton.

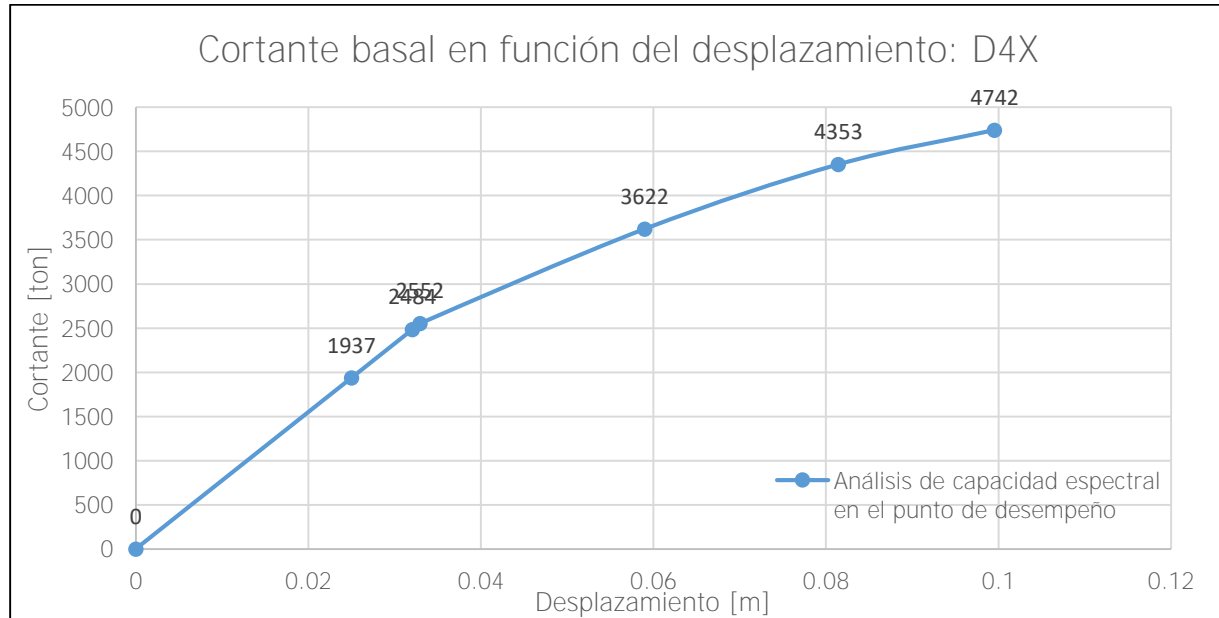


Figura 137. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D4X

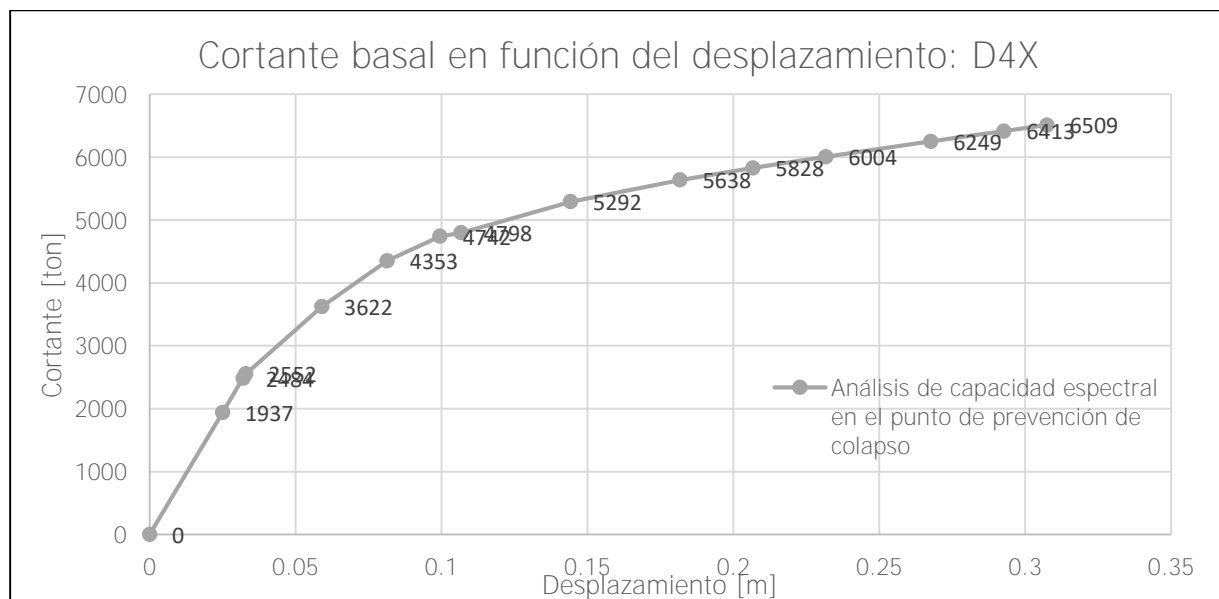


Figura 138. Gráfica del cortante basal en función del desplazamiento obtenido del análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D4X

En la próxima figura se presentan los datos del Cuadro 35 de manera gráfica. Al igual que para los modelos del sistema tipo muro, en este caso no se cumple la tendencia que se venía presentando de que el cortante es mayor en el sentido Y. Las curvas tienen tendencias muy parecidas y los valores obtenidos no son muy diferentes entre sí en las dos direcciones de análisis.

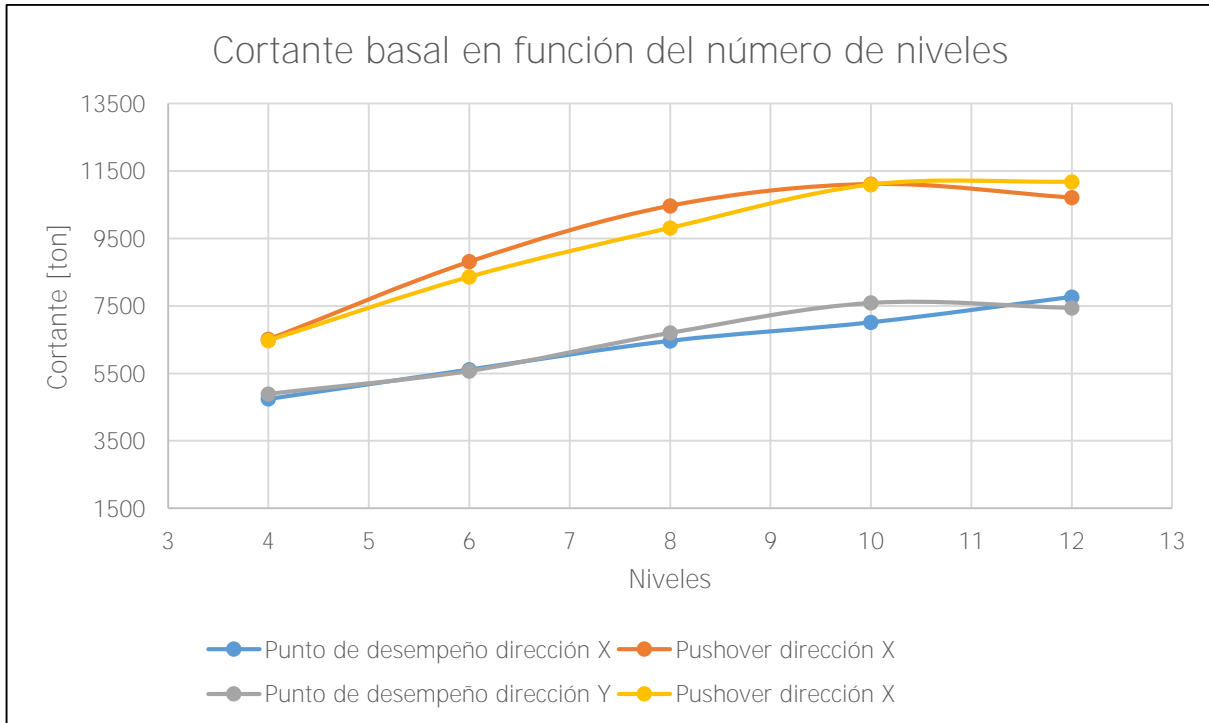


Figura 139. Gráfica de las fuerzas cortantes basales obtenidas del análisis de capacidad espectral para los modelos del sistema estructural tipo dual

10.2.5 Sobrerresistencia

A continuación, se superponen las tres figuras que se incluyeron en las secciones de cortante basal para el análisis pseudo dinámico y el análisis de capacidad espectral para cada modelo en ambas direcciones, para calcular la sobrerresistencia de los diferentes modelos.

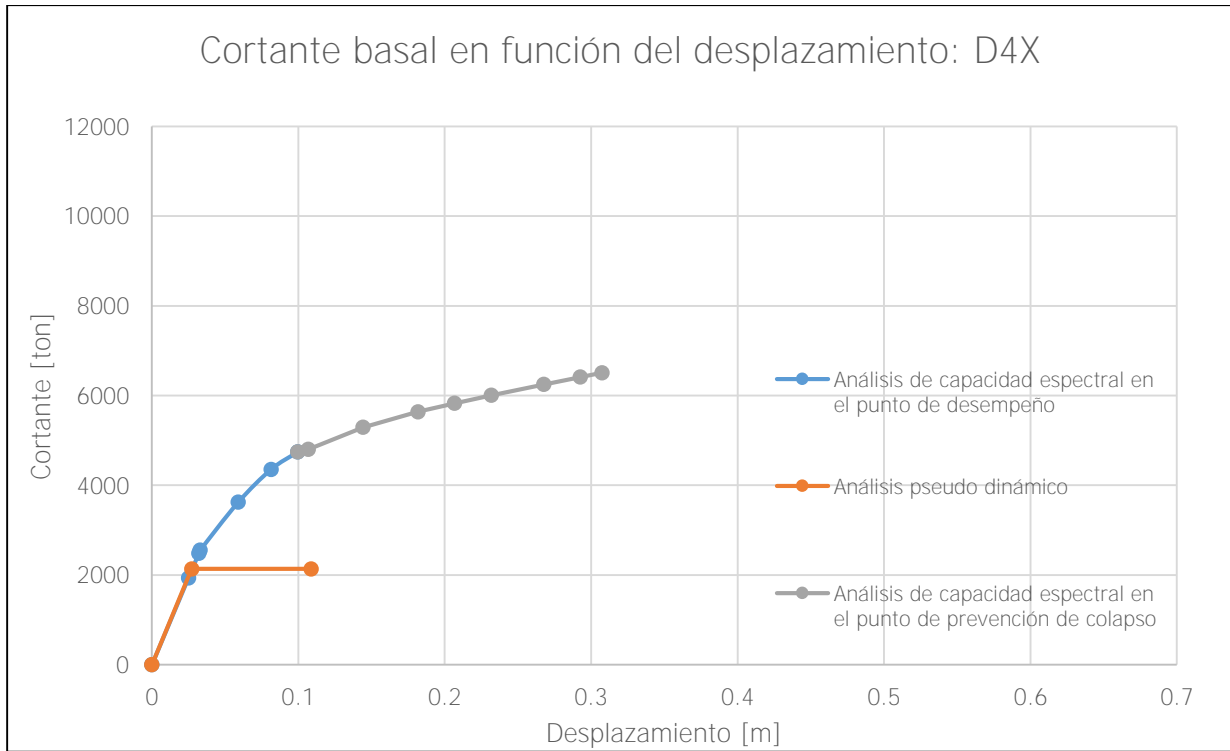


Figura 140. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D4X

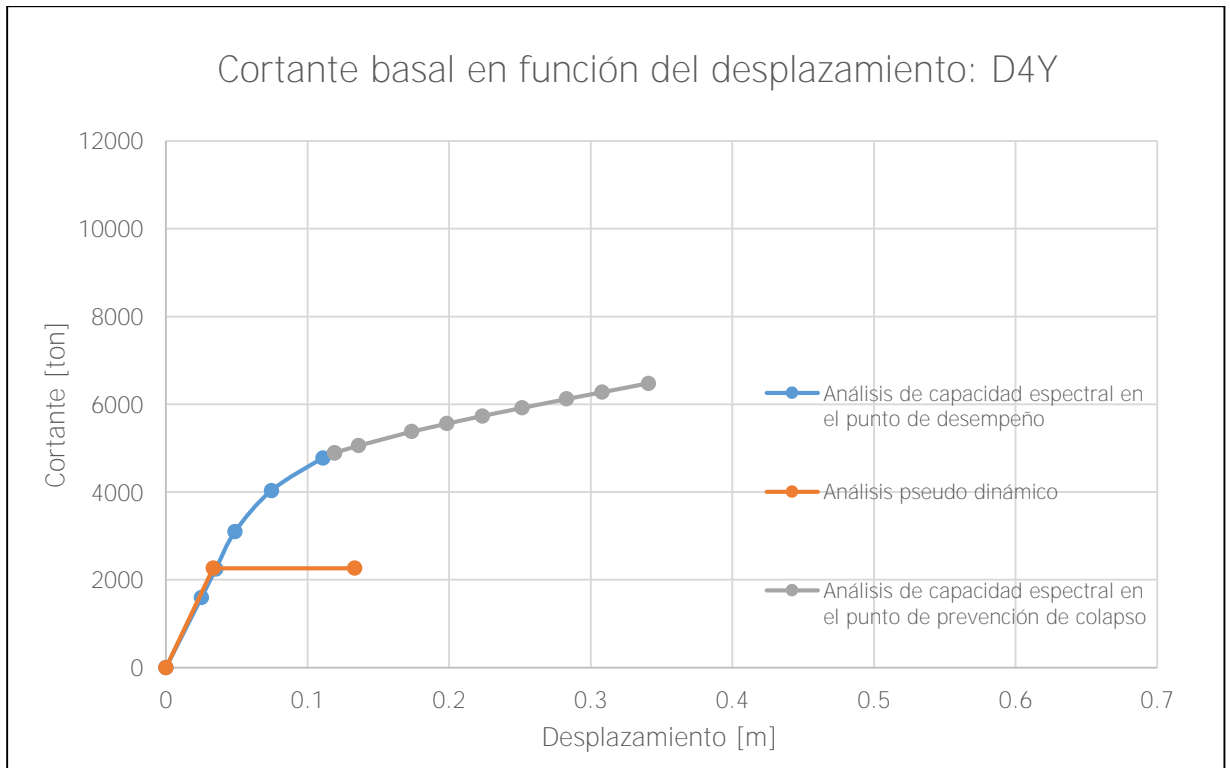


Figura 141. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D4Y

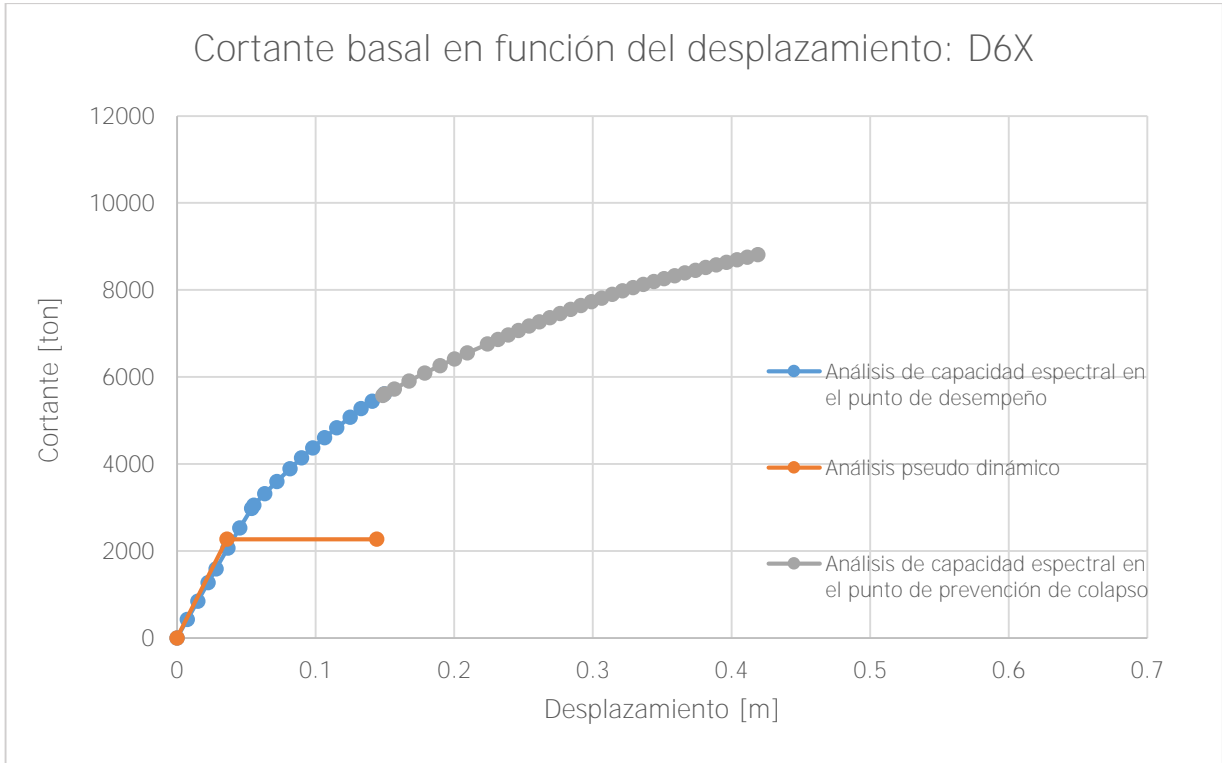


Figura 142. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D6X

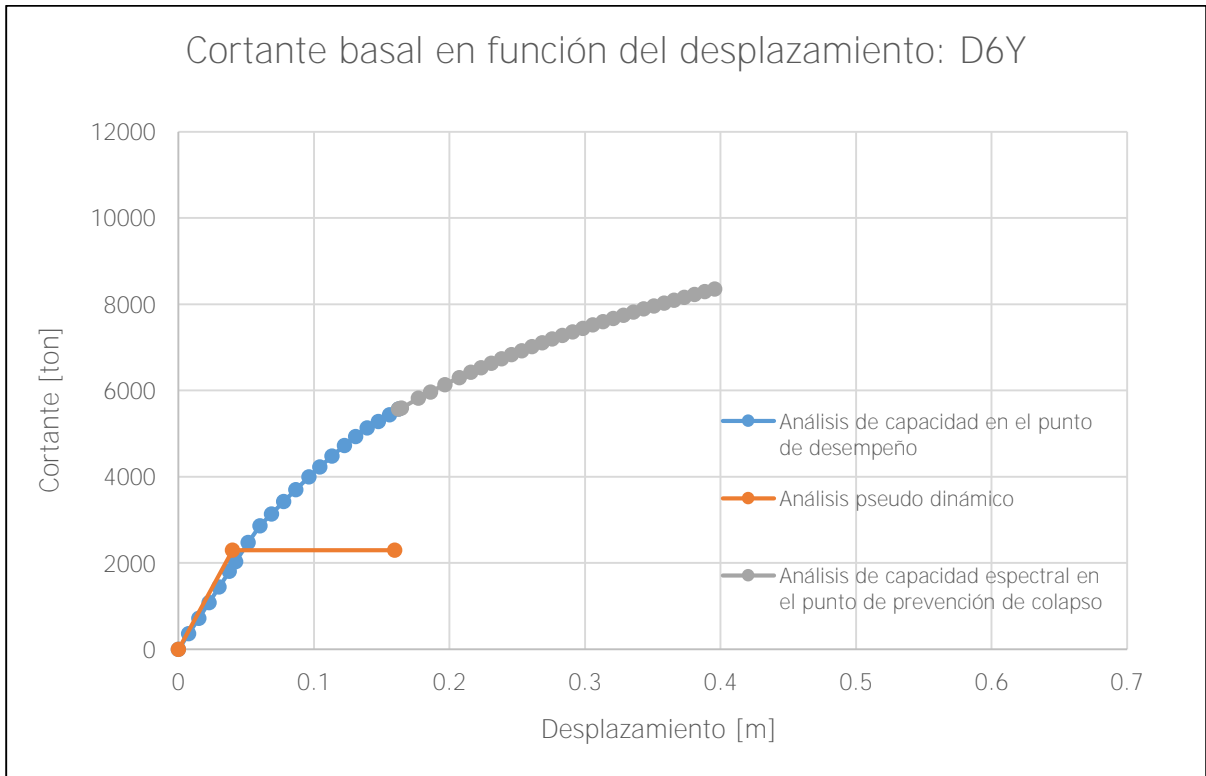


Figura 143. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D6Y

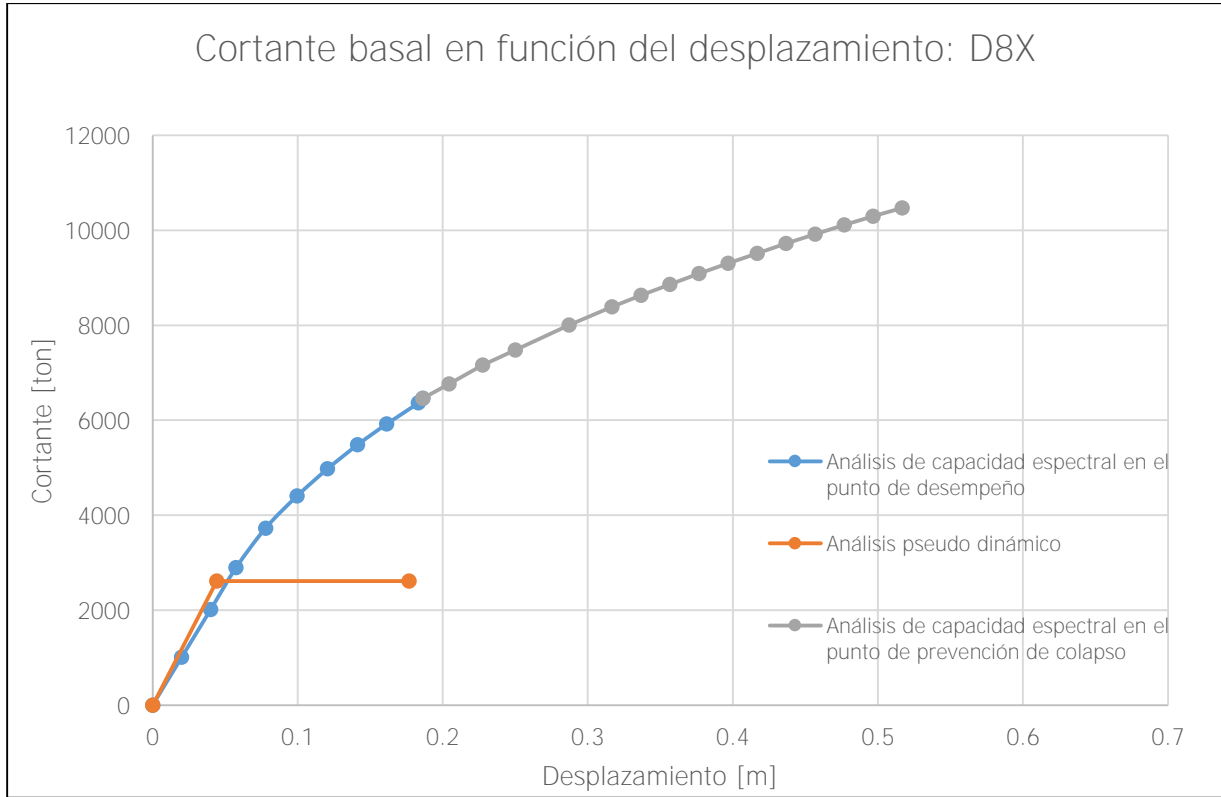


Figura 144. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D8X

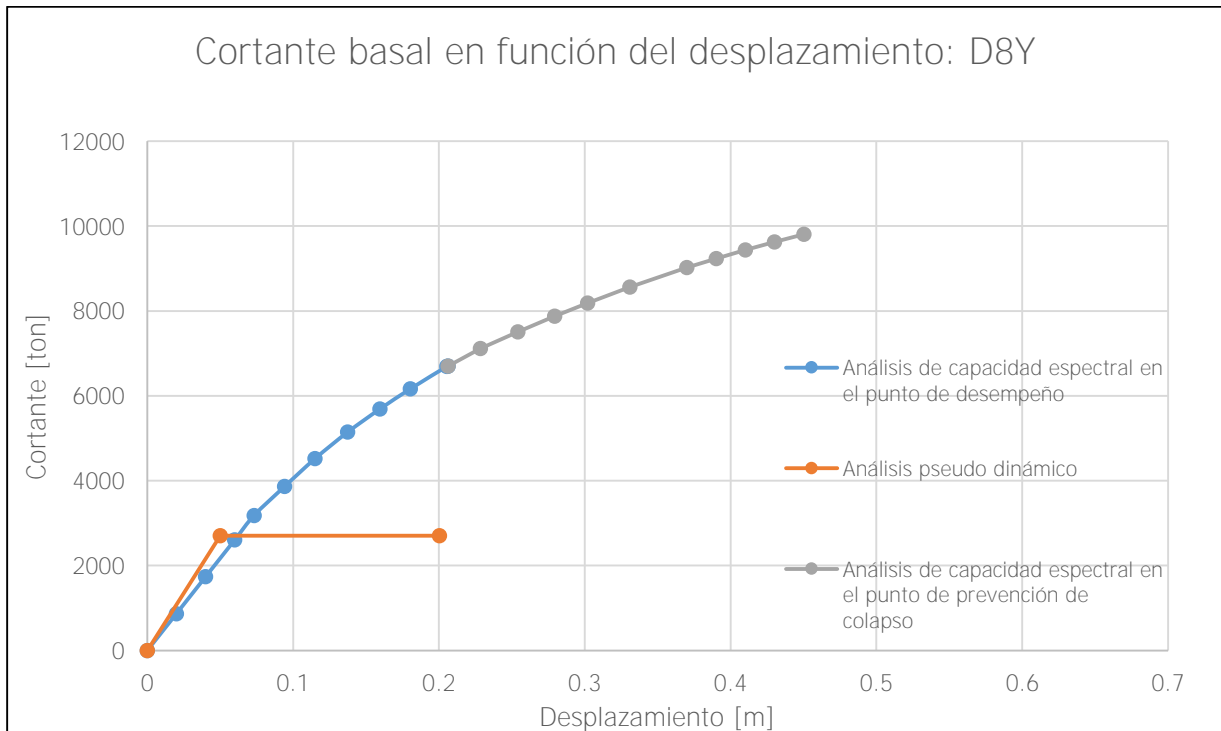


Figura 145. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D8Y

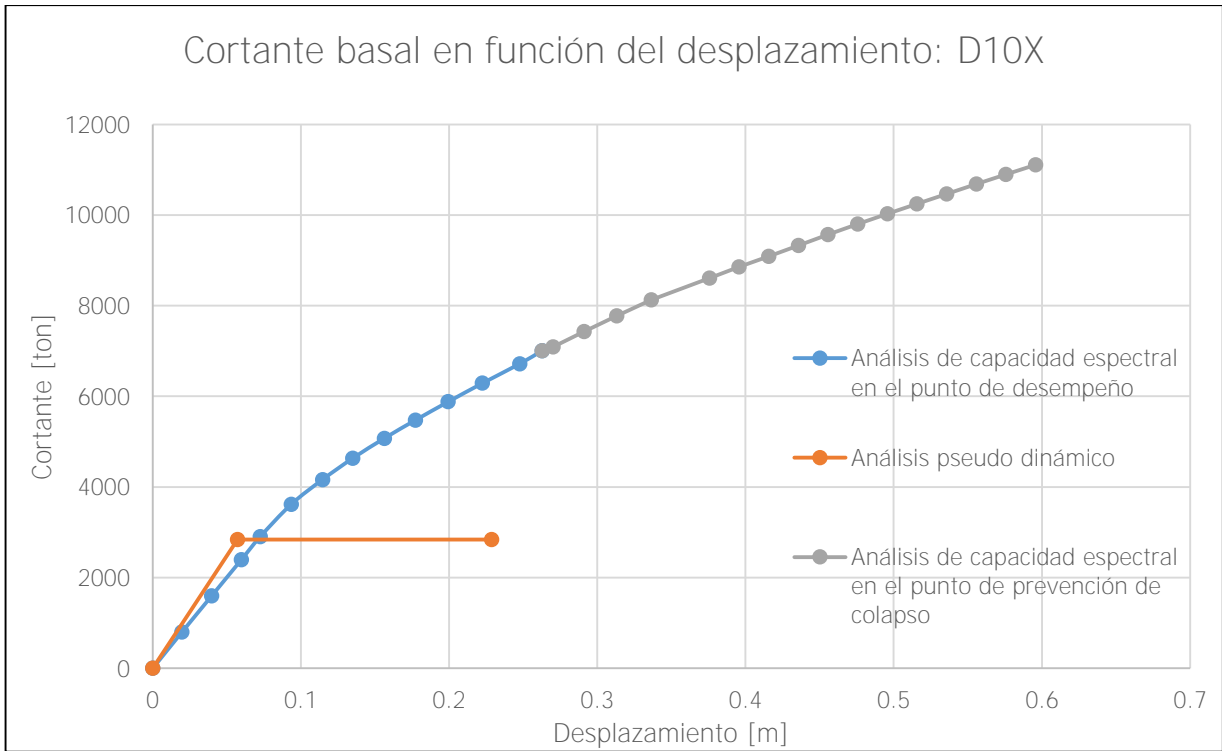


Figura 146. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D10X

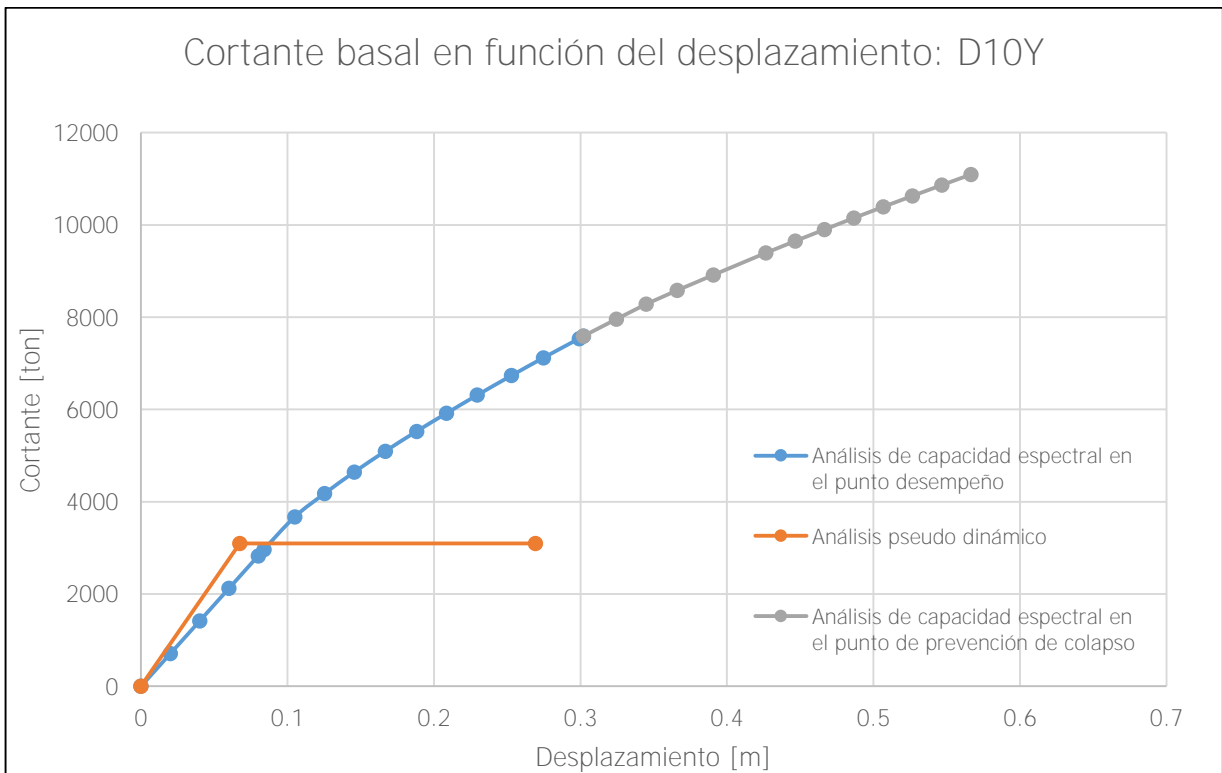


Figura 147. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D10Y

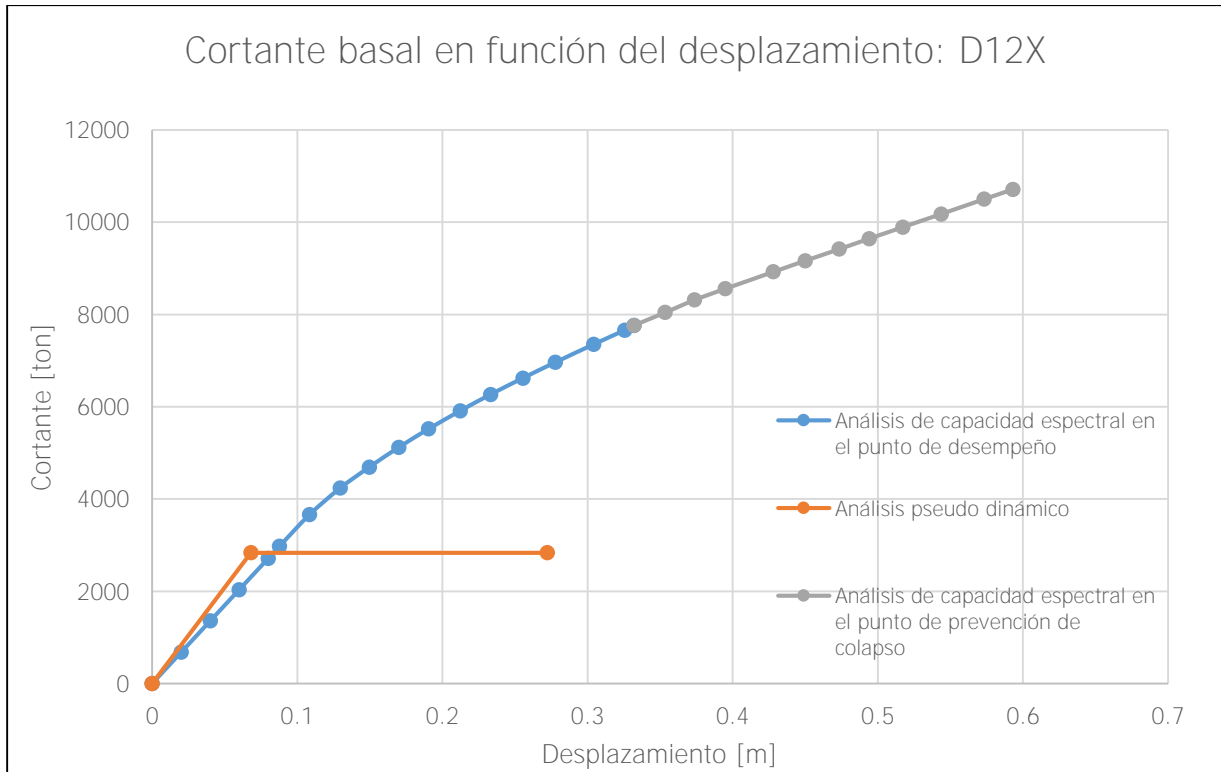


Figura 148. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D12X

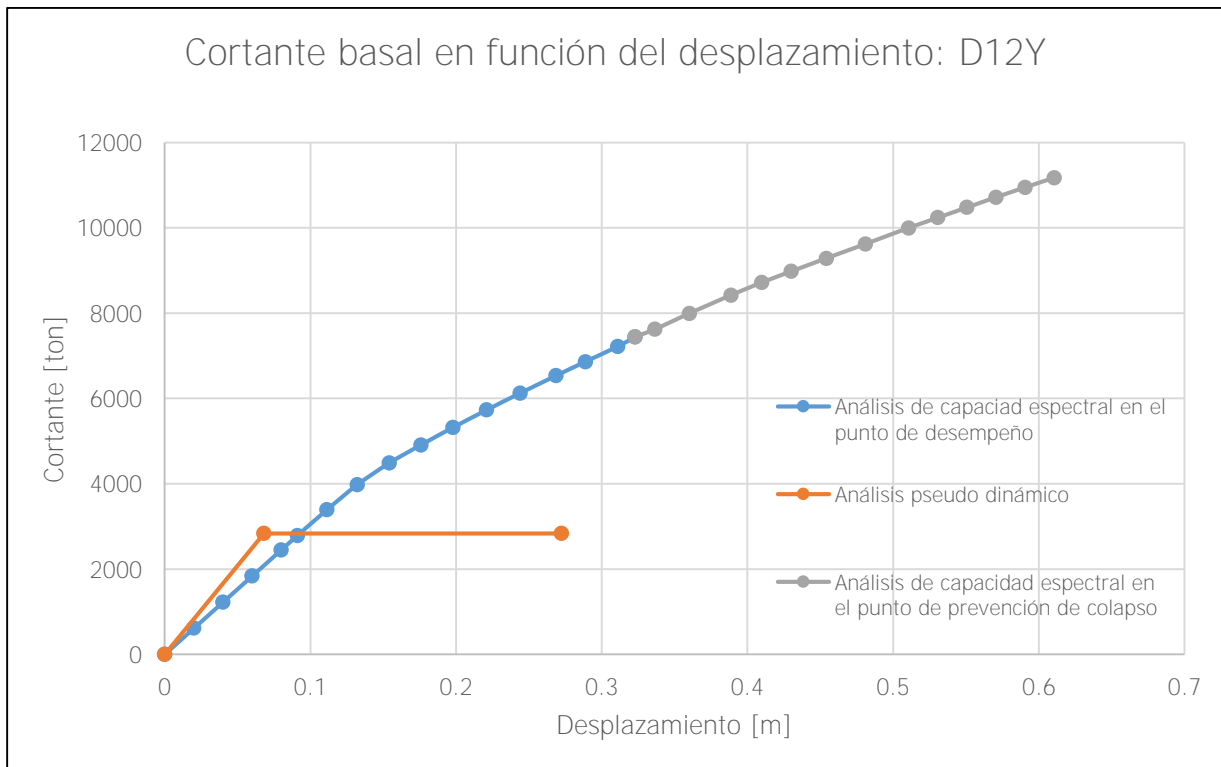


Figura 149. Gráfica para la determinación de la sobrerresistencia D12Y

Utilizando los valores máximos de cortante de las figuras anteriores, se crea el siguiente cuadro con las sobrerresistencias en el punto de desempeño y en el punto de prevención de colapso. Para los modelos del sistema estructural tipo dual también se confirma que la sobrerresistencia tiene una tendencia creciente, en su mayoría, conforme se aumentan los niveles en el modelo. En este caso, se observa que todos los modelos, en ambas direcciones, cumplen con la sobrerresistencia de diseño, ya que todos los valores obtenidos superan el valor de 2. En la Figura 113 se grafican los valores obtenidos del análisis de capacidad espectral para el punto de desempeño.

Cuadro 36. Resumen de sobrerresistencias obtenidas mediante el método de capacidad espectral para los modelos del sistema estructural tipo dual

Modelo	Ambas direcciones	Dirección X		Dirección Y	
	Diseño	Punto de desempeño	Pushover	Punto de desempeño	Pushover
D4	2,0	2,2	3,1	2,2	2,9
D6	2,0	2,5	3,9	2,4	3,6
D8	2,0	2,5	4,0	2,5	3,6
D10	2,0	2,5	3,9	2,4	3,6
D12	2,0	2,6	3,5	2,3	3,4

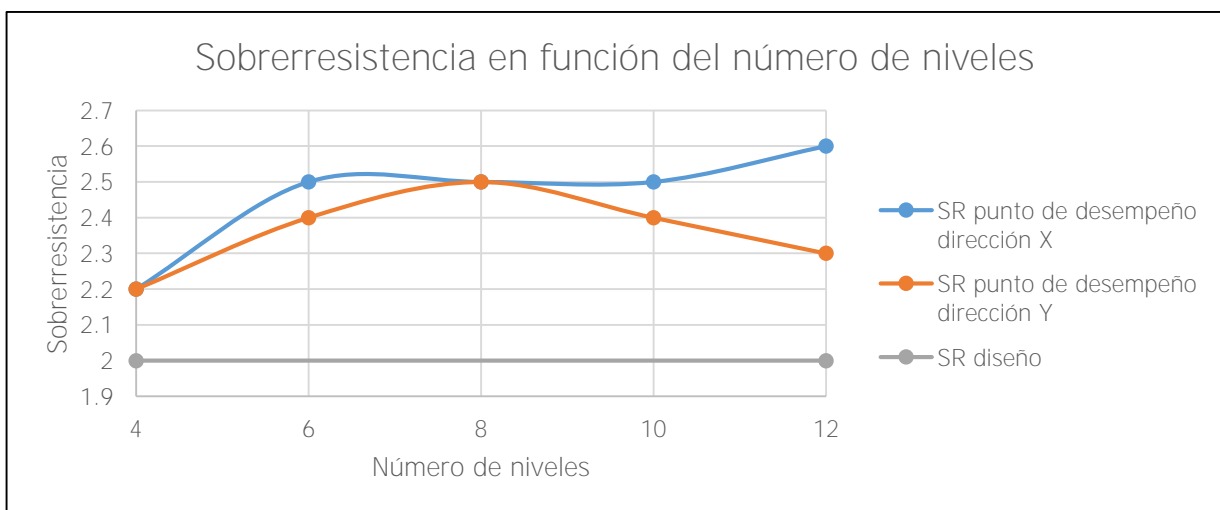


Figura 150. Sobrerresistencia en el punto de desempeño según el número de niveles para los modelos del sistema estructural tipo dual

Capítulo 11: Comparación de resultados entre sistemas estructurales

11.1 Período

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los períodos obtenidos mediante el análisis pseudo dinámico (APD) y el análisis de capacidad espectral (ACE) para los tres sistemas en estudio. En la última columna se calcula el porcentaje de aumento del período del análisis pseudo dinámico con respecto al análisis de capacidad espectral. Se observa que porcentualmente, los modelos con losas planas aumentan su período en mayor proporción que los modelos del sistema tipo muro o dual. Se recuerda que los edificios con losas planas no tienen vigas en su perímetro, por lo que son sistemas muy flexibles y en los cuales es más difícil controlar las derivas. Por lo tanto, sus períodos son mayores y esto queda comprobado con los valores obtenidos.

Cuadro 37. Comparación de períodos entre sistemas utilizando ambos análisis

Niveles	Losas planas (LP)			Muros (M)			Dual (D)		
	APD [s]	ACE [s]	% variación	APD [s]	ACE [s]	% variación	APD [s]	ACE [s]	% variación
4	0,67	0,80	16%	0,63	0,68	7%	0,63	0,68	7%
6	0,95	1,16	18%	0,93	1,05	12%	0,93	1,05	12%
8	1,10	1,36	19%	1,09	1,22	10%	1,09	1,22	10%
10	1,35	1,70	21%	1,30	1,47	11%	1,30	1,47	11%
12	1,61	2,32	31%	1,54	1,76	12%	1,54	1,62	5%

11.2 Derivas inelásticas

En las siguientes seis figuras se hizo una recapitulación de las derivas inelásticas obtenidas para los tres sistemas en estudio en tres puntos: análisis pseudo dinámico (Figura 151 y Figura 152), análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño (Figura 153 y Figura 154) y análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso (Figura 155 y Figura 156). Las figuras están divididas por la dirección de análisis y el primer gráfico de la figura corresponde a los modelos con losas planas, el del medio representa los modelos del sistema tipo muro y los últimos pertenecen al sistema estructural tipo dual. Se presentan todos los

modelos de un mismo sistema en una gráfica y el propósito es poder comparar visualmente las derivas entre los tres sistemas.

Para el análisis pseudo dinámico se concluye que los modelos con losas planas tienen derivas similares que los modelos del sistema tipo muro y dual. También, se refuerza la afirmación que se viene manejando a lo largo de la investigación: debido a la distribución en planta, el edificio alcanza el límite primero en la dirección Y , por lo que las curvas en este sentido son mayores que en el sentido X . Se recuerda que, para este tipo de análisis, las derivas de los modelos del sistema tipo muro y dual son iguales, ya que la diferencia entre estos modelos radica en el detallado de los elementos, por lo tanto, esto se verá reflejado en los análisis de capacidad espectral. Se concluye que, en un análisis elástico, los modelos de muros con losas planas tienen una flexibilidad similar que los sistemas de muros y dual y no superan el límite impuesto por el CSCR-10, debido a que se hizo un diseño conservador inicialmente donde las derivas máximas se alejan del límite de 0,01.

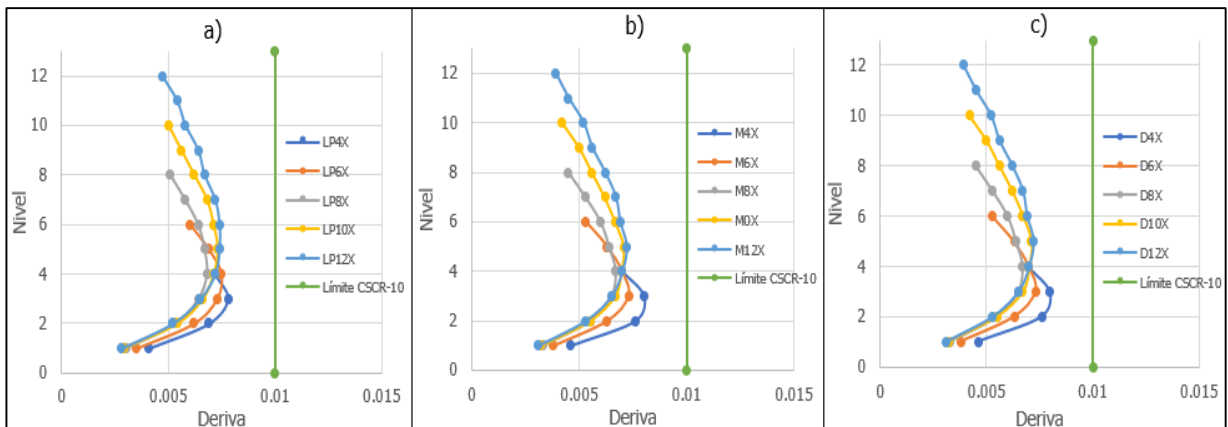


Figura 151. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis pseudo dinámico en la dirección X para a) losas planas b) muros c) dual

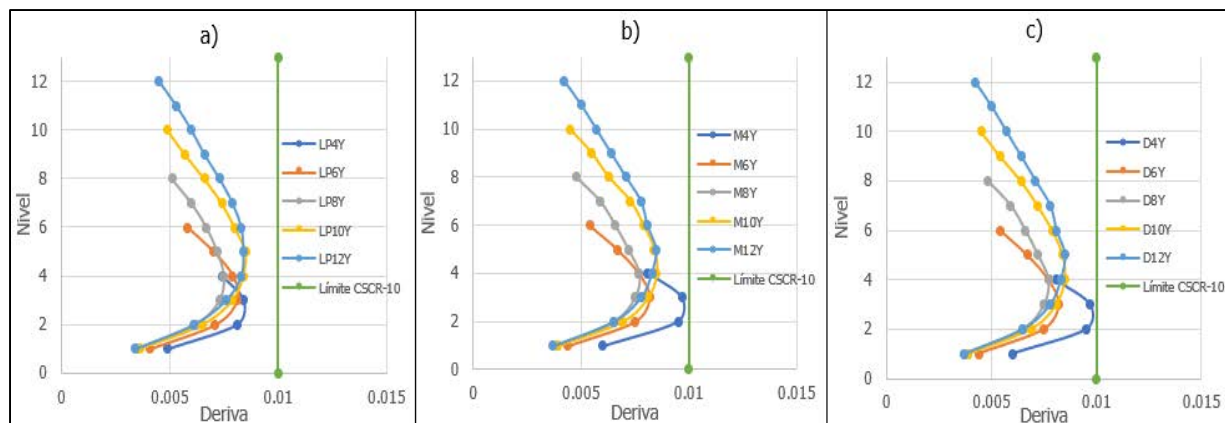


Figura 152. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis pseudo dinámico en la dirección Y para a) losas planas b) muros c) dual

En las siguientes dos figuras se comparan las derivas inelásticas obtenidas del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño. Como se mencionó en la sección 10.2.2 Derivas inelásticas, en el punto de desempeño, las derivas más grandes, en su mayoría corresponden a los modelos de muros con losas planas, seguido por los modelos del sistema estructural tipo dual. Es decir, el sistema con menores derivas en el punto de desempeño es el de muros. Reiteradamente se mencionó que el estado de interés es en el punto de desempeño de la estructura, ya que es cuando la curva de capacidad de la estructura interseca la curva de demanda sísmica. A pesar de que los elementos con mayor ductilidad, de acuerdo a su diseño, corresponden a aquellos del sistema estructural tipo dual (revisar secciones del apéndice A.1 Propiedades obtenidas de Xtract, B.1 Propiedades obtenidas de Xtract y C.1 Propiedades obtenidas de Xtract), el sistema más flexible es el de muros con losas planas. Se recuerda que los elementos del sistema estructural tipo dual tienen el mayor detallado. También es importante aclarar que para los sistemas de muros con losas planas se utilizó el límite que el Código establece para el sistema de muros, porque este sistema no está regulado. Sin embargo, se debería regular con mayor rigurosidad las edificaciones de muros con losas planas, ya que es más flexible que los otros dos presentes en la investigación.

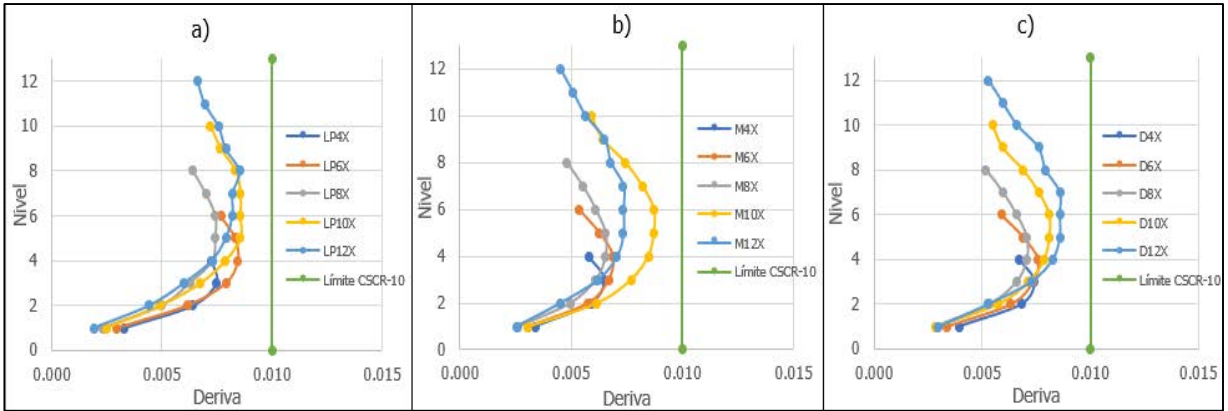


Figura 153. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño en la dirección X para a) losas planas b) muros c) dual

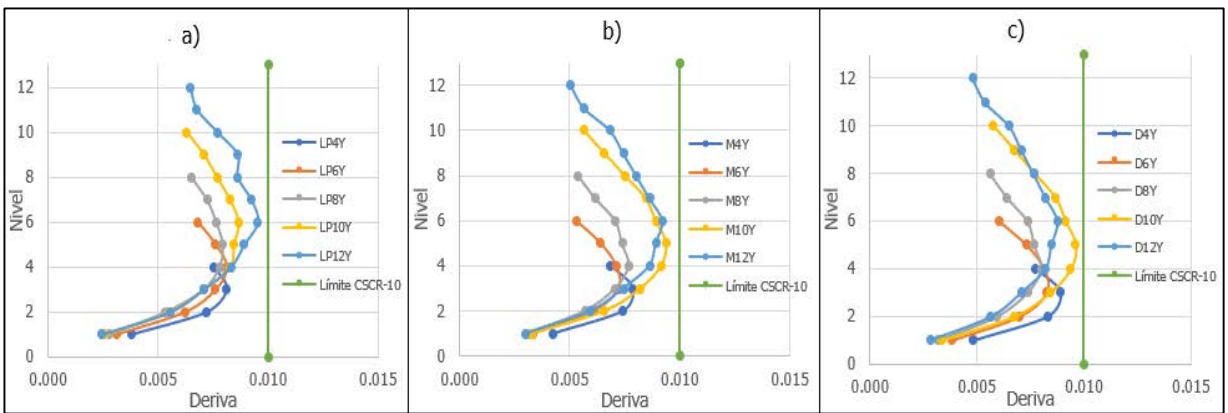


Figura 154. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño en la dirección Y para a) losas planas b) muros c) dual

En las últimas dos figuras de esta sección se comparan las derivas inelásticas obtenidas del análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso. En este caso se observa que las derivas del sistema estructural tipo dual son las mayores de los casos analizados. Aunque no se pretende que la estructura se comporte en este punto, es importante analizar que los modelos del sistema estructural tipo dual tienen las mayores derivas con respecto al límite que impone el Código. Esto se debe a que los elementos del sistema estructural tipo dual tienen el mayor detallado, con una separación del refuerzo por cortante de $\frac{d}{2}$ y por ende, también tienen la mayor ductilidad (revisar secciones del apéndice A.1 Propiedades obtenidas de Xtract, B.1 Propiedades obtenidas de Xtract y C.1 Propiedades obtenidas de Xtract). Por lo tanto, es imprescindible evitar que los edificios lleguen a este estado.

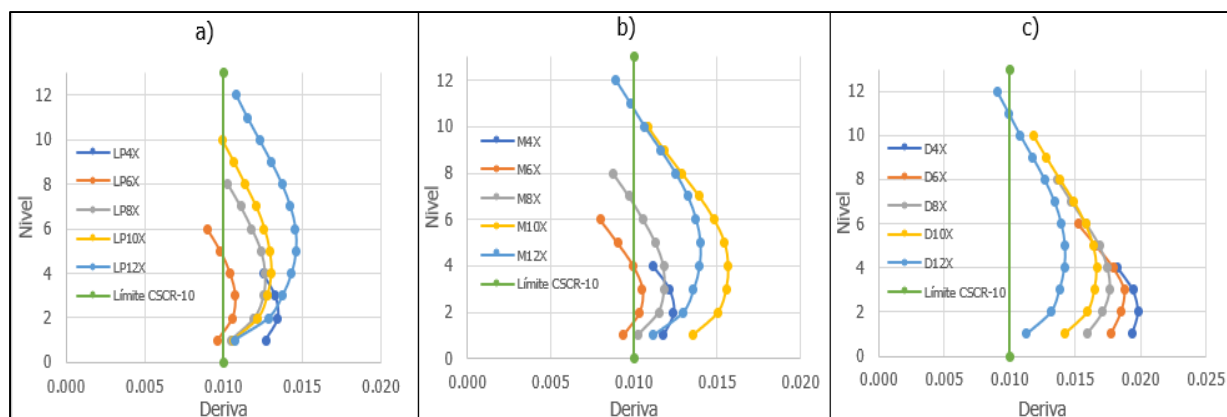


Figura 155. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso en la dirección X para a) losas planas b) muros c) dual

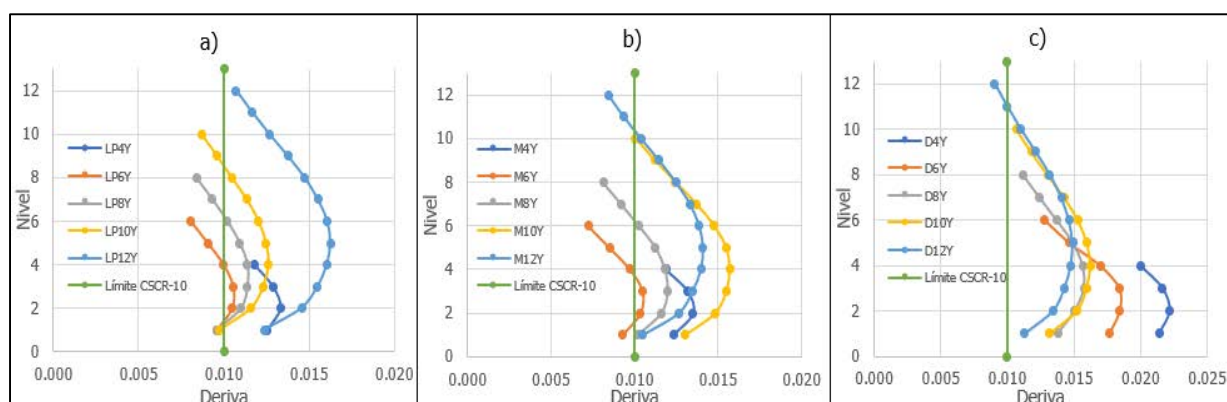


Figura 156. Comparación entre sistemas de las derivas inelásticas obtenidas del análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso en la dirección Y para a) losas planas b) muros c) dual

11.3 Ductilidades en el punto de desempeño

El siguiente cuadro resume las ductilidades en el punto de desempeño para todos los modelos en ambas direcciones y en las próximas figuras se muestra de manera gráfica. Se puede concluir que, de todos los casos analizados, solo tres de los 30 escenarios sobrepasan la ductilidad de diseño de dos, lo que indica que el diseño de los elementos se realizó para unas fuerzas menores que las que experimentaría la estructura en la realidad. Se recuerda que para losas planas se utilizó una ductilidad de 2,0, que es el valor indicado por el CSCR-10 para el sistema de muros. A pesar de que el Código recomienda utilizar una ductilidad de tres para estructuras del sistema estructural tipo dual, en esta investigación se mantiene en dos para no introducir una variable en el análisis y poder comparar los sistemas directamente.

Cuadro 38. Comparación de la ductilidad en el punto de desempeño para los diferentes sistemas

Niveles	Dirección X			Dirección Y		
	LP	M	D	LP	M	D
4	2,4	2,2	1,9	2,1	1,8	1,5
6	1,8	1,8	1,6	1,9	1,8	1,5
8	1,6	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4
10	1,4	1,2	1,4	1,3	1,2	1,2
12	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2

En las siguientes figuras se representa la ductilidad de diseño con una línea amarilla horizontal. En su mayoría, la ductilidad no cumple con el valor de diseño, por lo que es vital aumentar este valor desde un inicio. También se muestra una tendencia general de los valores, donde parecen converger a un valor de 1,2.

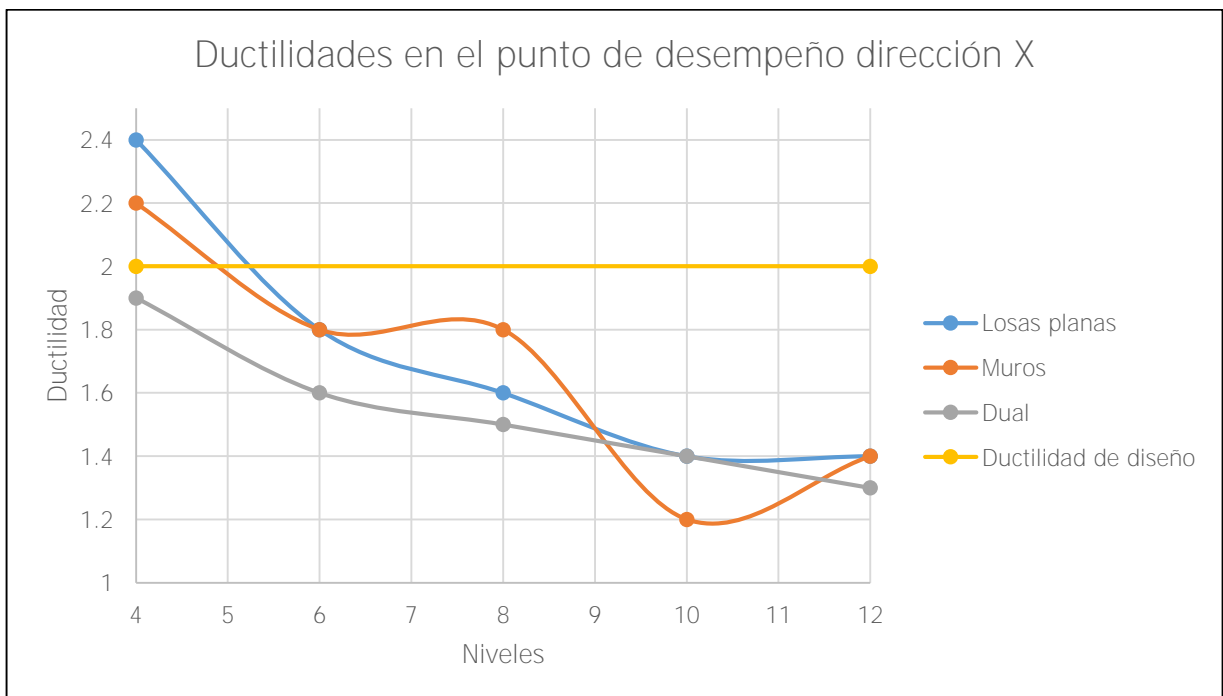


Figura 157. Comparación de las ductilidades en el punto de desempeño en la dirección X para los diferentes sistemas

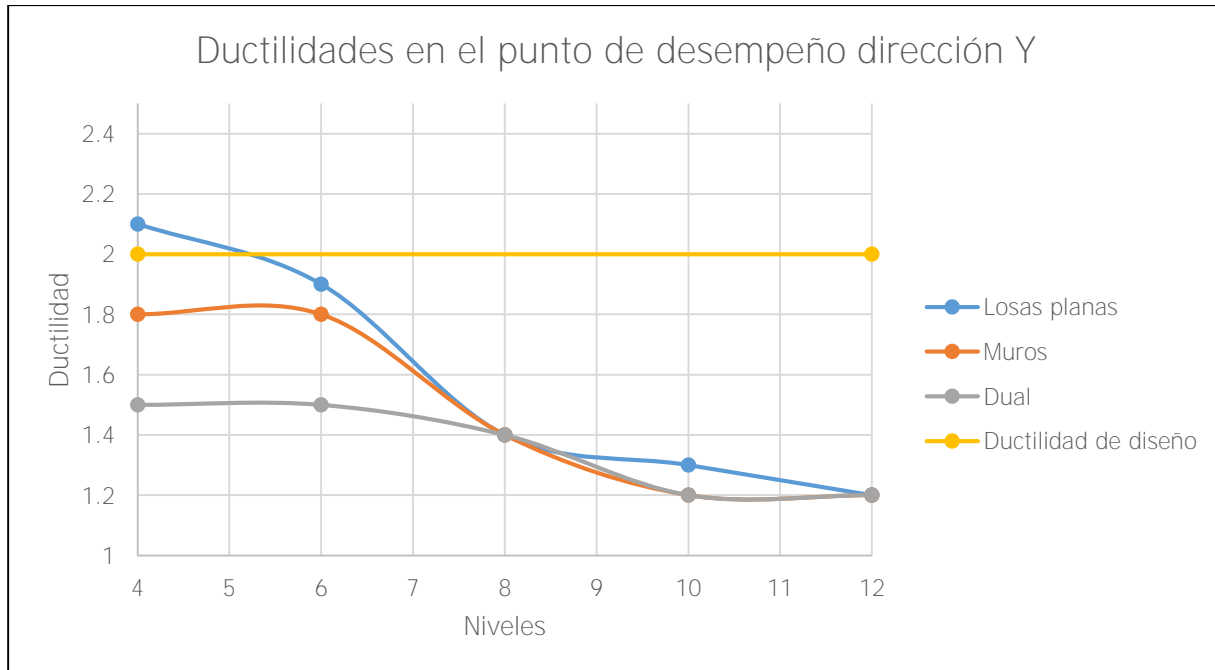


Figura 158. Comparación de las ductilidades en el punto de desempeño en la dirección Y para los diferentes sistemas

11.4 Cortantes basales en el punto de desempeño

El siguiente cuadro muestra los resultados de los cortantes basales en el punto de desempeño para todos los sistemas, en ambas direcciones. Los resultados son congruentes con lo que dicta la teoría. Los cortantes son proporcionales a la masa del edificio. Los modelos del sistema tipo muro y dual tienen vigas, por lo que es esperable que los valores de cortante basal en estos casos sean superiores a los de losas planas. En las dos figuras a continuación se demuestra que este comportamiento se cumple.

Cuadro 39. Comparación de los cortantes basales en el punto de desempeño para los diferentes sistemas

Niveles	Dirección X [ton]			Dirección Y [ton]		
	LP	M	D	LP	M	D
4	3242	4423	4742	3277	4739	4891
6	3673	5406	5611	3582	5081	5569
8	4846	6150	6461	4877	6279	6699
10	5083	7190	7009	5514	7396	7587
12	5235	7071	7762	6170	7640	7440

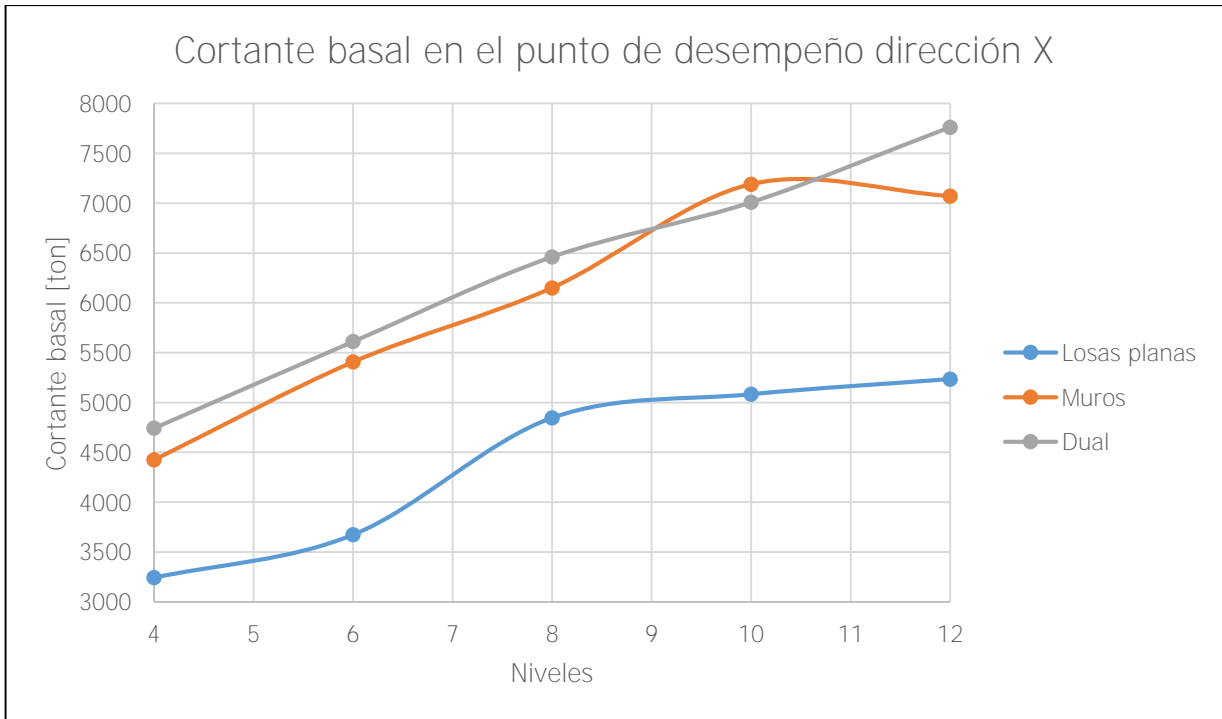


Figura 159. Comparación del cortante basal en el punto de desempeño en la dirección X para los diferentes sistemas

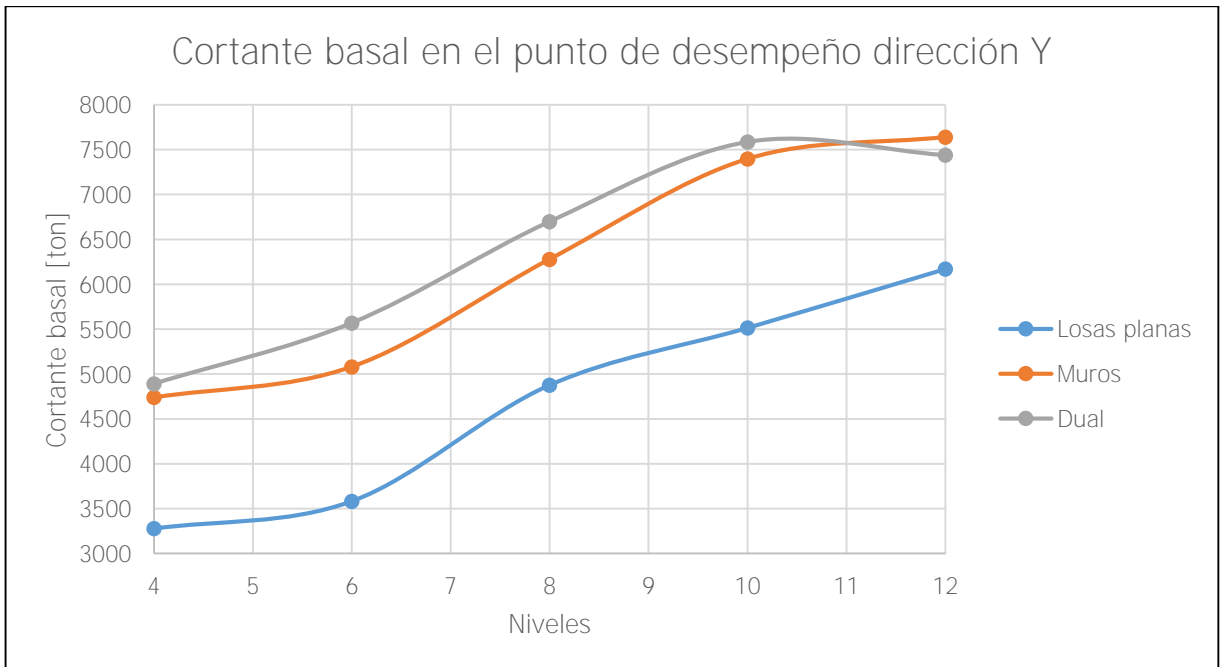


Figura 160. Comparación del cortante basal en el punto de desempeño en la dirección Y para los diferentes sistemas

11.5 Sobrerresistencia en el punto de desempeño

El siguiente cuadro recopila las sobrerresistencias en el punto de desempeño para los tres sistemas, en ambas direcciones. De los treinta escenarios analizados, solamente tres no cumplen con la sobrerresistencia de diseño de dos. Sin embargo, son valores que se encuentran dentro un 5% de la variabilidad del límite, por lo que se considera un rango aceptable y se concluye que los tres sistemas analizados cumplen con la sobrerresistencia establecida.

En las secciones del apéndice A.1 Propiedades obtenidas de Xtract, B.1 Propiedades obtenidas de Xtract y C.1 Propiedades obtenidas de Xtract se muestran las salidas del programa Xtract que se ingresan en el programa SAP2000 para definir las rótulas en los modelos. Para las columnas y muros, se obtuvieron valores de sobrerresistencia menores a 1 debido a las cargas axiales altas que presentan los elementos. Sin embargo, el programa SAP2000 no acepta valores de sobrerresistencia menores a la unidad, por lo que se tuvo que utilizar este valor como mínimo. Por lo tanto, esta limitación del programa de análisis estructural hace que la sobrerresistencia global de la estructura sea mayor que la real. Es decir, los valores de sobrerresistencia del Cuadro 40 sobreestiman la capacidad de la estructura.

Otra limitación del programa Xtract es que limita la deformación última del concreto a un valor máximo de 0,02. Esto puede sesgar los resultados para secciones muy confinadas, ya que sus curvaturas se pueden subestimar.

Cuadro 40. Comparación de sobrerresistencias en el punto de desempeño para los diferentes sistemas

Niveles	Dirección X			Dirección Y		
	LP	M	D	LP	M	D
4	1,9	2,1	2,2	1,9	2,1	2,2
6	2,0	2,4	2,5	1,9	2,2	2,4
8	2,2	2,4	2,5	2,1	2,3	2,5
10	2,2	2,5	2,5	2,1	2,4	2,4
12	2,1	2,3	2,6	2,2	2,3	2,3

En las siguientes figuras se muestra la sobrerresistencia de diseño con una línea horizontal amarilla y los valores obtenidos para los diferentes sistemas. De estos datos se desprende que todos los modelos cumplen con la sobrerresistencia de diseño, excepto los modelos con losas planas de pocos niveles.

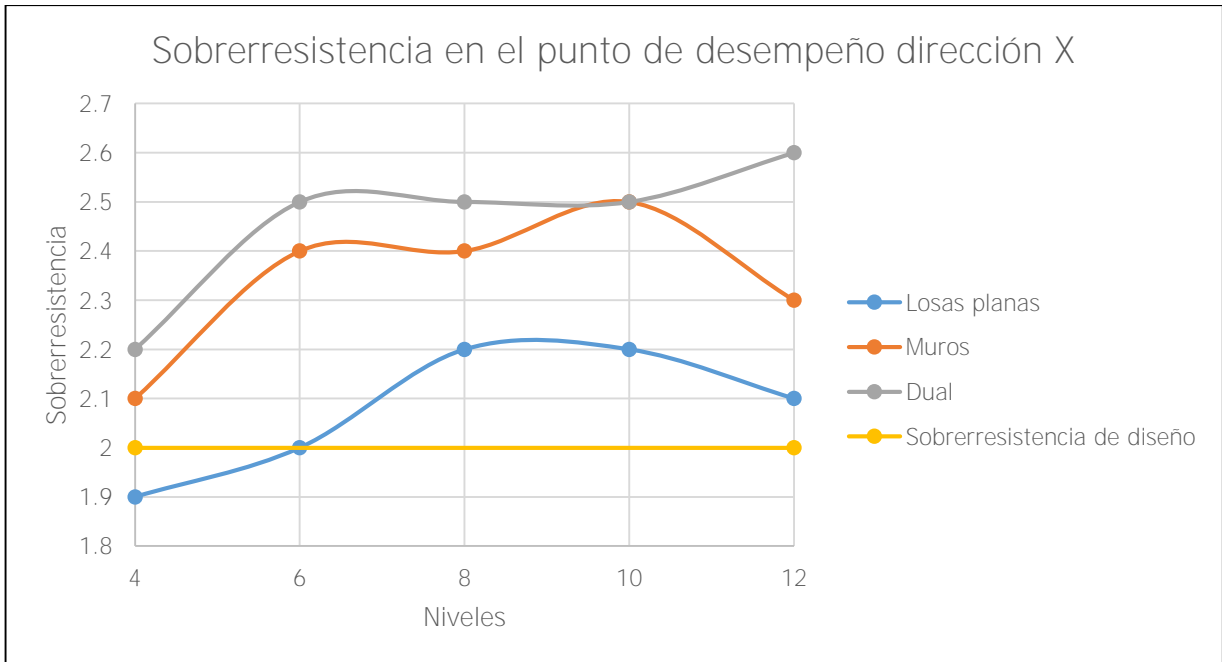


Figura 161. Comparación de la sobrerresistencia en el punto de desempeño en la dirección X para los diferentes sistemas

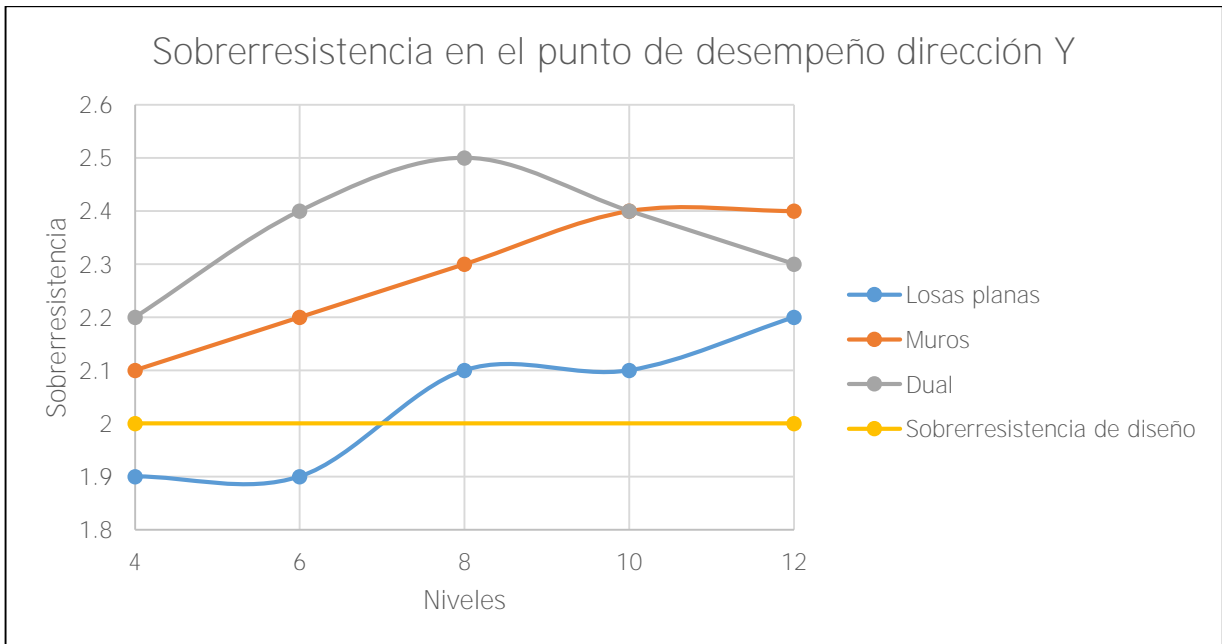


Figura 162. Comparación de la sobrerresistencia en el punto de desempeño en la dirección Y para los diferentes sistemas

Capítulo 12: Conclusiones y recomendaciones

A partir de los resultados presentados anteriormente se concluye lo siguiente:

1. Los resultados de los modelos de muros con losas planas concuerdan con los resultados de la investigación de Bogantes (2019), ya que los períodos difieren en un 12% máximo y las ductilidades tienen un comportamiento similar. (Revisar sección 8.1.1 Período)
2. Los períodos de las edificaciones o estructuras con sistema estructural tipo muro o dual son menores a los de losas planas, lo cual es acorde con la teoría, ya que los sistemas con vigas son más rígidos y, por lo tanto, tienen derivas menores. Como consecuencia de la rigidez, su período disminuye. (Revisar sección 11.1 Período)
3. Los períodos de oscilación de los tres sistemas, obtenidos del análisis de capacidad espectral, aumentan con respecto al análisis pseudo dinámico. Las edificaciones con losas planas aumentan su período, de un análisis a otro, en un máximo de un 31%, mientras que los sistemas tipo muro y dual lo hacen en un máximo de un 12%. Por lo tanto, se concluye que los edificios con losas planas alcanzan el límite de deriva definido por el CSCR-10 en un menor tiempo. Debido a esto, se deberá establecer un límite más riguroso para los sistemas con losas planas. (Revisar sección 11.1 Período)
4. La ecuación que el CSCR-10 propone para la aproximación del período de oscilación para el sistema tipo muro, subestima el período de los sistemas de losas planas, muros y dual y sobreestima la rigidez lateral del mismo. (Revisar secciones 8.1.1 Período y 9.1.1 Período)
5. Se corrobora que las ductilidades de los elementos disminuyen con el aumento de la carga axial en estos. (Revisar las secciones A.1 Propiedades obtenidas de Xtract, B.1 Propiedades obtenidas de Xtract y C.1 Propiedades obtenidas de Xtract)
6. En general, las derivas obtenidas mediante el análisis de capacidad espectral superan las derivas obtenidas mediante el análisis pseudo dinámico, lo cual refuerza la necesidad de hacer este tipo de análisis donde los elementos se desarrollan en el rango inelástico y se puede obtener un panorama más real de lo que ocurre en las zonas de rótula plástica. (Revisar sección 11.2 Derivas inelásticas)
7. Debido al diseño conservador que se hizo con las fuerzas obtenidas del análisis pseudo dinámico, donde las derivas obtenidas están lejos del límite establecido por el CSCR-10, la estructura es rígida y las derivas obtenidas del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño nunca superan el límite de deriva que el Código establece para

los sistemas tipo muro, con un valor de 0,01. Si desde un inicio se hubiese hecho un diseño menos conservador, las derivas del análisis de capacidad espectral superarían el límite impuesto. Por lo tanto, para esta investigación, con un diseño conservador inicial, se asegura que los edificios se mantienen en un estado seguro y no presentan desplazamientos excesivos en el punto de desempeño. (Revisar sección 11.2 Derivas inelásticas). Sin embargo, si el diseño original hubiese sido menos conservador, ocurriría el caso contrario y la edificación no estaría en un estado seguro en el punto de desempeño.

8. Dado que, la capacidad en cortante por punzonamiento en la losa de edificios con losas planas depende de las derivas, el diseño de las losas resulta ser crítico en la estimación de las derivas. Por otro lado, en el caso de edificios con vigas, ya sea con sistema estructural de muros, duales o de marcos, esta situación no representa un problema. Si bien es cierto que las derivas de diseño obtenidas del análisis de capacidad espectral son mayores que las obtenidas del método pseudo dinámico, la capacidad en cortante de las vigas no depende de las derivas, por lo que esta situación no genera un problema de diseño. En la Figura 15 de la sección 4.4 , se evidencia que conforme aumenta la razón de deriva en las conexiones de losas planas con las columnas, las capacidades de cortante por punzonamiento disminuyen. Consecuentemente, se determina que el diseño inicial para los sistemas de losas planas será determinante en el cumplimiento de las derivas cuando se realice el análisis de capacidad espectral. Las derivas altas en los edificios con losas planas pueden propiciar fallas por punzonamiento en las zonas críticas de la unión losa-columna y provocar un eventual colapso.
9. Las ductilidades en el punto de desempeño disminuyen conforme se aumenta el número de niveles en los modelos. De los resultados obtenidos, se corrobora que pocos casos de estudio cumplen con la ductilidad de diseño. (Revisar sección 11.3 Ductilidades en el punto de desempeño)
10. En general, los cortantes basales y derivas son mayores en la dirección Y que en la dirección X . Esto es congruente con que el edificio es más rígido en la dirección X , por tener muros con secciones más grandes y mayor cantidad de columnas en esta dirección. Debido a lo anterior, se alcanzan primero los límites de deriva en la dirección Y . (Revisar secciones 11.2 Derivas inelásticas y 11.4 Cortantes basales en el punto de desempeño)

11. Los cortantes basales obtenidos del análisis pseudo dinámico son menores a los del análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño. Dado que la razón del cortante obtenido del análisis inelástico entre el valor obtenido del análisis elástico es igual o mayor a 2,0, se puede concluir que es aceptable utilizar una sobrerresistencia de diseño de 2,0 para los sistemas con losas planas. (Revisar sección 11.5 Sobrerresistencia en el punto de desempeño)
12. Las sobrerresistencias obtenidas del análisis de la mayoría de los modelos analizados alcanzan la sobrerresistencia de diseño, por lo que se asegura una redundancia estructural que permita redistribución de fuerzas internas en caso de que fallen los elementos estructurales principales de una edificación. (Revisar sección 11.5 Sobrerresistencia en el punto de desempeño)

A partir de los resultados obtenidos, se hacen las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:

1. Realizar el análisis de periodos, derivas, curvas de capacidad, ductilidad, cortantes basales y sobrerresistencia para los siguientes casos:
 - a) Diferentes resistencias del concreto para los modelos de los sistemas tipo muro y dual.
 - b) Edificios irregulares en planta y en altura con sistemas de losas planas.
 - c) Edificios con alturas superiores a los 12 niveles, para comparar los resultados obtenidos y verificar si se mantienen las tendencias que se manejan para los parámetros en estudio.
2. Analizar otras maneras de alcanzar la ductilidad de diseño en los modelos, aparte de aumentar la resistencia del concreto en el sistema losas planas, ya que esto fue analizado y comprobado por Bogantes (2019).
3. De acuerdo con los resultados del período de oscilación del análisis pseudo dinámico para los edificios de muros con losas planas, se recomienda estimar los períodos mediante la ecuación $T \approx 0,1387N$ donde N representa el número de niveles del modelo.
4. Para los edificios con sistema de muros con losas planas, definir un valor límite de derivas más riguroso que el que define el CSCR-10 para el sistema de muros, esto debido a la flexibilidad del sistema y a la ausencia de vigas que confinen el edificio.

5. Para los edificios de muros con losas planas que tienen menos de 6 niveles, se recomienda utilizar una sobrerresistencia de diseño menor a 2,0. De acuerdo con los resultados del Cuadro 40, se recomienda un valor de diseño de 1,5-1,75.
6. Para los edificios de muros con losas planas, independientemente del sistema sismorresistente que se utilice, se recomienda limitar la carga axial para el diseño de las columnas del sistema gravitacional, esto con el fin de evitar que se tengan fuerzas axiales muy altas que limiten la sobrerresistencia y ductilidad de los elementos. Según los resultados obtenidos por Bogantes (2019), la carga axial demandada debe mantenerse por debajo de 0,233 veces la capacidad de la sección, para las combinaciones con sismo.

El valor de 0,233 puede resultar muy conservador, por lo que se recomienda evaluar, desde un punto de vista práctico, cuál es el límite ideal que se debe utilizar. Si se establece un límite máximo, se asegura que se trabaje en la parte baja del diagrama de interacción con fuerzas menores. Aunque las columnas no sean parte del sistema sismorresistente, la estructura se desplaza y las columnas deben ser capaces de soportar las derivas sin colapsar.

Fuentes de consulta

- 19-S: *El tipo de estructura que causó más de la mitad de los derrumbes en la CDMX.* (2017).
Obtenido de Buscador de Arquitectura México:
<https://noticias.arq.com.mx/Detalles/22587.html#.XZf2LkZKg2w>
- American Concrete Institute. (2008). *ACI 421.1R-08: Guide to Shear Reinforcement for Slabs.* Michigan.
- American Concrete Institute. (2010). *ACI 421.2R-20: Guide to Seismic Design of Punching Shear Reinforcement in Flat Plates.* Michigan.
- American Concrete Institute. (2012). *ACI 352.1R-11: Guide for Design of Slab-Column Connections in Monolithic Concrete Structures.* Michigan.
- American Concrete Institute. (2015). *ACI 318S-14: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.* Michigan.
- American Society of Civil Engineers. (2017). *ASCE 41-17 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings.* Reston: American Society of Civil Engineers.
- Applied Technology Council. (1996). *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1.* Redwood City.
- Arellano, E., & González, Ó. (2014). *DUCTILIDADES Y DISTORSIONES DE FALLA EN LOSAS PLANAS POSTENSADAS REFORZADAS CON PERNOS CONECTORES DE CORTANTE.* Obtenido de Área de Estructuras, Departamento de Materiales, Unidad Azcapotzalco, Universidad Autónoma Metropolitana:
<http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2014/09/19/Ductilidades%20y%20distorsiones%20de%20falla%20en%20losas%20planas%20postensadas%20reforzadas%20con%20pernos%20conectores%20de%20cortante%20%28P%C3%A1gina%20Facultad%20de%20Ingenier%C3%ADa%29.pdf>
- Artavia, A. (2017). *Utilización del Método de Capacidad Espectral para verificación de las demandas de desplazamiento lateral en edificaciones con losas planas diseñadas de acuerdo con el Código Sísmico de Costa Rica.* Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

- Blanco, A., & Terry, J. A. (Junio de 2010). *EL SISMO DE CHILE DEL 27 DE FEBRERO DEL 2010 Y SUS ENSEÑANZAS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL*. Obtenido de Abbings: http://abbings.com/descargas/terremoto_chile.pdf
- Bogantes, C. (2019). *Importancia de la resistencia a la compresión del concreto en el comportamiento sísmico de edificios con losas planas y muros estructurales*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Bogantes, I. (2017). *Comportamiento de edificios con losas planas y sistemas sísmorresistentes*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Bravo, A. (2002). *Relación entre ductilidad local y ductilidad global asignada en edificios de concreto reforzado tipo dual diseñados según la propuesta del Código Sísmico de Costa Rica 2002*. San José.
- Cerrolaza, M., & Flórez-López, J. (2000). *Modelos matemáticos en ingeniería moderna*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Chiroiu, L., Goula, A., Susagna, T., Barbat, A., & Pujades, L. (2001). *EL MÉTODO DEL ESPECTRO DE CAPACIDAD APLICADO A LA EVALUACIÓN DE DAÑOS SÍSMICOS*. Obtenido de Asociación Española de Ingeniería Sísmica: http://www.igc.cat/pdf/pubtec/2001_2002/2001_chiroiu_et_al_elmetodo.pdf
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica 2010 rev. 2014*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2013). *Comentarios al Código Sísmico de Costa Rica 2010*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Comisión Permanente de Estudio y Revisión del CSCR. (2010). *Consultas y Respuestas sobre el CSCR del 2002*. Obtenido de Código Sísmico de Costa Rica: https://www.codigosismico.or.cr/respuestas_com_2002.htm

- Cruz, M. (s.f.). *Comentarios Sobre Uso De Sistemas De Baja Ductilidad En Costa Rica Y Desarrollo De Su Norma*. Guatemala: Congreso Latinoamericano Resilencia Sísmica de las Edificaciones Sistemas constructivos de alta y baja calidad.
- Harmsen, T. (2002). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú: Tercera Edición.
- Moehle, J. (2014). *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings 1st Edition*. McGraw-Hill Education.
- Mozzo, L., & Barbat, A. (1999). *Diseño sísmorresistente de edificios*. Barcelona: Reverte.
- Park, R., & Paulay, T. (1983). *Estructuras de Concreto Reforzado*. México: Limusa.
- Ramírez, A. (11 de Octubre de 2017). *Losa plana, causante de 60 % de colapsos en CDMX*. Obtenido de La Razón: <https://www.razon.com.mx/wp-content/uploads/2017/10/08LR2604.pdf>
- UNO TV. (10 de Octubre de 2017). *Losa plana, peligrosa técnica de construcción en derrumbes del sismo*. Obtenido de UNO TV: <https://www.unotv.com/noticias/portal/nacional/detalle/usaron-tecnica-de-construccion-prohibida-en-derrumbes-por-sismo-544565/>
- Web, O. (5 de Diciembre de 2017). *Los edificios de la CDMX con planta baja débil deberán corregirse*. Obtenido de Obras Web: <https://obrasweb.mx/construccion/2017/12/05/los-edificios-de-la-cdmx-con-planta-baja-debil-deberan-corregirse>

Apéndice A: Cálculos para modelos con losas planas

A.1 Propiedades obtenidas de Xtract

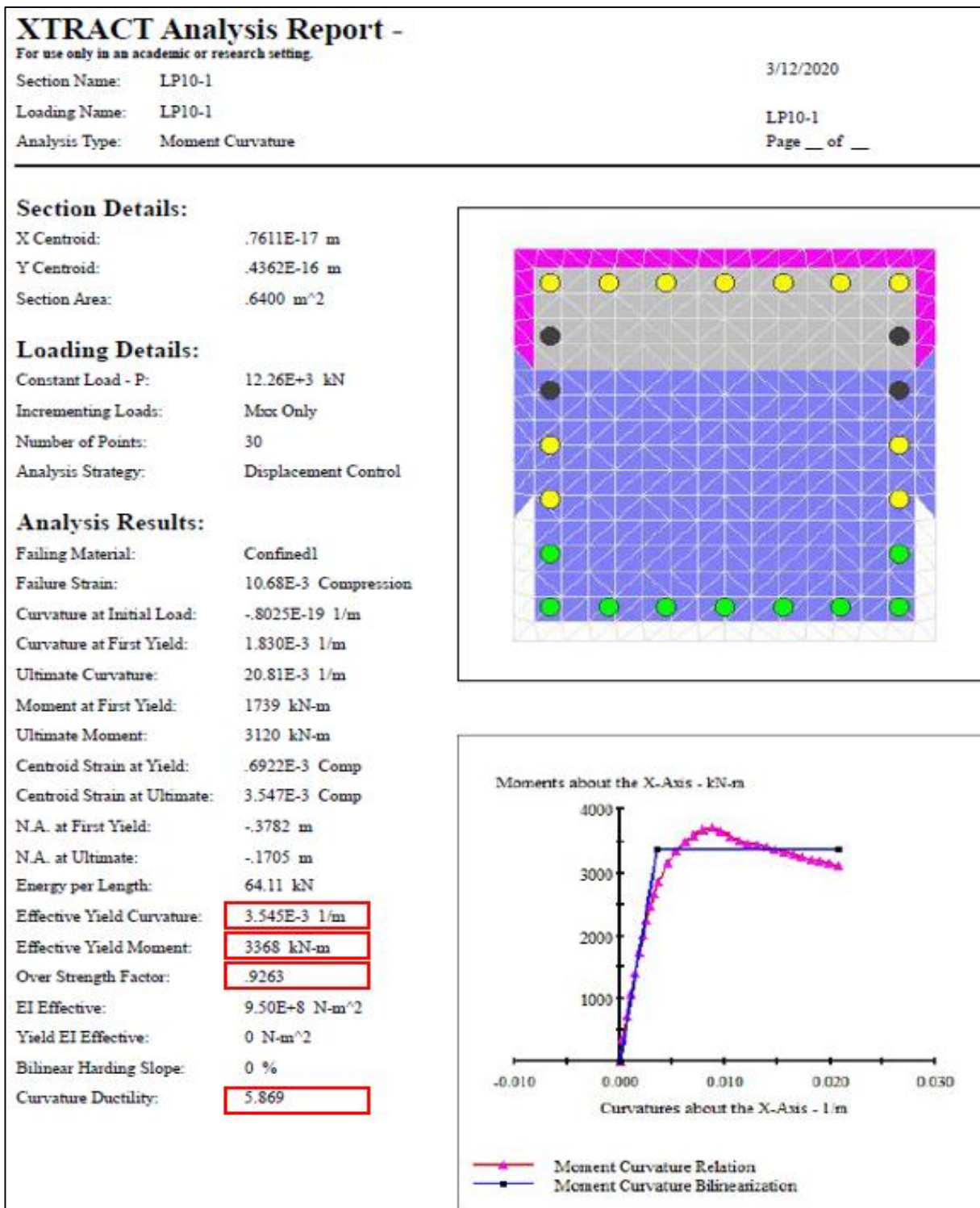


Figura 163. Salidas del programa Xtract para CLP10-1

XTRACT Analysis Report -

For use only in an academic or research setting.

Section Name: LP10MX

3/1/2020

Loading Name: LP10MX

LP10MX

Analysis Type: Moment Curvature

Page __ of __

Section Details:

X Centroid: -6.952×10^{-15} m
Y Centroid: -3.367×10^{-16} m
Section Area: 2.925 m^2

Loading Details:

Constant Load - P: 15.56×10^3 kN
Incrementing Loads: Myy Only
Number of Points: 31
Analysis Strategy: Displacement Control

Analysis Results:

Failing Material: Confined1
Failure Strain: 20.00×10^{-3} Compression
Curvature at Initial Load: -2.023×10^{-9} 1/m
Curvature at First Yield: $.3483 \times 10^{-3}$ 1/m
Ultimate Curvature: 4.829×10^{-3} 1/m
Moment at First Yield: 101.9×10^3 kN-m
Ultimate Moment: 110.2×10^3 kN-m
Centroid Strain at Yield: $.2924 \times 10^{-3}$ Ten
Centroid Strain at Ultimate: 2.817×10^{-3} Ten
N.A. at First Yield: $.8393$ m
N.A. at Ultimate: $.5834$ m
Energy per Length: 569.7 kN
Effective Yield Curvature: 4.215×10^{-3} 1/m
Effective Yield Moment: 123.3×10^3 kN-m
Over Strength Factor: $.8936$
EI Effective: 2.93×10^{11} N-m²
Yield EI Effective: 0 N-m²
Bilinear Hardening Slope: 0 %
Curvature Ductility: 11.46

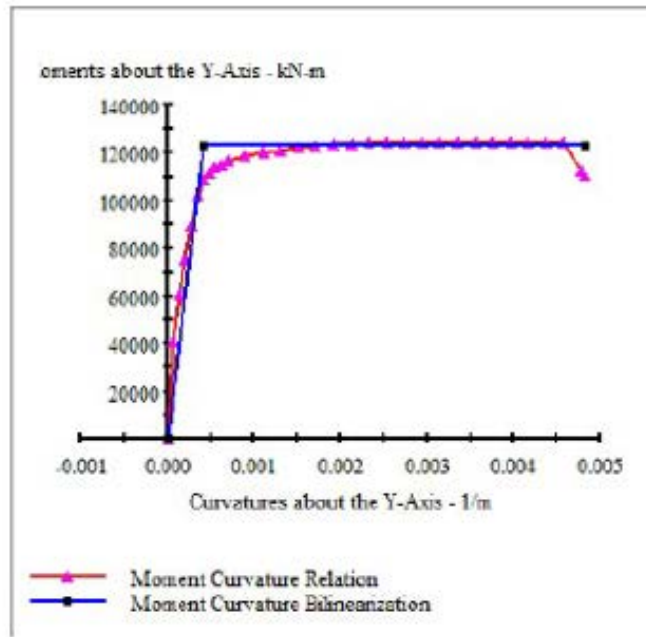
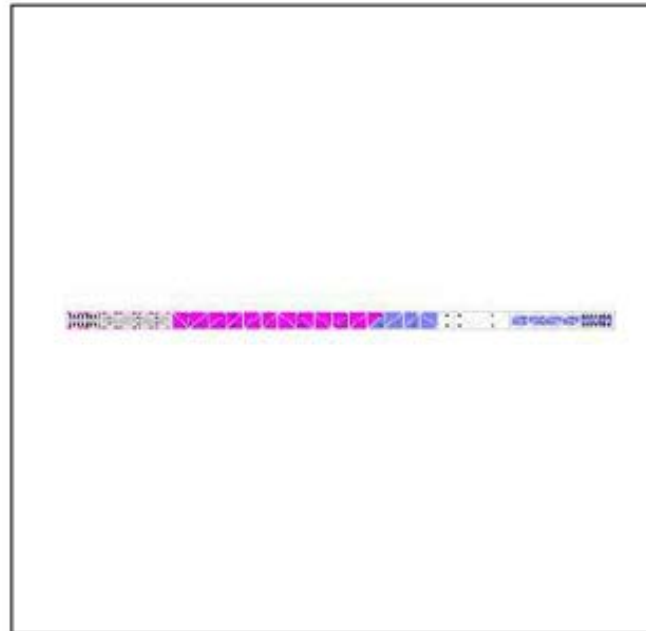


Figura 164. Salidas del programa Xtract para MLP10X

Cuadro 41. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para columnas del modelo del sistema de muros con LP extraídas de Xtract

	SR	1,2μ	μ	M_y [m ton]	ϕ	IO	LS	CP
						5%μ	75%μ	95%μ
CLP4-1	0,834	11,984	9,987	95,400	0,001	0,499	7,490	9,488
CLP4-2	0,935	12,312	10,260	93,100	0,002	0,513	7,695	9,747
CLP6-1	0,804	9,353	7,794	150,300	0,001	0,390	5,846	7,404
CLP6-2	0,866	10,135	8,446	141,500	0,002	0,422	6,335	8,024
CLP6-3	0,903	10,247	8,539	135,900	0,002	0,427	6,404	8,112
CLP8-1	0,906	7,655	6,379	257,300	0,001	0,319	4,784	6,060
CLP8-2	0,770	8,724	7,270	166,300	0,001	0,364	5,453	6,907
CLP8-3	0,883	8,512	7,093	182,700	0,002	0,355	5,320	6,738
CLP8-4	0,920	9,054	7,545	172,900	0,002	0,377	5,659	7,168
CLP10-1	0,926	7,043	5,869	336,800	0,001	0,293	4,402	5,576
CLP10-2	0,852	12,984	10,820	251,800	0,001	0,541	8,115	10,279
CLP10-3	0,873	15,144	12,620	313,700	0,001	0,631	9,465	11,989
CLP10-4	0,925	12,228	10,190	202,700	0,002	0,510	7,643	9,681
CLP10-5	0,968	12,948	10,790	213,900	0,002	0,540	8,093	10,251
CLP12-1	0,960	8,328	6,940	482,400	0,002	0,347	5,205	6,593
CLP12-2	0,944	11,946	9,955	411,700	0,002	0,498	7,466	9,457
CLP12-3	0,849	12,612	10,510	267,900	0,001	0,526	7,883	9,985
CLP12-4	0,880	13,308	11,090	244,700	0,002	0,555	8,318	10,536
CLP12-5	0,947	14,760	12,300	224,900	0,002	0,615	9,225	11,685
CLP12-6	0,978	11,504	9,587	271,800	0,002	0,479	7,190	9,108

Cuadro 42. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para muros del modelo del sistema de muros con LP extraídas de Xtract

	SR	1,2μ	μ	M_y [m ton]	φ	IO 5%μ	LS 75%μ	CP 95%μ
MLP4X	0,892	13,812	11,510	5970,000	0,002	0,576	8,633	10,935
MLP4Y	0,902	14,076	11,730	4435,000	0,002	0,587	8,798	11,144
MLP6X	0,815	13,500	11,250	6395,000	0,002	0,563	8,438	10,688
MLP6Y	1,052	22,740	18,950	4958,000	0,002	0,948	14,213	18,003
MLP8X	0,750	10,889	9,074	11680,000	0,002	0,454	6,806	8,620
MLP8Y	0,616	10,256	8,547	7288,000	0,002	0,427	6,410	8,120
MLP10X	0,894	13,752	11,460	12330,000	0,002	0,573	8,595	10,887
MLP10Y	0,945	14,208	11,840	11790,000	0,002	0,592	8,880	11,248
MLP12X	0,560	8,009	6,674	18880,000	0,002	0,334	5,006	6,340
MLP12Y	0,804	10,340	8,617	16280,000	0,002	0,431	6,463	8,186

A.2 Cálculo de derivas inelásticas

A.2.1 Análisis pseudo dinámico

Cuadro 43. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP4X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,026	0,002	0,007	Cumple	72%
3	0,019	0,002	0,008	Cumple	78%
2	0,011	0,002	0,007	Cumple	69%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	41%

Cuadro 44. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP4Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,0288	0,002	0,007	Cumple	74%
3	0,0214	0,002	0,008	Cumple	84%
2	0,013	0,002	0,008	Cumple	81%
1	0,0049	0,001	0,005	Cumple	49%

Cuadro 45. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP6X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,037	0,002	0,006	Cumple	60%
5	0,031	0,002	0,007	Cumple	69%
4	0,025	0,002	0,008	Cumple	75%
3	0,017	0,002	0,007	Cumple	73%
2	0,010	0,002	0,006	Cumple	62%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	35%

Cuadro 46. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP6Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,040	0,001	0,006	Cumple	58%
5	0,034	0,002	0,007	Cumple	70%
4	0,027	0,002	0,008	Cumple	79%
3	0,019	0,002	0,008	Cumple	81%
2	0,011	0,002	0,007	Cumple	71%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	41%

Cuadro 47. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP8X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,046	0,001	0,005	Cumple	51%
7	0,040	0,001	0,006	Cumple	58%
6	0,035	0,002	0,006	Cumple	64%
5	0,028	0,002	0,007	Cumple	67%
4	0,022	0,002	0,007	Cumple	68%
3	0,015	0,002	0,006	Cumple	64%
2	0,008	0,001	0,005	Cumple	53%
1	0,003	0,001	0,003	Cumple	30%

Cuadro 48. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP8Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,050	0,001	0,005	Cumple	51%
7	0,044	0,002	0,006	Cumple	60%
6	0,038	0,002	0,007	Cumple	67%
5	0,032	0,002	0,007	Cumple	72%
4	0,025	0,002	0,008	Cumple	75%
3	0,017	0,002	0,007	Cumple	73%
2	0,010	0,002	0,006	Cumple	62%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	35%

Cuadro 49. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP10X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,060	0,001	0,005	Cumple	50%
9	0,055	0,001	0,006	Cumple	56%
8	0,049	0,002	0,006	Cumple	62%
7	0,043	0,002	0,007	Cumple	68%
6	0,036	0,002	0,007	Cumple	71%
5	0,029	0,002	0,007	Cumple	73%
4	0,022	0,002	0,007	Cumple	71%
3	0,015	0,002	0,007	Cumple	66%
2	0,008	0,001	0,005	Cumple	54%
1	0,003	0,001	0,003	Cumple	29%

Cuadro 50. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP10Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,068	0,001	0,005	Cumple	49%
9	0,063	0,001	0,006	Cumple	57%
8	0,057	0,002	0,007	Cumple	66%
7	0,050	0,002	0,007	Cumple	74%
6	0,043	0,002	0,008	Cumple	80%
5	0,035	0,002	0,009	Cumple	85%
4	0,026	0,002	0,008	Cumple	84%
3	0,018	0,002	0,008	Cumple	79%
2	0,010	0,002	0,007	Cumple	65%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	36%

Cuadro 51. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP12X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,073	0,001	0,005	Cumple	47%
11	0,068	0,001	0,005	Cumple	54%
10	0,063	0,001	0,006	Cumple	58%
9	0,057	0,002	0,006	Cumple	64%
8	0,050	0,002	0,007	Cumple	67%
7	0,044	0,002	0,007	Cumple	72%
6	0,037	0,002	0,007	Cumple	74%
5	0,029	0,002	0,007	Cumple	74%
4	0,022	0,002	0,007	Cumple	72%
3	0,015	0,002	0,007	Cumple	65%
2	0,008	0,001	0,005	Cumple	52%
1	0,003	0,001	0,003	Cumple	28%

Cuadro 52. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico LP12Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,080	0,001	0,004	Cumple	45%
11	0,075	0,001	0,005	Cumple	53%
10	0,070	0,002	0,006	Cumple	60%
9	0,064	0,002	0,007	Cumple	66%
8	0,057	0,002	0,007	Cumple	73%
7	0,050	0,002	0,008	Cumple	79%
6	0,042	0,002	0,008	Cumple	83%
5	0,034	0,002	0,008	Cumple	84%
4	0,025	0,002	0,008	Cumple	83%
3	0,017	0,002	0,008	Cumple	76%
2	0,010	0,002	0,006	Cumple	61%
1	0,003	0,001	0,003	Cumple	34%

A.2.2 Análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño

Cuadro 53. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP4X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,097	0,007	Cumple	72%
3	0,069	0,007	Cumple	74%
2	0,039	0,006	Cumple	64%
1	0,013	0,003	Cumple	33%

Cuadro 54. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP4Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,106	0,008	Cumple	75%
3	0,076	0,008	Cumple	81%
2	0,044	0,007	Cumple	72%
1	0,015	0,004	Cumple	38%

Cuadro 55. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP6X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,166	0,008	Cumple	77%
5	0,135	0,008	Cumple	83%
4	0,102	0,008	Cumple	84%
3	0,068	0,008	Cumple	79%
2	0,036	0,006	Cumple	61%
1	0,012	0,003	Cumple	30%

Cuadro 56. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP6Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,158	0,007	Cumple	68%
5	0,131	0,008	Cumple	76%
4	0,100	0,008	Cumple	81%
3	0,068	0,008	Cumple	76%
2	0,037	0,006	Cumple	62%
1	0,012	0,003	Cumple	31%

Cuadro 57. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP8X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,197	0,006	Cumple	64%
7	0,171	0,007	Cumple	70%
6	0,143	0,007	Cumple	74%
5	0,113	0,007	Cumple	74%
4	0,083	0,007	Cumple	73%
3	0,054	0,006	Cumple	63%
2	0,029	0,005	Cumple	50%
1	0,009	0,002	Cumple	23%

Cuadro 58. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP8Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,209	0,007	Cumple	65%
7	0,183	0,007	Cumple	72%
6	0,154	0,008	Cumple	77%
5	0,124	0,008	Cumple	80%
4	0,092	0,008	Cumple	78%
3	0,061	0,007	Cumple	71%
2	0,032	0,005	Cumple	54%
1	0,011	0,003	Cumple	27%

Cuadro 59. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP10X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,283	0,007	Cumple	72%
9	0,255	0,008	Cumple	76%
8	0,224	0,008	Cumple	83%
7	0,191	0,009	Cumple	85%
6	0,157	0,009	Cumple	85%
5	0,122	0,009	Cumple	85%
4	0,088	0,008	Cumple	79%
3	0,057	0,007	Cumple	67%
2	0,030	0,005	Cumple	49%
1	0,010	0,002	Cumple	25%

Cuadro 60. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP10Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,280	0,006	Cumple	63%
9	0,254	0,007	Cumple	71%
8	0,226	0,008	Cumple	77%
7	0,195	0,008	Cumple	83%
6	0,162	0,009	Cumple	87%
5	0,128	0,008	Cumple	85%
4	0,094	0,008	Cumple	83%
3	0,061	0,007	Cumple	71%
2	0,032	0,006	Cumple	55%
1	0,010	0,003	Cumple	26%

Cuadro 61. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP12X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,327	0,007	Cumple	66%
11	0,300	0,007	Cumple	70%
10	0,272	0,008	Cumple	76%
9	0,242	0,008	Cumple	79%
8	0,210	0,009	Cumple	85%
7	0,176	0,008	Cumple	82%
6	0,143	0,008	Cumple	82%
5	0,110	0,008	Cumple	79%
4	0,078	0,007	Cumple	73%
3	0,049	0,006	Cumple	60%
2	0,025	0,004	Cumple	44%
1	0,008	0,002	Cumple	19%

Cuadro 62. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño LP12Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,357	0,006	Cumple	65%
11	0,331	0,007	Cumple	68%
10	0,304	0,008	Cumple	77%
9	0,273	0,009	Cumple	86%
8	0,239	0,009	Cumple	86%
7	0,204	0,009	Cumple	92%
6	0,167	0,010	Cumple	95%
5	0,129	0,009	Cumple	89%
4	0,094	0,008	Cumple	83%
3	0,060	0,007	Cumple	71%
2	0,032	0,006	Cumple	55%
1	0,010	0,002	Cumple	25%

A.2.3 Análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso

Cuadro 63. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP4X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,208	0,013	No cumple	126%
3	0,158	0,013	No cumple	133%
2	0,105	0,013	No cumple	135%
1	0,051	0,013	No cumple	127%

Cuadro 64. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP4Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,202	0,012	No cumple	118%
3	0,155	0,013	No cumple	129%
2	0,103	0,013	No cumple	133%
1	0,050	0,013	No cumple	126%

Cuadro 65. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP6X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,241	0,009	Cumple	90%
5	0,205	0,010	Cumple	98%
4	0,166	0,010	No cumple	105%
3	0,124	0,011	No cumple	108%
2	0,081	0,011	No cumple	106%
1	0,039	0,010	Cumple	97%

Cuadro 66. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP6Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,231	0,008	Cumple	81%
5	0,198	0,009	Cumple	91%
4	0,162	0,010	Cumple	100%
3	0,122	0,011	No cumple	105%
2	0,080	0,010	No cumple	105%
1	0,038	0,010	Cumple	96%

Cuadro 67. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP8X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,373	0,010	No cumple	103%
7	0,331	0,011	No cumple	111%
6	0,287	0,012	No cumple	118%
5	0,240	0,012	No cumple	124%
4	0,190	0,013	No cumple	126%
3	0,140	0,013	No cumple	125%
2	0,090	0,012	No cumple	120%
1	0,042	0,010	No cumple	105%

Cuadro 68. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP8Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,329	0,008	Cumple	84%
7	0,295	0,009	Cumple	93%
6	0,258	0,010	No cumple	102%
5	0,217	0,011	No cumple	109%
4	0,174	0,011	No cumple	114%
3	0,128	0,011	No cumple	114%
2	0,083	0,011	No cumple	110%
1	0,039	0,010	Cumple	96%

Cuadro 69. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP10X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,473	0,010	Cumple	99%
9	0,433	0,011	No cumple	107%
8	0,390	0,011	No cumple	114%
7	0,345	0,012	No cumple	121%
6	0,297	0,013	No cumple	126%
5	0,246	0,013	No cumple	129%
4	0,195	0,013	No cumple	130%
3	0,142	0,013	No cumple	128%
2	0,091	0,012	No cumple	122%
1	0,043	0,011	No cumple	106%

Cuadro 70. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP10Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,443	0,009	Cumple	87%
9	0,408	0,010	Cumple	96%
8	0,370	0,010	No cumple	105%
7	0,328	0,011	No cumple	113%
6	0,283	0,012	No cumple	120%
5	0,235	0,012	No cumple	125%
4	0,185	0,013	No cumple	126%
3	0,135	0,012	No cumple	123%
2	0,085	0,012	No cumple	116%
1	0,039	0,010	Cumple	98%

Cuadro 71. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP12X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,626	0,011	No cumple	109%
11	0,583	0,012	No cumple	116%
10	0,537	0,012	No cumple	123%
9	0,488	0,013	No cumple	131%
8	0,435	0,014	No cumple	137%
7	0,380	0,014	No cumple	143%
6	0,323	0,015	No cumple	146%
5	0,265	0,015	No cumple	146%
4	0,207	0,014	No cumple	143%
3	0,149	0,014	No cumple	138%
2	0,094	0,013	No cumple	129%
1	0,043	0,011	No cumple	107%

Cuadro 72. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso LP12Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,680	0,011	No cumple	107%
11	0,637	0,012	No cumple	117%
10	0,590	0,013	No cumple	127%
9	0,539	0,014	No cumple	138%
8	0,484	0,015	No cumple	148%
7	0,425	0,016	No cumple	155%
6	0,363	0,016	No cumple	161%
5	0,299	0,016	No cumple	163%
4	0,234	0,016	No cumple	161%
3	0,170	0,016	No cumple	155%
2	0,108	0,015	No cumple	146%
1	0,049	0,012	No cumple	124%

A.3 Cálculo del punto de desempeño

Cuadro 73. Cálculo de constantes para punto de desempeño LP

LP	Dirección X			Dirección Y		
	Λ	η	φN	Λ	η	φN
4	0,0012	30,010	0,045	0,0012	28,5443	0,047
6	0,0008	36,564	0,038	0,0008	34,835	0,039
8	0,0006	41,645	0,034	0,0006	38,567	0,036
10	0,0005	44,977	0,032	0,0005	39,373	0,036
12	0,0004	55,040	0,026	0,0004	48,260	0,029

Cuadro 74. Cálculo del punto de desempeño LP4X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,020	890	1068	1,301	0,015
PAx	2	0,036	1594	1913	2,331	0,027
PAx	3	0,056	1991	2389	2,911	0,042
PAx	4	0,076	2382	2859	3,484	0,057
PAx	5	0,103	2760	3312	4,036	0,077
PAx	6	0,123	3020	3623	4,416	0,092
PAx	7	0,144	3263	3916	4,772	0,108
PAx	8	0,165	3484	4181	5,094	0,124
PAx	9	0,186	3673	4408	5,371	0,139
PAx	10	0,208	3830	4596	5,600	0,156

Cuadro 75. Cálculo del punto de desempeño LP4Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,020	767	920	1,109	0,015
PAy	2	0,039	1490	1789	2,155	0,029
PAy	3	0,066	2083	2500	3,012	0,050
PAy	4	0,089	2490	2988	3,600	0,067
PAy	5	0,110	2769	3323	4,004	0,083
PAy	6	0,133	3029	3635	4,380	0,100
PAy	7	0,156	3260	3912	4,714	0,117
PAy	8	0,176	3409	4090	4,929	0,133
PAy	9	0,202	3538	4245	5,116	0,152

Cuadro 76. Cálculo del punto de desempeño LP6X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,020	573	688	0,565	0,014
PAx	2	0,040	1146	1375	1,130	0,029
PAx	3	0,049	1394	1672	1,374	0,035
PAx	4	0,069	1715	2058	1,691	0,050
PAx	5	0,089	2037	2444	2,008	0,064
PAx	6	0,112	2405	2886	2,371	0,081
PAx	7	0,141	2777	3332	2,738	0,102
PAx	8	0,172	3135	3762	3,090	0,125
PAx	9	0,193	3375	4050	3,327	0,140
PAx	10	0,214	3606	4327	3,555	0,155
PAx	11	0,241	3895	4674	3,840	0,174

Cuadro 77. Cálculo del punto de desempeño LP6Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,020	535	642	0,518	0,015
PAy	2	0,040	1069	1283	1,037	0,029
PAy	3	0,051	1359	1631	1,318	0,037
PAy	4	0,071	1713	2056	1,660	0,052
PAy	5	0,091	2067	2480	2,003	0,066
PAy	6	0,112	2447	2936	2,372	0,082
PAy	7	0,135	2756	3308	2,672	0,099
PAy	8	0,155	3013	3615	2,920	0,113
PAy	9	0,185	3383	4060	3,280	0,135
PAy	10	0,210	3691	4429	3,578	0,153
PAy	11	0,231	3932	4719	3,812	0,168

Cuadro 78. Cálculo del punto de desempeño LP8X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,020	532	639	0,391	0,014
PAx	2	0,040	1064	1277	0,782	0,028
PAx	3	0,060	1597	1916	1,173	0,043
PAx	4	0,080	2129	2555	1,563	0,057
PAx	5	0,084	2230	2676	1,638	0,060
PAx	6	0,104	2567	3080	1,885	0,074
PAx	7	0,124	2912	3495	2,139	0,089
PAx	8	0,145	3249	3899	2,386	0,103
PAx	9	0,166	3580	4296	2,629	0,118
PAx	10	0,187	3908	4690	2,870	0,134
PAx	11	0,209	4225	5070	3,103	0,149
PAx	12	0,232	4498	5398	3,303	0,165
PAx	13	0,254	4743	5691	3,483	0,181
PAx	14	0,275	4970	5965	3,650	0,196
PAx	15	0,300	5235	6282	3,844	0,213
PAx	16	0,321	5455	6546	4,006	0,229
PAx	17	0,350	5742	6890	4,217	0,249
PAx	18	0,373	5959	7151	4,376	0,265

Cuadro 79. Cálculo del punto de desempeño LP8Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,020	506	608	0,367	0,014
PAy	2	0,040	1013	1215	0,735	0,029
PAy	3	0,060	1519	1823	1,102	0,043
PAy	4	0,066	1676	2011	1,216	0,047
PAy	5	0,086	2031	2437	1,473	0,062
PAy	6	0,106	2386	2863	1,731	0,076
PAy	7	0,126	2740	3289	1,988	0,090
PAy	8	0,147	3101	3721	2,250	0,105
PAy	9	0,167	3446	4135	2,500	0,119
PAy	10	0,187	3781	4538	2,743	0,134
PAy	11	0,215	4164	4996	3,021	0,154
PAy	12	0,237	4439	5326	3,220	0,170
PAy	13	0,259	4705	5647	3,414	0,186
PAy	14	0,282	4971	5965	3,606	0,202
PAy	15	0,306	5242	6290	3,803	0,219
PAy	16	0,329	5502	6603	3,992	0,236

Cuadro 80. Cálculo del punto de desempeño LP10X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,020	390	468	0,228	0,014
PAx	2	0,040	780	936	0,456	0,028
PAx	3	0,060	1171	1405	0,684	0,043
PAx	4	0,080	1561	1873	0,912	0,057
PAx	5	0,100	1951	2341	1,140	0,071
PAx	6	0,101	1971	2365	1,152	0,072
PAx	7	0,121	2226	2671	1,300	0,086
PAx	8	0,141	2480	2977	1,449	0,100
PAx	9	0,161	2735	3282	1,598	0,114
PAx	10	0,181	2990	3588	1,747	0,128
PAx	11	0,201	3245	3894	1,896	0,142
PAx	12	0,221	3499	4199	2,045	0,156
PAx	13	0,247	3820	4584	2,232	0,174
PAx	14	0,274	4161	4993	2,431	0,193
PAx	15	0,296	4413	5296	2,579	0,209
PAx	16	0,321	4658	5590	2,722	0,226
PAx	17	0,346	4905	5886	2,866	0,244
PAx	18	0,373	5168	6202	3,020	0,263
PAx	19	0,398	5402	6482	3,156	0,281
PAx	20	0,422	5619	6743	3,283	0,298
PAx	21	0,443	5794	6953	3,385	0,312
PAx	22	0,473	6050	7260	3,535	0,334

Cuadro 81. Cálculo del punto de desempeño LP10Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,020	396	475	0,227	0,014
PAy	2	0,040	792	950	0,454	0,029
PAy	3	0,060	1188	1426	0,682	0,043
PAy	4	0,080	1584	1901	0,909	0,057
PAy	5	0,100	1980	2376	1,136	0,072
PAy	6	0,117	2325	2790	1,334	0,084
PAy	7	0,137	2612	3134	1,499	0,098
PAy	8	0,157	2899	3479	1,663	0,113
PAy	9	0,177	3186	3823	1,828	0,127
PAy	10	0,204	3561	4273	2,043	0,146
PAy	11	0,232	3962	4755	2,274	0,166
PAy	12	0,254	4272	5127	2,451	0,182
PAy	13	0,281	4635	5562	2,660	0,201
PAy	14	0,311	4990	5988	2,863	0,223
PAy	15	0,332	5213	6256	2,991	0,238
PAy	16	0,363	5538	6646	3,178	0,260
PAy	17	0,389	5798	6958	3,327	0,278
PAy	18	0,414	6043	7251	3,467	0,296
PAy	19	0,443	6321	7585	3,627	0,317

Cuadro 82. Cálculo del punto de desempeño LP12X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,020	314	377	0,152	0,014
PAx	2	0,040	628	754	0,304	0,028
PAx	3	0,060	942	1131	0,456	0,042
PAx	4	0,080	1257	1508	0,607	0,056
PAx	5	0,100	1571	1885	0,759	0,070
PAx	6	0,120	1885	2262	0,911	0,085
PAx	7	0,140	2199	2639	1,063	0,099
PAx	8	0,160	2513	3016	1,215	0,113
PAx	9	0,169	2654	3185	1,283	0,119
PAx	10	0,189	2867	3440	1,386	0,133
PAx	11	0,209	3080	3696	1,488	0,147
PAx	12	0,229	3292	3951	1,591	0,161
PAx	13	0,249	3505	4206	1,694	0,175
PAx	14	0,269	3718	4461	1,797	0,189
PAx	15	0,289	3930	4716	1,900	0,204
PAx	16	0,309	4142	4970	2,002	0,218
PAx	17	0,341	4482	5379	2,166	0,240
PAx	18	0,366	4742	5691	2,292	0,258
PAx	19	0,391	5003	6004	2,418	0,275
PAx	20	0,414	5242	6290	2,533	0,292
PAx	21	0,435	5430	6516	2,625	0,306
PAx	22	0,456	5604	6725	2,709	0,321
PAx	23	0,496	5926	7111	2,864	0,349
PAx	24	0,532	6215	7458	3,004	0,374
PAx	25	0,561	6452	7743	3,119	0,395
PAx	26	0,599	6747	8097	3,261	0,422
PAx	27	0,626	6961	8354	3,365	0,441

Cuadro 83. Cálculo del punto de desempeño LP12Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,020	335	402	0,158	0,014
PAy	2	0,040	670	804	0,317	0,029
PAy	3	0,060	1005	1206	0,475	0,043
PAy	4	0,080	1340	1608	0,633	0,057
PAy	5	0,100	1675	2009	0,791	0,071
PAy	6	0,120	2009	2411	0,950	0,086
PAy	7	0,140	2344	2813	1,108	0,100
PAy	8	0,160	2679	3215	1,266	0,114
PAy	9	0,171	2859	3431	1,351	0,122
PAy	10	0,191	3109	3731	1,469	0,136
PAy	11	0,211	3360	4032	1,588	0,151
PAy	12	0,231	3610	4332	1,706	0,165
PAy	13	0,258	3950	4740	1,867	0,184
PAy	14	0,280	4217	5060	1,993	0,200
PAy	15	0,300	4457	5348	2,106	0,215
PAy	16	0,320	4697	5636	2,220	0,229
PAy	17	0,342	4959	5951	2,344	0,244
PAy	18	0,372	5303	6364	2,506	0,266
PAy	19	0,395	5563	6676	2,629	0,282
PAy	20	0,416	5796	6955	2,739	0,297
PAy	21	0,440	6030	7237	2,850	0,314
PAy	22	0,467	6280	7536	2,968	0,334
PAy	23	0,491	6494	7793	3,069	0,350
PAy	24	0,512	6688	8026	3,161	0,366
PAy	25	0,532	6867	8240	3,245	0,380
PAy	26	0,558	7093	8512	3,352	0,398
PAy	27	0,584	7322	8786	3,460	0,417
PAy	28	0,611	7551	9062	3,569	0,436

PAy	29	0,632	7733	9279	3,655	0,452
PAy	30	0,658	7939	9527	3,752	0,470

Apéndice B: Cálculos para modelos del sistema tipo muro convencional

B.1 Propiedades obtenidas de Xtract

Cuadro 84. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para columnas del modelo del sistema tipo muro extraídas de Xtract

	SR	1,2μ	μ	M_y [m ton]	φ	IO 5%μ	LS 75%μ	CP 95%μ
CM4-1	0,857	10,638	8,865	114,200	0,001	0,443	6,649	8,422
CM4-2	0,912	11,882	9,902	95,400	0,002	0,495	7,427	9,407
CM6-1	0,846	8,190	6,825	179,400	0,001	0,341	5,119	6,484
CM6-2	0,843	10,030	8,358	142,700	0,001	0,418	6,269	7,940
CM6-3	0,903	10,247	8,539	135,900	0,002	0,427	6,404	8,112
CM8-1	0,929	7,104	5,920	286,100	0,001	0,296	4,440	5,624
CM8-2	0,700	12,204	10,170	224,400	0,001	0,509	7,628	9,662
CM8-3	0,802	10,993	9,161	200,800	0,002	0,458	6,871	8,703
CM8-4	0,938	12,696	10,580	171,200	0,002	0,529	7,935	10,051
CM10-1	0,972	9,107	7,589	420,300	0,002	0,379	5,692	7,210
CM10-2	0,873	14,928	12,440	275,000	0,001	0,622	9,330	11,818
CM10-3	0,870	18,924	15,770	213,300	0,001	0,789	11,828	14,982
CM10-4	0,924	15,204	12,670	206,600	0,002	0,634	9,503	12,037
CM10-5	0,968	12,948	10,790	213,900	0,002	0,540	8,093	10,251
CM12-1	0,952	6,646	5,538	499,700	0,002	0,277	4,154	5,261
CM12-2	0,981	12,600	10,500	511,100	0,002	0,525	7,875	9,975
CM12-3	0,760	12,684	10,570	334,300	0,002	0,529	7,928	10,042
CM12-4	0,876	16,668	13,890	245,800	0,001	0,695	10,418	13,196
CM12-5	0,925	13,740	11,450	231,600	0,002	0,573	8,588	10,878
CM12-6	0,965	12,072	10,060	236,600	0,002	0,503	7,545	9,557

Cuadro 85. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para muros del modelo del sistema tipo muro extraídas de Xtract

	SR	1,2μ	μ	M_y [m ton]	φ	IO 5%μ	LS 75%μ	CP 95%μ
--	-----------	-------------	----------	------------------------------	----------	-------------------	--------------------	--------------------

MM4X	0,918	14,172	11,810	6115,000	0,002	0,591	8,858	11,220
MM4Y	1,009	14,772	12,310	6229,000	0,002	0,616	9,233	11,695
MM6X	1,055	20,112	16,760	8533,000	0,002	0,838	12,570	15,922
MM6Y	0,883	12,372	10,310	6620,000	0,002	0,516	7,733	9,795
MM8X	0,915	13,884	11,570	10920,000	0,002	0,579	8,678	10,992
MM8Y	0,944	14,448	12,040	9234,000	0,002	0,602	9,030	11,438
MM10X	0,605	9,728	8,107	12500,000	0,002	0,405	6,080	7,702
MM10Y	0,690	9,793	8,161	12110,000	0,002	0,408	6,121	7,753
MM12X	0,750	10,807	9,006	16390,000	0,002	0,450	6,755	8,556
MM12Y	1,141	19,740	16,450	15640,000	0,002	0,823	12,338	15,628

Cuadro 86. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para vigas del modelo del sistema tipo muro extraídas de Xtract

	SR	1,2μ	μ	M_y [m ton]	φ	IO 5%μ	LS 75%μ	CP 95%μ
VM4-85ext+	1,233	25,428	21,190	71,510	0,002	1,060	15,893	20,131
VM4-85ext-	-1,232	39,768	33,140	39,790	0,002	1,657	24,855	31,483
VM4-85int+	1,235	38,976	32,480	58,160	0,002	1,624	24,360	30,856
VM4-85int-	-1,224	32,810	29,690	39,990	0,002	1,485	22,268	28,206
VM4-75+	1,245	29,568	24,640	52,400	0,002	1,232	18,480	23,408
VM4-75-	-1,207	39,588	32,990	34,470	0,002	1,650	24,743	31,341
VM6-85ext+	1,220	23,484	19,570	75,800	0,002	0,979	14,678	18,592
VM6-85ext-	-1,224	39,564	32,970	39,930	0,002	1,649	24,728	31,322
VM6-85int+	1,265	33,336	27,780	62,010	0,002	1,389	20,835	26,391

VM6- 85int-	-1,228	39,600	33,000	39,870	0,002	1,650	24,750	31,350
VM6- 75ext+	1,211	24,156	20,130	60,990	0,002	1,007	15,098	19,124
VM6- 75ext-	-1,209	39,696	33,080	34,450	0,002	1,654	24,810	31,426
VM6- 75int+	1,219	40,332	33,610	45,150	0,002	1,681	25,208	31,930
VM6- 75int-	-1,218	39,780	33,150	34,260	0,002	1,658	24,863	31,493
VM8- 85ext+	1,265	33,336	27,780	62,010	0,002	1,389	20,835	26,391
VM8- 85ext-	-1,228	39,600	33,000	39,870	0,002	1,650	24,750	31,350
VM8- 85int+	1,265	33,336	27,780	62,010	0,002	1,389	20,835	26,391
VM8- 85int-	-1,228	39,600	33,000	39,870	0,002	1,650	24,750	31,350
VM8- 75ext+	1,251	38,184	31,820	50,710	0,002	1,591	23,865	30,229
VM8- 75ext-	-1,249	39,384	32,820	34,740	0,002	1,641	24,615	31,179
VM8- 75int+	1,251	38,184	31,820	50,710	0,002	1,591	23,865	30,229
VM8- 75int-	-1,249	39,384	32,820	34,740	0,002	1,641	24,615	31,179
VM10- 85ext+	1,265	33,336	27,780	62,010	0,002	1,389	20,835	26,391
VM10- 85ext-	-1,228	39,600	33,000	39,870	0,002	1,650	24,750	31,350
VM10- 85int+	1,265	33,336	27,780	62,010	0,002	1,389	20,835	26,391

VM10-85int-	-1,228	39,600	33,000	39,870	0,002	1,650	24,750	31,350
VM10-75ext+	1,245	29,568	24,640	52,400	0,002	1,232	18,480	23,408
VM10-75ext-	-1,207	39,588	32,990	34,470	0,002	1,650	24,743	31,341
VM10-75int+	1,245	29,568	24,640	52,400	0,002	1,232	18,480	23,408
VM10-75int-	-1,207	39,588	32,990	34,470	0,002	1,650	24,743	31,341
VM12-85ext+	1,249	32,772	27,310	73,330	0,002	1,366	20,483	25,945
VM12-85ext-	-1,224	40,788	33,990	39,930	0,002	1,700	25,493	32,291
VM12-85int+	1,249	32,772	27,310	73,330	0,002	1,366	20,483	25,945
VM12-85int-	-1,224	40,788	33,990	39,930	0,002	1,700	25,493	32,291
VM12-75ext+	1,244	33,612	28,010	53,020	0,002	1,401	21,008	26,610
VM12-75ext-	-1,220	40,068	33,390	34,080	0,002	1,670	25,043	31,721
VM12-75int+	1,244	33,612	28,010	53,020	0,002	1,401	21,008	26,610
VM12-75int-	-1,220	40,068	33,390	34,080	0,002	1,670	25,043	31,721

B.2 Cálculo de derivas inelásticas

B.2.1 Análisis pseudo dinámico

Cuadro 87. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M4X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,027	0,002	0,007	Cumple	70%
3	0,020	0,002	0,008	Cumple	80%
2	0,012	0,002	0,008	Cumple	76%
1	0,005	0,001	0,005	Cumple	46%

Cuadro 88. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M4Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,0333	0,002	0,008	Cumple	81%
3	0,0252	0,002	0,010	Cumple	97%
2	0,0155	0,002	0,010	Cumple	95%
1	0,006	0,002	0,006	Cumple	60%

Cuadro 89. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M6X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,036	0,001	0,005	Cumple	53%
5	0,031	0,002	0,006	Cumple	63%
4	0,024	0,002	0,007	Cumple	70%
3	0,017	0,002	0,007	Cumple	73%
2	0,010	0,002	0,006	Cumple	63%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	38%

Cuadro 90. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M6Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,040	0,001	0,005	Cumple	54%
5	0,035	0,002	0,007	Cumple	67%
4	0,028	0,002	0,008	Cumple	77%
3	0,020	0,002	0,008	Cumple	82%
2	0,012	0,002	0,008	Cumple	75%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	44%

Cuadro 91. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M8X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,044	0,001	0,005	Cumple	45%
7	0,040	0,001	0,005	Cumple	53%
6	0,034	0,002	0,006	Cumple	60%
5	0,028	0,002	0,006	Cumple	64%
4	0,022	0,002	0,007	Cumple	67%
3	0,015	0,002	0,007	Cumple	65%
2	0,009	0,001	0,006	Cumple	55%
1	0,003	0,001	0,003	Cumple	33%

Cuadro 92. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M8Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,050	0,001	0,005	Cumple	48%
7	0,045	0,001	0,006	Cumple	59%
6	0,039	0,002	0,007	Cumple	66%
5	0,033	0,002	0,007	Cumple	72%
4	0,026	0,002	0,008	Cumple	77%
3	0,018	0,002	0,008	Cumple	75%
2	0,010	0,002	0,007	Cumple	65%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	39%

Cuadro 93. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M10X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,057	0,001	0,004	Cumple	42%
9	0,053	0,001	0,005	Cumple	50%
8	0,048	0,001	0,006	Cumple	56%
7	0,042	0,002	0,006	Cumple	62%
6	0,036	0,002	0,007	Cumple	67%
5	0,030	0,002	0,007	Cumple	71%
4	0,022	0,002	0,007	Cumple	70%
3	0,015	0,002	0,007	Cumple	67%
2	0,009	0,001	0,006	Cumple	55%
1	0,003	0,001	0,003	Cumple	32%

Cuadro 94. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M10Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,067	0,001	0,005	Cumple	45%
9	0,063	0,001	0,006	Cumple	55%
8	0,057	0,002	0,006	Cumple	63%
7	0,051	0,002	0,007	Cumple	73%
6	0,044	0,002	0,008	Cumple	79%
5	0,036	0,002	0,008	Cumple	84%
4	0,027	0,002	0,009	Cumple	85%
3	0,019	0,002	0,008	Cumple	81%
2	0,011	0,002	0,007	Cumple	69%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	39%

Cuadro 95. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M12X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,068	0,001	0,004	Cumple	39%
11	0,064	0,001	0,004	Cumple	45%
10	0,060	0,001	0,005	Cumple	52%
9	0,055	0,001	0,006	Cumple	56%
8	0,049	0,002	0,006	Cumple	62%
7	0,043	0,002	0,007	Cumple	67%
6	0,036	0,002	0,007	Cumple	69%
5	0,029	0,002	0,007	Cumple	72%
4	0,022	0,002	0,007	Cumple	70%
3	0,015	0,002	0,007	Cumple	65%
2	0,008	0,001	0,005	Cumple	53%
1	0,003	0,001	0,003	Cumple	31%

Cuadro 96. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico M12Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,079	0,001	0,004	Cumple	42%
11	0,075	0,001	0,005	Cumple	50%
10	0,070	0,001	0,006	Cumple	57%
9	0,064	0,002	0,006	Cumple	64%
8	0,058	0,002	0,007	Cumple	71%
7	0,051	0,002	0,008	Cumple	78%
6	0,043	0,002	0,008	Cumple	81%
5	0,035	0,002	0,009	Cumple	85%
4	0,026	0,002	0,008	Cumple	83%
3	0,018	0,002	0,008	Cumple	78%
2	0,010	0,002	0,007	Cumple	65%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	37%

B.2.2 Análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño

Cuadro 97. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M4X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,086	0,006	Cumple	58%
3	0,063	0,006	Cumple	65%
2	0,037	0,006	Cumple	59%
1	0,014	0,003	Cumple	34%

Cuadro 98. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M4Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,106	0,007	Cumple	69%
3	0,078	0,008	Cumple	79%
2	0,047	0,007	Cumple	74%
1	0,017	0,004	Cumple	43%

Cuadro 99. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M6X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,136	0,005	Cumple	53%
5	0,115	0,006	Cumple	63%
4	0,090	0,007	Cumple	69%
3	0,062	0,007	Cumple	67%
2	0,035	0,006	Cumple	58%
1	0,012	0,003	Cumple	31%

Cuadro 100. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M6Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,142	0,005	Cumple	53%
5	0,121	0,006	Cumple	64%
4	0,095	0,007	Cumple	71%
3	0,067	0,007	Cumple	72%
2	0,038	0,006	Cumple	61%
1	0,013	0,003	Cumple	34%

Cuadro 101. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M8X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,172	0,005	Cumple	48%
7	0,153	0,006	Cumple	55%
6	0,131	0,006	Cumple	61%
5	0,107	0,007	Cumple	65%
4	0,081	0,007	Cumple	65%
3	0,055	0,006	Cumple	61%
2	0,030	0,005	Cumple	49%
1	0,010	0,003	Cumple	26%

Cuadro 102. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M8Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,198	0,005	Cumple	54%
7	0,177	0,006	Cumple	62%
6	0,152	0,007	Cumple	71%
5	0,124	0,007	Cumple	74%
4	0,094	0,008	Cumple	77%
3	0,063	0,007	Cumple	71%
2	0,035	0,006	Cumple	57%
1	0,012	0,003	Cumple	31%

Cuadro 103. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M10X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,284	0,006	Cumple	59%
9	0,260	0,006	Cumple	64%
8	0,234	0,007	Cumple	74%
7	0,204	0,008	Cumple	82%
6	0,172	0,009	Cumple	87%
5	0,137	0,009	Cumple	87%
4	0,102	0,008	Cumple	85%
3	0,068	0,008	Cumple	77%
2	0,037	0,006	Cumple	62%
1	0,012	0,003	Cumple	31%

Cuadro 104. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M10Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,295	0,006	Cumple	56%
9	0,273	0,007	Cumple	66%
8	0,246	0,008	Cumple	75%
7	0,216	0,008	Cumple	85%
6	0,182	0,009	Cumple	89%
5	0,147	0,009	Cumple	94%
4	0,109	0,009	Cumple	92%
3	0,072	0,008	Cumple	82%
2	0,039	0,007	Cumple	66%
1	0,013	0,003	Cumple	33%

Cuadro 105. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M12X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,284	0,005	Cumple	45%
11	0,266	0,005	Cumple	51%
10	0,245	0,006	Cumple	57%
9	0,223	0,006	Cumple	65%
8	0,197	0,007	Cumple	68%
7	0,170	0,007	Cumple	73%
6	0,140	0,007	Cumple	73%
5	0,111	0,007	Cumple	73%
4	0,081	0,007	Cumple	71%
3	0,053	0,006	Cumple	62%
2	0,028	0,005	Cumple	45%
1	0,010	0,003	Cumple	25%

Cuadro 106. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño M12Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,339	0,005	Cumple	51%
11	0,319	0,006	Cumple	57%
10	0,296	0,007	Cumple	68%
9	0,269	0,007	Cumple	74%
8	0,239	0,008	Cumple	80%
7	0,207	0,009	Cumple	86%
6	0,173	0,009	Cumple	92%
5	0,136	0,009	Cumple	89%
4	0,100	0,009	Cumple	86%
3	0,065	0,007	Cumple	74%
2	0,036	0,006	Cumple	60%
1	0,012	0,003	Cumple	30%

B.2.3 Análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso

Cuadro 107. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M4X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,190	0,011	No cumple	112%
3	0,145	0,012	No cumple	121%
2	0,097	0,012	No cumple	124%
1	0,047	0,012	No cumple	118%

Cuadro 108. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M4Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,204	0,012	No cumple	119%
3	0,156	0,013	No cumple	132%
2	0,103	0,014	No cumple	135%
1	0,049	0,012	No cumple	124%

Cuadro 109. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M6X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,229	0,008	Cumple	80%
5	0,197	0,009	Cumple	90%
4	0,161	0,010	Cumple	100%
3	0,121	0,011	No cumple	105%
2	0,079	0,010	No cumple	103%
1	0,037	0,009	Cumple	94%

Cuadro 110. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M6Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,222	0,007	Cumple	72%
5	0,193	0,009	Cumple	85%
4	0,159	0,010	Cumple	97%
3	0,121	0,010	No cumple	105%
2	0,079	0,010	No cumple	104%
1	0,037	0,009	Cumple	93%

Cuadro 111. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M8X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,343	0,009	Cumple	88%
7	0,308	0,010	Cumple	97%
6	0,269	0,011	No cumple	106%
5	0,227	0,011	No cumple	113%
4	0,182	0,012	No cumple	118%
3	0,134	0,012	No cumple	119%
2	0,087	0,012	No cumple	115%
1	0,041	0,010	No cumple	102%

Cuadro 112. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M8Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,338	0,008	Cumple	82%
7	0,305	0,009	Cumple	92%
6	0,268	0,010	No cumple	103%
5	0,227	0,011	No cumple	113%
4	0,182	0,012	No cumple	118%
3	0,135	0,012	No cumple	120%
2	0,087	0,012	No cumple	116%
1	0,041	0,010	No cumple	102%

Cuadro 113. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M10X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,558	0,011	No cumple	109%
9	0,515	0,012	No cumple	118%
8	0,468	0,013	No cumple	129%
7	0,416	0,014	No cumple	139%
6	0,360	0,015	No cumple	148%
5	0,301	0,015	No cumple	155%
4	0,239	0,016	No cumple	157%
3	0,177	0,016	No cumple	156%
2	0,114	0,015	No cumple	151%
1	0,054	0,014	No cumple	135%

Cuadro 114. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M10Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,547	0,010	No cumple	101%
9	0,507	0,011	No cumple	112%
8	0,462	0,012	No cumple	125%
7	0,412	0,014	No cumple	137%
6	0,357	0,015	No cumple	148%
5	0,298	0,016	No cumple	155%
4	0,236	0,016	No cumple	157%
3	0,173	0,016	No cumple	155%
2	0,111	0,015	No cumple	148%
1	0,052	0,013	No cumple	130%

Cuadro 115. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M12X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,584	0,009	Cumple	89%
11	0,548	0,010	Cumple	98%
10	0,509	0,011	No cumple	107%
9	0,466	0,012	No cumple	116%
8	0,420	0,013	No cumple	125%
7	0,370	0,013	No cumple	132%
6	0,317	0,014	No cumple	137%
5	0,262	0,014	No cumple	140%
4	0,206	0,014	No cumple	139%
3	0,151	0,014	No cumple	136%
2	0,096	0,013	No cumple	129%
1	0,045	0,011	No cumple	111%

Cuadro 116. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso M12Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,576	0,008	Cumple	85%
11	0,543	0,009	Cumple	94%
10	0,505	0,010	No cumple	104%
9	0,463	0,011	No cumple	115%
8	0,418	0,012	No cumple	125%
7	0,368	0,013	No cumple	133%
6	0,314	0,014	No cumple	139%
5	0,259	0,014	No cumple	141%
4	0,202	0,014	No cumple	140%
3	0,147	0,013	No cumple	135%
2	0,093	0,013	No cumple	127%
1	0,042	0,011	No cumple	105%

B.3 Cálculo del punto de desempeño

Cuadro 117. Cálculo de constantes para punto de desempeño en el sistema de muros

M	Dirección X			Dirección Y		
	Λ	η	φN	Λ	η	φN
4	0,0010	33,583	0,040	0,0010	31,780	0,042
6	0,0007	41,122	0,033	0,0007	38,780	0,035
8	0,0005	46,464	0,030	0,0005	42,726	0,032
10	0,0004	50,126	0,028	0,0004	43,718	0,031
12	0,0003	55,125	0,025	0,0003	48,191	0,029

Cuadro 118. Cálculo del punto de desempeño M4X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,013	807	968	0,955	0,009
PAx	2	0,025	1614	1937	1,910	0,019
PAx	3	0,032	2065	2478	2,443	0,024
PAx	4	0,033	2127	2552	2,517	0,025
PAx	5	0,046	2577	3092	3,049	0,034
PAx	6	0,058	2993	3592	3,542	0,044
PAx	7	0,072	3420	4103	4,046	0,054
PAx	8	0,086	3687	4424	4,363	0,065
PAx	9	0,099	3881	4657	4,592	0,075
PAx	10	0,112	4057	4868	4,800	0,084
PAx	11	0,125	4220	5065	4,994	0,095
PAx	12	0,138	4345	5214	5,142	0,104
PAx	13	0,157	4501	5401	5,326	0,118
PAx	14	0,169	4591	5510	5,433	0,128
PAx	15	0,190	4722	5667	5,588	0,143

Cuadro 119. Cálculo del punto de desempeño M4Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,013	664	796	0,780	0,009
PAy	2	0,025	1327	1593	1,559	0,019
PAy	3	0,036	1889	2267	2,219	0,027
PAy	4	0,049	2595	3114	3,049	0,037
PAy	5	0,062	3011	3613	3,538	0,047
PAy	6	0,076	3397	4076	3,990	0,057
PAy	7	0,089	3664	4397	4,305	0,067
PAy	8	0,102	3852	4622	4,525	0,077
PAy	9	0,126	4114	4937	4,834	0,095
PAy	10	0,145	4266	5119	5,011	0,110
PAy	11	0,157	4350	5220	5,110	0,119
PAy	12	0,170	4429	5315	5,203	0,129
PAy	13	0,189	4541	5450	5,335	0,143
PAy	14	0,204	4629	5555	5,438	0,154

Cuadro 120. Cálculo del punto de desempeño M6X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,007	353	423	0,280	0,006
PAx	2	0,015	705	847	0,559	0,011
PAx	3	0,022	1058	1270	0,839	0,017
PAx	4	0,030	1411	1693	1,118	0,022
PAx	5	0,037	1764	2116	1,398	0,028
PAx	6	0,039	1815	2178	1,439	0,028
PAx	7	0,046	2176	2611	1,724	0,034
PAx	8	0,055	2557	3068	2,026	0,040
PAx	9	0,062	2791	3349	2,212	0,046
PAx	10	0,071	3056	3667	2,422	0,053
PAx	11	0,079	3275	3930	2,595	0,058
PAx	12	0,087	3485	4182	2,762	0,064
PAx	13	0,096	3706	4447	2,937	0,070
PAx	14	0,104	3896	4675	3,088	0,076
PAx	15	0,113	4094	4912	3,244	0,083
PAx	16	0,121	4240	5088	3,360	0,089
PAx	17	0,133	4431	5317	3,512	0,098
PAx	18	0,142	4576	5491	3,627	0,104
PAx	19	0,151	4712	5655	3,735	0,111
PAx	20	0,159	4825	5790	3,824	0,117
PAx	21	0,169	4946	5935	3,920	0,124
PAx	22	0,179	5081	6097	4,027	0,132
PAx	23	0,189	5202	6243	4,123	0,139
PAx	24	0,200	5334	6400	4,227	0,147
PAx	25	0,210	5452	6543	4,321	0,155
PAx	26	0,221	5573	6687	4,417	0,162
PAx	27	0,229	5655	6786	4,482	0,168

Cuadro 121. Cálculo del punto de desempeño M6Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,007	301	361	0,237	0,006
PAy	2	0,015	602	723	0,474	0,011
PAy	3	0,022	904	1084	0,711	0,017
PAy	4	0,030	1205	1446	0,948	0,022
PAy	5	0,037	1506	1807	1,185	0,028
PAy	6	0,042	1683	2020	1,324	0,031
PAy	7	0,050	1986	2384	1,562	0,037
PAy	8	0,057	2282	2738	1,795	0,042
PAy	9	0,065	2516	3019	1,979	0,048
PAy	10	0,073	2718	3262	2,138	0,054
PAy	11	0,080	2923	3507	2,299	0,059
PAy	12	0,088	3121	3745	2,455	0,065
PAy	13	0,097	3331	3997	2,620	0,071
PAy	14	0,106	3550	4260	2,792	0,078
PAy	15	0,114	3727	4472	2,931	0,084
PAy	16	0,122	3896	4675	3,064	0,090
PAy	17	0,134	4084	4901	3,212	0,099
PAy	18	0,142	4204	5045	3,307	0,105
PAy	19	0,150	4336	5203	3,411	0,111
PAy	20	0,160	4489	5386	3,530	0,118
PAy	21	0,171	4638	5565	3,648	0,126
PAy	22	0,181	4774	5729	3,755	0,134
PAy	23	0,192	4914	5897	3,865	0,142
PAy	24	0,201	5035	6042	3,960	0,149
PAy	25	0,215	5186	6223	4,079	0,159
PAy	26	0,222	5269	6323	4,145	0,164

Cuadro 122. Cálculo del punto de desempeño M8X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,020	838	1006	0,498	0,014
PAx	2	0,040	1677	2012	0,997	0,029
PAx	3	0,051	2149	2579	1,278	0,037
PAx	4	0,072	2929	3515	1,741	0,052
PAx	5	0,093	3461	4154	2,058	0,067
PAx	6	0,115	3958	4750	2,353	0,083
PAx	7	0,138	4442	5330	2,641	0,100
PAx	8	0,160	4886	5863	2,904	0,116
PAx	9	0,181	5275	6330	3,136	0,131
PAx	10	0,203	5616	6739	3,338	0,147
PAx	11	0,224	5891	7069	3,502	0,162
PAx	12	0,247	6173	7407	3,669	0,179
PAx	13	0,270	6440	7728	3,828	0,196
PAx	14	0,303	6815	8178	4,051	0,220
PAx	15	0,323	7039	8447	4,185	0,234

Cuadro 123. Cálculo del punto de desempeño M8Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,020	724	869	0,429	0,015
PAy	2	0,040	1448	1738	0,858	0,029
PAy	3	0,060	2172	2607	1,287	0,044
PAy	4	0,061	2210	2652	1,310	0,044
PAy	5	0,082	2872	3446	1,702	0,060
PAy	6	0,104	3395	4074	2,012	0,076
PAy	7	0,129	3929	4715	2,328	0,094
PAy	8	0,150	4373	5247	2,591	0,109
PAy	9	0,171	4781	5737	2,833	0,125
PAy	10	0,194	5185	6222	3,072	0,141
PAy	11	0,216	5518	6622	3,270	0,157
PAy	12	0,240	5826	6991	3,452	0,174
PAy	13	0,260	6078	7294	3,601	0,189
PAy	14	0,287	6418	7702	3,803	0,209
PAy	15	0,308	6673	8008	3,954	0,224
PAy	16	0,338	7016	8419	4,157	0,245

Cuadro 124. Cálculo del punto de desempeño M10X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,020	665	797	0,314	0,014
PAx	2	0,040	1329	1595	0,628	0,029
PAx	3	0,060	1994	2392	0,942	0,043
PAx	4	0,066	2184	2620	1,031	0,047
PAx	5	0,087	2851	3421	1,347	0,063
PAx	6	0,108	3293	3952	1,556	0,078
PAx	7	0,129	3700	4440	1,748	0,093
PAx	8	0,149	4051	4862	1,914	0,108
PAx	9	0,173	4442	5330	2,098	0,125
PAx	10	0,195	4774	5729	2,255	0,141
PAx	11	0,218	5110	6133	2,414	0,157
PAx	12	0,240	5432	6519	2,566	0,174
PAx	13	0,263	5745	6894	2,714	0,190
PAx	14	0,284	6026	7232	2,847	0,205
PAx	15	0,305	6277	7532	2,965	0,220
PAx	16	0,326	6499	7799	3,070	0,236
PAx	17	0,358	6828	8193	3,225	0,259
PAx	18	0,378	7029	8435	3,320	0,273
PAx	19	0,398	7229	8675	3,415	0,288
PAx	20	0,418	7427	8912	3,508	0,302
PAx	21	0,438	7617	9141	3,598	0,317
PAx	22	0,458	7805	9366	3,687	0,331
PAx	23	0,478	7989	9587	3,774	0,346
PAx	24	0,498	8173	9807	3,860	0,360
PAx	25	0,518	8353	10024	3,946	0,375
PAx	26	0,538	8527	10232	4,028	0,389
PAx	27	0,558	8695	10434	4,107	0,403

Cuadro 125. Cálculo del punto de desempeño M10Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,020	589	707	0,277	0,015
PAy	2	0,040	1178	1414	0,553	0,029
PAy	3	0,060	1767	2121	0,830	0,044
PAy	4	0,078	2286	2743	1,073	0,057
PAy	5	0,098	2860	3433	1,343	0,071
PAy	6	0,119	3339	4006	1,567	0,087
PAy	7	0,141	3757	4508	1,763	0,102
PAy	8	0,163	4155	4986	1,950	0,119
PAy	9	0,187	4549	5459	2,135	0,136
PAy	10	0,209	4907	5888	2,303	0,152
PAy	11	0,233	5272	6327	2,475	0,170
PAy	12	0,258	5646	6775	2,650	0,188
PAy	13	0,283	6001	7201	2,817	0,206
PAy	14	0,305	6312	7574	2,963	0,222
PAy	15	0,332	6635	7963	3,115	0,242
PAy	16	0,353	6872	8246	3,225	0,257
PAy	17	0,387	7253	8703	3,404	0,282
PAy	18	0,407	7466	8959	3,504	0,297
PAy	19	0,427	7676	9211	3,603	0,311
PAy	20	0,447	7884	9461	3,701	0,326
PAy	21	0,467	8087	9705	3,796	0,340
PAy	22	0,487	8287	9944	3,890	0,355
PAy	23	0,507	8480	10176	3,980	0,369
PAy	24	0,527	8666	10399	4,068	0,384
PAy	25	0,547	8847	10617	4,153	0,399

Cuadro 126. Cálculo del punto de desempeño M12X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,020	565	678	0,220	0,014
PAx	2	0,040	1130	1357	0,441	0,029
PAx	3	0,060	1696	2035	0,661	0,043
PAx	4	0,080	2261	2713	0,882	0,058
PAx	5	0,088	2493	2991	0,972	0,064
PAx	6	0,109	3068	3681	1,196	0,079
PAx	7	0,130	3545	4254	1,382	0,094
PAx	8	0,152	3946	4735	1,539	0,110
PAx	9	0,174	4333	5200	1,690	0,126
PAx	10	0,197	4703	5644	1,834	0,143
PAx	11	0,218	4998	5998	1,949	0,157
PAx	12	0,238	5280	6336	2,059	0,172
PAx	13	0,262	5583	6699	2,177	0,189
PAx	14	0,283	5855	7026	2,283	0,205
PAx	15	0,306	6130	7355	2,390	0,221
PAx	16	0,327	6375	7650	2,486	0,236
PAx	17	0,348	6613	7936	2,579	0,251
PAx	18	0,368	6829	8194	2,663	0,266
PAx	19	0,391	7045	8454	2,747	0,283
PAx	20	0,429	7395	8873	2,883	0,310
PAx	21	0,449	7576	9092	2,954	0,325
PAx	22	0,472	7782	9339	3,034	0,341
PAx	23	0,499	8024	9629	3,129	0,361
PAx	24	0,524	8241	9890	3,213	0,379
PAx	25	0,544	8417	10100	3,282	0,393
PAx	26	0,564	8591	10309	3,350	0,407
PAx	27	0,584	8764	10517	3,417	0,422

Cuadro 127. Cálculo del punto de desempeño M12Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,020	510	612	0,198	0,015
PAy	2	0,040	1020	1224	0,395	0,029
PAy	3	0,060	1530	1836	0,593	0,044
PAy	4	0,080	2040	2448	0,790	0,058
PAy	5	0,088	2255	2707	0,874	0,064
PAy	6	0,113	2869	3442	1,111	0,083
PAy	7	0,135	3371	4046	1,306	0,099
PAy	8	0,158	3783	4539	1,465	0,115
PAy	9	0,178	4107	4928	1,591	0,130
PAy	10	0,198	4416	5299	1,711	0,144
PAy	11	0,220	4734	5681	1,834	0,160
PAy	12	0,241	5034	6041	1,950	0,176
PAy	13	0,262	5324	6389	2,062	0,191
PAy	14	0,283	5616	6739	2,175	0,206
PAy	15	0,305	5900	7080	2,285	0,222
PAy	16	0,331	6242	7491	2,418	0,241
PAy	17	0,351	6505	7806	2,520	0,255
PAy	18	0,374	6804	8165	2,636	0,272
PAy	19	0,394	7044	8452	2,729	0,287
PAy	20	0,421	7332	8799	2,840	0,307
PAy	21	0,456	7702	9243	2,984	0,332
PAy	22	0,476	7911	9493	3,065	0,347
PAy	23	0,496	8117	9740	3,144	0,361
PAy	24	0,516	8319	9983	3,223	0,376
PAy	25	0,536	8517	10220	3,299	0,390
PAy	26	0,556	8713	10455	3,375	0,405
PAy	27	0,576	8904	10685	3,449	0,420

Apéndice C: Cálculos para modelos tipo dual convencional

C.1 Propiedades obtenidas de Xtract

Cuadro 128. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para columnas del modelo del sistema estructural tipo dual extraídas de Xtract

	SR	1,2μ	μ	M_y [m ton]	ϕ	IO 5%μ	LS 75%μ	CP 95%μ
CD4-1	1,001	17,760	14,800	121,900	0,001	0,740	11,100	14,060
CD4-2	0,951	19,884	16,570	90,300	0,002	0,829	12,428	15,742
CD6-1	0,973	15,120	12,600	211,700	0,002	0,630	9,450	11,970
CD6-2	0,940	19,848	16,540	149,400	0,001	0,827	12,405	15,713
CD6-3	0,903	20,844	17,370	142,000	0,002	0,869	13,028	16,502
CD8-1	0,964	11,570	9,642	322,400	0,002	0,482	7,232	9,160
CD8-2	0,874	18,720	15,600	175,200	0,001	0,780	11,700	14,820
CD8-3	0,952	20,280	16,900	173,600	0,002	0,845	12,675	16,055
CD8-4	0,993	21,816	18,180	159,500	0,002	0,909	13,635	17,271
CD10-1	1,107	12,492	10,410	476,600	0,002	0,521	7,808	9,890
CD10-2	0,987	16,392	13,660	295,800	0,002	0,683	10,245	12,977
CD10-3	0,870	15,900	15,750	245,000	0,002	0,788	11,813	14,963
CD10-4	0,925	18,060	12,700	219,600	0,002	0,635	9,525	12,065
CD10-5	1,063	24,084	20,070	196,800	0,002	1,004	15,053	19,067
CD12-1	0,952	5,839	5,556	521,000	0,002	0,278	4,167	5,278
CD12-2	1,005	12,564	10,470	538,000	0,002	0,524	7,853	9,947
CD12-3	0,983	17,916	14,930	334,500	0,002	0,747	11,198	14,184
CD12-4	0,957	19,632	16,360	266,300	0,002	0,818	12,270	15,542
CD12-5	1,002	21,984	18,320	243,000	0,002	0,916	13,740	17,404
CD12-6	1,027	23,724	19,770	222,800	0,002	0,989	14,828	18,782

Cuadro 129. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para muros del modelo del sistema estructural tipo dual extraídas de Xtract

	SR	1,2μ	μ	M_y [m ton]	φ	IO 5%μ	LS 75%μ	CP 95%μ
MD4X	0,918	14,172	11,810	6115,000	0,002	0,591	8,858	11,220
MD4Y	1,009	14,772	12,310	6229,000	0,002	0,616	9,233	11,695
MD6X	1,055	20,112	16,760	8533,000	0,002	0,838	12,570	15,922
MD6Y	0,883	12,372	10,310	6620,000	0,002	0,516	7,733	9,795
MD8X	0,915	13,884	11,570	10920,000	0,002	0,579	8,678	10,992
MD8Y	0,944	14,448	12,040	9234,000	0,002	0,602	9,030	11,438
MD10X	0,605	9,728	8,107	12500,000	0,002	0,405	6,080	7,702
MD10Y	0,690	9,793	8,161	12110,000	0,002	0,408	6,121	7,753
MD12X	0,750	10,807	9,006	16390,000	0,002	0,450	6,755	8,556
MD12Y	1,141	19,740	16,450	15640,000	0,002	0,823	12,338	15,628

Cuadro 130. Propiedades obtenidas del diagrama momento-curvatura para vigas del modelo del sistema tipo dual extraídas de Xtract

	SR	1,2μ	μ	M_y [m ton]	φ	IO 5%μ	LS 75%μ	CP 95%μ
VD4-85ext+	1,249	32,772	27,310	73,330	0,002	1,366	20,483	25,945
VD4-85ext-	-1,224	40,788	33,990	39,930	0,002	1,700	25,493	32,291
VD4-85int+	1,233	38,760	32,300	58,690	0,002	1,615	24,225	30,685
VD4-85int-	-1,237	39,384	32,820	40,110	0,002	1,641	24,615	31,179
VD4-75+	1,202	41,712	34,760	55,670	0,002	1,738	26,070	33,022
VD4-75-	-1,221	40,116	33,430	34,060	0,002	1,672	25,073	31,759
VD6-85ext+	1,230	38,820	32,350	83,240	0,002	1,618	24,263	30,733

VD6-85ext-	-1,252	39,660	33,050	40,260	0,002	1,653	24,788	31,398
VD6-85int+	1,239	39,444	32,870	66,110	0,002	1,644	24,653	31,227
VD6-85int-	-1,252	39,408	32,840	40,280	0,002	1,642	24,630	31,198
VD6-75ext+	1,227	40,776	33,980	67,360	0,002	1,699	25,485	32,281
VD6-75ext-	-1,244	39,660	33,050	34,780	0,002	1,653	24,788	31,398
VD6-75int+	1,244	39,396	32,830	45,950	0,002	1,642	24,623	31,189
VD6-75int-	-1,232	39,264	32,720	34,960	0,002	1,636	24,540	31,084
VD8-85ext+	1,239	39,444	32,870	66,110	0,002	1,644	24,653	31,227
VD8-85ext-	-1,252	39,408	32,840	40,280	0,002	1,642	24,630	31,198
VD8-85int+	1,239	39,444	32,870	66,110	0,002	1,644	24,653	31,227
VD8-85int-	-1,252	39,408	32,840	40,280	0,002	1,642	24,630	31,198
VD8-75ext+	1,250	37,776	31,480	66,700	0,002	1,574	23,610	29,906
VD8-75ext-	-1,263	38,844	32,370	45,600	0,002	1,619	24,278	30,752
VD8-75int+	1,250	37,776	31,480	66,700	0,002	1,574	23,610	29,906
VD8-75int-	-1,263	38,844	32,370	45,600	0,002	1,619	24,278	30,752
VD10-85ext+	1,239	39,444	32,870	66,110	0,002	1,644	24,653	31,227

VD10-85ext-	-1,252	39,408	32,840	40,280	0,002	1,642	24,630	31,198
VD10-85int+	1,239	39,444	32,870	66,110	0,002	1,644	24,653	31,227
VD10-85int-	-1,252	39,408	32,840	40,280	0,002	1,642	24,630	31,198
VD10-75ext+	1,202	41,712	34,760	55,670	0,002	1,738	26,070	33,022
VD10-75ext-	-1,221	40,116	33,430	34,060	0,002	1,672	25,073	31,759
VD10-75int+	1,202	41,712	34,760	55,670	0,002	1,738	26,070	33,022
VD10-75int-	-1,221	40,116	33,430	34,060	0,002	1,672	25,073	31,759
VD12-85ext+	1,214	41,100	34,250	76,310	0,002	1,713	25,688	32,538
VD12-85ext-	-1,224	39,852	33,210	39,630	0,002	1,661	24,908	31,550
VD12-85int+	1,214	41,100	34,250	76,310	0,002	1,713	25,688	32,538
VD12-85int-	-1,224	39,852	33,210	39,630	0,002	1,661	24,908	31,550
VD12-75ext+	1,216	40,284	33,570	55,280	0,002	1,679	25,178	31,892
VD12-75ext-	-1,220	39,948	33,290	34,260	0,002	1,665	24,968	31,626
VD12-75int+	1,216	40,284	33,570	55,280	0,002	1,679	25,178	31,892
VD12-75int-	-1,220	39,948	33,290	34,260	0,002	1,665	24,968	31,626

C.2 Cálculo de derivas inelásticas

C.2.1 Análisis pseudo dinámico

Cuadro 131. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D4X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,027	0,002	0,007	Cumple	70%
3	0,020	0,002	0,008	Cumple	80%
2	0,012	0,002	0,008	Cumple	76%
1	0,005	0,001	0,005	Cumple	46%

Cuadro 132. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D4Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,0333	0,002	0,008	Cumple	81%
3	0,0252	0,002	0,010	Cumple	97%
2	0,0155	0,002	0,010	Cumple	95%
1	0,006	0,002	0,006	Cumple	60%

Cuadro 133. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D6X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,036	0,001	0,005	Cumple	53%
5	0,031	0,002	0,006	Cumple	63%
4	0,024	0,002	0,007	Cumple	70%
3	0,017	0,002	0,007	Cumple	73%
2	0,010	0,002	0,006	Cumple	63%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	38%

Cuadro 134. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D6Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,040	0,001	0,005	Cumple	54%
5	0,035	0,002	0,007	Cumple	67%
4	0,028	0,002	0,008	Cumple	77%
3	0,020	0,002	0,008	Cumple	82%
2	0,012	0,002	0,008	Cumple	75%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	44%

Cuadro 135. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D8X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,044	0,001	0,005	Cumple	45%
7	0,040	0,001	0,005	Cumple	53%
6	0,034	0,002	0,006	Cumple	60%
5	0,028	0,002	0,006	Cumple	64%
4	0,022	0,002	0,007	Cumple	67%
3	0,015	0,002	0,007	Cumple	65%
2	0,009	0,001	0,006	Cumple	55%
1	0,003	0,001	0,003	Cumple	33%

Cuadro 136. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D8Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,050	0,001	0,005	Cumple	48%
7	0,045	0,001	0,006	Cumple	59%
6	0,039	0,002	0,007	Cumple	66%
5	0,033	0,002	0,007	Cumple	72%
4	0,026	0,002	0,008	Cumple	77%
3	0,018	0,002	0,008	Cumple	75%
2	0,010	0,002	0,007	Cumple	65%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	39%

Cuadro 137. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D10X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,057	0,001	0,004	Cumple	42%
9	0,053	0,001	0,005	Cumple	50%
8	0,048	0,001	0,006	Cumple	56%
7	0,042	0,002	0,006	Cumple	62%
6	0,036	0,002	0,007	Cumple	67%
5	0,030	0,002	0,007	Cumple	71%
4	0,022	0,002	0,007	Cumple	70%
3	0,015	0,002	0,007	Cumple	67%
2	0,009	0,001	0,006	Cumple	55%
1	0,003	0,001	0,003	Cumple	32%

Cuadro 138. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D10Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,067	0,001	0,005	Cumple	45%
9	0,063	0,001	0,006	Cumple	55%
8	0,057	0,002	0,006	Cumple	63%
7	0,051	0,002	0,007	Cumple	73%
6	0,044	0,002	0,008	Cumple	79%
5	0,036	0,002	0,008	Cumple	84%
4	0,027	0,002	0,009	Cumple	85%
3	0,019	0,002	0,008	Cumple	81%
2	0,011	0,002	0,007	Cumple	69%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	39%

Cuadro 139. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D12X

SX	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,068	0,001	0,004	Cumple	39%
11	0,064	0,001	0,004	Cumple	45%
10	0,060	0,001	0,005	Cumple	52%
9	0,055	0,001	0,006	Cumple	56%
8	0,049	0,002	0,006	Cumple	62%
7	0,043	0,002	0,007	Cumple	67%
6	0,036	0,002	0,007	Cumple	69%
5	0,029	0,002	0,007	Cumple	72%
4	0,022	0,002	0,007	Cumple	70%
3	0,015	0,002	0,007	Cumple	65%
2	0,008	0,001	0,005	Cumple	53%
1	0,003	0,001	0,003	Cumple	31%

Cuadro 140. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis pseudo dinámico D12Y

SY	Desplazamiento [m]	Δ/h	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,079	0,001	0,004	Cumple	42%
11	0,075	0,001	0,005	Cumple	50%
10	0,070	0,001	0,006	Cumple	57%
9	0,064	0,002	0,006	Cumple	64%
8	0,058	0,002	0,007	Cumple	71%
7	0,051	0,002	0,008	Cumple	78%
6	0,043	0,002	0,008	Cumple	81%
5	0,035	0,002	0,009	Cumple	85%
4	0,026	0,002	0,008	Cumple	83%
3	0,018	0,002	0,008	Cumple	78%
2	0,010	0,002	0,007	Cumple	65%
1	0,004	0,001	0,004	Cumple	37%

C.2.2 Análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño

Cuadro 141. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D4X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,100	0,007	Cumple	67%
3	0,073	0,007	Cumple	74%
2	0,043	0,007	Cumple	68%
1	0,016	0,004	Cumple	39%

Cuadro 142. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D4Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,119	0,008	Cumple	77%
3	0,088	0,009	Cumple	89%
2	0,053	0,008	Cumple	83%
1	0,019	0,005	Cumple	48%

Cuadro 143. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D6X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,150	0,006	Cumple	59%
5	0,126	0,007	Cumple	69%
4	0,099	0,008	Cumple	76%
3	0,068	0,007	Cumple	74%
2	0,039	0,006	Cumple	63%
1	0,014	0,003	Cumple	34%

Cuadro 144. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D6Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,162	0,006	Cumple	60%
5	0,138	0,007	Cumple	73%
4	0,109	0,008	Cumple	81%
3	0,076	0,008	Cumple	83%
2	0,043	0,007	Cumple	70%
1	0,015	0,004	Cumple	38%

Cuadro 145. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D8X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,186	0,005	Cumple	52%
7	0,166	0,006	Cumple	60%
6	0,142	0,007	Cumple	66%
5	0,115	0,007	Cumple	71%
4	0,087	0,007	Cumple	71%
3	0,059	0,007	Cumple	66%
2	0,033	0,005	Cumple	53%
1	0,011	0,003	Cumple	28%

Cuadro 146. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D8Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,206	0,006	Cumple	56%
7	0,184	0,006	Cumple	64%
6	0,158	0,007	Cumple	74%
5	0,129	0,008	Cumple	77%
4	0,098	0,008	Cumple	80%
3	0,066	0,007	Cumple	74%
2	0,037	0,006	Cumple	59%
1	0,013	0,003	Cumple	32%

Cuadro 147. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D10X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,263	0,005	Cumple	55%
9	0,241	0,006	Cumple	60%
8	0,217	0,007	Cumple	69%
7	0,190	0,008	Cumple	76%
6	0,159	0,008	Cumple	81%
5	0,127	0,008	Cumple	81%
4	0,094	0,008	Cumple	79%
3	0,063	0,007	Cumple	71%
2	0,034	0,006	Cumple	57%
1	0,011	0,003	Cumple	29%

Cuadro 148. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D10Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,302	0,006	Cumple	58%
9	0,279	0,007	Cumple	67%
8	0,252	0,008	Cumple	77%
7	0,221	0,009	Cumple	87%
6	0,187	0,009	Cumple	91%
5	0,150	0,010	Cumple	96%
4	0,112	0,009	Cumple	94%
3	0,074	0,008	Cumple	84%
2	0,040	0,007	Cumple	67%
1	0,013	0,003	Cumple	34%

Cuadro 149. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D12X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,332	0,005	Cumple	53%
11	0,311	0,006	Cumple	60%
10	0,287	0,007	Cumple	66%
9	0,261	0,008	Cumple	76%
8	0,230	0,008	Cumple	79%
7	0,198	0,009	Cumple	86%
6	0,164	0,009	Cumple	86%
5	0,130	0,009	Cumple	86%
4	0,095	0,008	Cumple	83%
3	0,062	0,007	Cumple	73%
2	0,033	0,005	Cumple	53%
1	0,012	0,003	Cumple	30%

Cuadro 150. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de desempeño D12Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,323	0,005	Cumple	48%
11	0,304	0,005	Cumple	54%
10	0,282	0,007	Cumple	65%
9	0,256	0,007	Cumple	71%
8	0,228	0,008	Cumple	76%
7	0,197	0,008	Cumple	82%
6	0,164	0,009	Cumple	88%
5	0,129	0,008	Cumple	85%
4	0,095	0,008	Cumple	82%
3	0,062	0,007	Cumple	71%
2	0,034	0,006	Cumple	57%
1	0,011	0,003	Cumple	28%

C.2.2 Análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso

Cuadro 151. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D4X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,308	0,018	No cumple	183%
3	0,235	0,019	No cumple	194%
2	0,157	0,020	No cumple	198%
1	0,078	0,019	No cumple	194%

Cuadro 152. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D4Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
4	0,341	0,020	No cumple	200%
3	0,261	0,022	No cumple	217%
2	0,174	0,022	No cumple	222%
1	0,086	0,021	No cumple	214%

Cuadro 153. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D6X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,419	0,015	No cumple	152%
5	0,358	0,017	No cumple	166%
4	0,292	0,018	No cumple	179%
3	0,220	0,019	No cumple	188%
2	0,145	0,019	No cumple	185%
1	0,071	0,018	No cumple	177%

Cuadro 154. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D6Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
6	0,396	0,013	No cumple	128%
5	0,345	0,015	No cumple	147%
4	0,286	0,017	No cumple	170%
3	0,218	0,018	No cumple	184%
2	0,144	0,018	No cumple	184%
1	0,071	0,018	No cumple	177%

Cuadro 155. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D8X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,517	0,014	No cumple	136%
7	0,462	0,015	No cumple	147%
6	0,403	0,016	No cumple	158%
5	0,340	0,017	No cumple	169%
4	0,273	0,017	No cumple	175%
3	0,203	0,018	No cumple	177%
2	0,132	0,017	No cumple	171%
1	0,064	0,016	No cumple	159%

Cuadro 156. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D8Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
8	0,450	0,011	No cumple	112%
7	0,406	0,012	No cumple	124%
6	0,356	0,014	No cumple	137%
5	0,301	0,015	No cumple	150%
4	0,241	0,016	No cumple	157%
3	0,179	0,016	No cumple	158%
2	0,115	0,015	No cumple	151%
1	0,055	0,014	No cumple	138%

Cuadro 157. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D10X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,596	0,012	No cumple	118%
9	0,549	0,013	No cumple	128%
8	0,497	0,014	No cumple	139%
7	0,442	0,015	No cumple	149%
6	0,382	0,016	No cumple	158%
5	0,319	0,016	No cumple	164%
4	0,253	0,017	No cumple	167%
3	0,187	0,017	No cumple	165%
2	0,121	0,016	No cumple	160%
1	0,057	0,014	No cumple	142%

Cuadro 158. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D10Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
10	0,567	0,011	No cumple	107%
9	0,524	0,012	No cumple	118%
8	0,477	0,013	No cumple	130%
7	0,425	0,014	No cumple	143%
6	0,367	0,015	No cumple	153%
5	0,306	0,016	No cumple	160%
4	0,242	0,016	No cumple	162%
3	0,177	0,016	No cumple	160%
2	0,114	0,015	No cumple	152%
1	0,053	0,013	No cumple	132%

Cuadro 159. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D12X

SX	Desplazamiento [m]	Deriva x	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,593	0,009	Cumple	90%
11	0,557	0,010	Cumple	100%
10	0,517	0,011	No cumple	108%
9	0,474	0,012	No cumple	118%
8	0,427	0,013	No cumple	127%
7	0,376	0,013	No cumple	134%
6	0,322	0,014	No cumple	140%
5	0,267	0,014	No cumple	142%
4	0,210	0,014	No cumple	142%
3	0,153	0,014	No cumple	138%
2	0,098	0,013	No cumple	132%
1	0,045	0,011	No cumple	113%

Cuadro 160. Cálculos para deriva inelástica obtenido de análisis de capacidad espectral en el punto de prevención de colapso D12Y

SY	Desplazamiento [m]	Deriva y	Revisión CSCR-10	Deriva/límite
12	0,611	0,009	Cumple	90%
11	0,575	0,010	Cumple	100%
10	0,535	0,011	No cumple	110%
9	0,491	0,012	No cumple	121%
8	0,442	0,013	No cumple	132%
7	0,389	0,014	No cumple	141%
6	0,333	0,015	No cumple	146%
5	0,275	0,015	No cumple	149%
4	0,215	0,015	No cumple	148%
3	0,156	0,014	No cumple	143%
2	0,099	0,013	No cumple	134%
1	0,045	0,011	No cumple	113%

C.3 Cálculo del punto de desempeño

Cuadro 161. Cálculo de constantes para punto de desempeño en el sistema estructural tipo dual

M	Dirección X			Dirección Y		
	Λ	η	φN	Λ	η	φN
4	0,0010	31,678	0,042	0,0010	28,628	0,046
6	0,0007	41,122	0,033	0,0007	38,780	0,035
8	0,0005	46,464	0,030	0,0005	42,726	0,032
10	0,0004	50,126	0,028	0,0004	43,718	0,031
12	0,0003	55,125	0,025	0,0003	48,191	0,029

Cuadro 162. Cálculo del punto de desempeño D4X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,025	1614	1937	1,908	0,019
PAx	2	0,032	2070	2484	2,447	0,024
PAx	3	0,033	2127	2552	2,514	0,025
PAx	4	0,059	3018	3622	3,568	0,044
PAx	5	0,081	3628	4353	4,289	0,061
PAx	6	0,107	3999	4798	4,727	0,080
PAx	7	0,144	4410	5292	5,213	0,109
PAx	8	0,182	4698	5638	5,554	0,137
PAx	9	0,207	4857	5828	5,742	0,156
PAx	10	0,232	5004	6004	5,915	0,175
PAx	11	0,268	5208	6249	6,157	0,202
PAx	12	0,293	5344	6413	6,318	0,221
PAx	13	0,307	5424	6509	6,413	0,232

Cuadro 163. Cálculo del punto de desempeño D4Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,025	1327	1593	1,558	0,019
PAy	2	0,035	1870	2245	2,196	0,027
PAy	3	0,049	2577	3093	3,026	0,037
PAy	4	0,074	3358	4029	3,942	0,056
PAy	5	0,111	3977	4773	4,670	0,084
PAy	6	0,136	4213	5055	4,946	0,103
PAy	7	0,173	4482	5378	5,262	0,131
PAy	8	0,198	4632	5558	5,439	0,150
PAy	9	0,223	4775	5731	5,607	0,169
PAy	10	0,251	4931	5917	5,790	0,190
PAy	11	0,283	5100	6119	5,988	0,214
PAy	12	0,308	5230	6276	6,141	0,233
PAy	13	0,341	5395	6475	6,335	0,258

Cuadro 164. Cálculo del punto de desempeño D6X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,007	353	423	0,280	0,006
PAx	2	0,015	705	847	0,559	0,011
PAx	3	0,022	1058	1270	0,839	0,017
PAx	4	0,028	1324	1589	1,049	0,021
PAx	5	0,037	1722	2066	1,365	0,027
PAx	6	0,045	2106	2527	1,669	0,033
PAx	7	0,054	2481	2977	1,966	0,040
PAx	8	0,055	2546	3056	2,018	0,041
PAx	9	0,063	2762	3314	2,189	0,046
PAx	10	0,072	2999	3599	2,377	0,053
PAx	11	0,082	3242	3891	2,570	0,060
PAx	12	0,090	3452	4142	2,736	0,066
PAx	13	0,098	3643	4371	2,887	0,072
PAx	14	0,106	3835	4602	3,039	0,078
PAx	15	0,115	4029	4834	3,193	0,085
PAx	16	0,125	4232	5078	3,354	0,092
PAx	17	0,133	4394	5273	3,483	0,098
PAx	18	0,141	4534	5441	3,593	0,104
PAx	19	0,148	4647	5577	3,683	0,109
PAx	20	0,157	4771	5725	3,781	0,115
PAx	21	0,167	4925	5910	3,903	0,123
PAx	22	0,179	5076	6092	4,023	0,131
PAx	23	0,190	5218	6261	4,135	0,139
PAx	24	0,200	5348	6417	4,238	0,147
PAx	25	0,209	5459	6550	4,326	0,154
PAx	26	0,224	5633	6760	4,464	0,165
PAx	27	0,231	5721	6866	4,534	0,170
PAx	28	0,239	5807	6968	4,602	0,176

PAx	29	0,246	5892	7070	4,669	0,181
PAx	30	0,254	5974	7169	4,735	0,187
PAx	31	0,261	6057	7268	4,800	0,192
PAx	32	0,269	6138	7365	4,864	0,198
PAx	33	0,276	6216	7459	4,926	0,203
PAx	34	0,284	6293	7552	4,988	0,209
PAx	35	0,291	6367	7641	5,046	0,214
PAx	36	0,299	6441	7729	5,104	0,220
PAx	37	0,306	6512	7815	5,161	0,225
PAx	38	0,314	6581	7898	5,216	0,231
PAx	39	0,321	6649	7979	5,270	0,236
PAx	40	0,329	6713	8055	5,320	0,242
PAx	41	0,336	6774	8129	5,369	0,247
PAx	42	0,344	6831	8198	5,414	0,253
PAx	43	0,352	6886	8264	5,458	0,258
PAx	44	0,359	6940	8328	5,500	0,264
PAx	45	0,367	6993	8392	5,542	0,269
PAx	46	0,374	7045	8454	5,583	0,275
PAx	47	0,382	7096	8515	5,623	0,280
PAx	48	0,389	7146	8575	5,663	0,286
PAx	49	0,397	7196	8635	5,703	0,291
PAx	50	0,404	7245	8695	5,742	0,297
PAx	51	0,412	7294	8753	5,781	0,302
PAx	52	0,419	7341	8810	5,818	0,308

Cuadro 165. Cálculo del punto de desempeño D6Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,007	301	361	0,237	0,006
PAy	2	0,015	602	723	0,474	0,011
PAy	3	0,022	904	1084	0,711	0,017
PAy	4	0,030	1205	1446	0,948	0,022
PAy	5	0,037	1506	1807	1,185	0,028
PAy	6	0,042	1696	2035	1,334	0,031
PAy	7	0,051	2063	2476	1,623	0,038
PAy	8	0,060	2388	2866	1,878	0,045
PAy	9	0,069	2617	3140	2,058	0,051
PAy	10	0,078	2855	3426	2,246	0,057
PAy	11	0,087	3086	3703	2,427	0,064
PAy	12	0,096	3333	3999	2,621	0,071
PAy	13	0,104	3525	4230	2,772	0,077
PAy	14	0,113	3736	4483	2,939	0,084
PAy	15	0,122	3940	4727	3,099	0,090
PAy	16	0,131	4115	4938	3,236	0,097
PAy	17	0,139	4276	5131	3,363	0,103
PAy	18	0,147	4405	5286	3,465	0,109
PAy	19	0,156	4530	5436	3,563	0,115
PAy	20	0,165	4660	5593	3,666	0,122
PAy	21	0,177	4850	5821	3,815	0,131
PAy	22	0,186	4973	5967	3,911	0,137
PAy	23	0,197	5114	6137	4,022	0,145
PAy	24	0,207	5250	6300	4,129	0,153
PAy	25	0,216	5352	6423	4,210	0,159
PAy	26	0,223	5440	6528	4,279	0,165
PAy	27	0,231	5527	6632	4,347	0,171
PAy	28	0,238	5611	6734	4,414	0,176

PAy	29	0,246	5692	6830	4,477	0,182
PAy	30	0,253	5770	6924	4,538	0,187
PAy	31	0,261	5846	7016	4,598	0,193
PAy	32	0,268	5922	7107	4,658	0,198
PAy	33	0,276	5995	7194	4,715	0,204
PAy	34	0,283	6066	7280	4,771	0,209
PAy	35	0,291	6134	7361	4,825	0,215
PAy	36	0,298	6201	7442	4,878	0,220
PAy	37	0,306	6267	7520	4,929	0,226
PAy	38	0,313	6330	7596	4,979	0,232
PAy	39	0,321	6392	7671	5,028	0,237
PAy	40	0,328	6455	7746	5,077	0,243
PAy	41	0,336	6517	7820	5,126	0,248
PAy	42	0,343	6577	7892	5,173	0,254
PAy	43	0,351	6635	7962	5,219	0,259
PAy	44	0,358	6691	8029	5,263	0,265
PAy	45	0,366	6747	8097	5,307	0,270
PAy	46	0,373	6803	8164	5,351	0,276
PAy	47	0,381	6858	8230	5,394	0,281
PAy	48	0,388	6911	8294	5,436	0,287
PAy	49	0,396	6965	8358	5,478	0,292

Cuadro 166. Cálculo del punto de desempeño D8X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,020	838	1006	0,498	0,014
PAx	2	0,040	1677	2012	0,997	0,029
PAx	3	0,058	2411	2894	1,433	0,042
PAx	4	0,078	3105	3727	1,846	0,056
PAx	5	0,100	3668	4402	2,181	0,072
PAx	6	0,121	4146	4975	2,464	0,087
PAx	7	0,141	4568	5482	2,716	0,102
PAx	8	0,161	4933	5920	2,933	0,117
PAx	9	0,183	5302	6363	3,152	0,133
PAx	10	0,204	5635	6762	3,350	0,148
PAx	11	0,228	5966	7159	3,546	0,165
PAx	12	0,250	6234	7481	3,706	0,181
PAx	13	0,287	6672	8007	3,966	0,208
PAx	14	0,317	6992	8390	4,156	0,229
PAx	15	0,337	7192	8630	4,275	0,244
PAx	16	0,357	7385	8862	4,390	0,258
PAx	17	0,377	7572	9087	4,501	0,273
PAx	18	0,397	7754	9305	4,609	0,287
PAx	19	0,417	7930	9517	4,714	0,302
PAx	20	0,437	8102	9722	4,816	0,316
PAx	21	0,457	8267	9921	4,914	0,331
PAx	22	0,477	8429	10115	5,011	0,345
PAx	23	0,497	8580	10296	5,100	0,360

Cuadro 167. Cálculo del punto de desempeño D8Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,020	724	869	0,429	0,015
PAy	2	0,040	1448	1738	0,858	0,029
PAy	3	0,060	2172	2607	1,287	0,044
PAy	4	0,073	2652	3183	1,571	0,053
PAy	5	0,094	3220	3864	1,908	0,068
PAy	6	0,115	3768	4522	2,233	0,084
PAy	7	0,137	4287	5144	2,540	0,100
PAy	8	0,160	4741	5689	2,809	0,116
PAy	9	0,180	5138	6165	3,044	0,131
PAy	10	0,205	5577	6692	3,304	0,149
PAy	11	0,228	5932	7118	3,515	0,166
PAy	12	0,254	6257	7509	3,708	0,185
PAy	13	0,279	6562	7875	3,888	0,203
PAy	14	0,302	6819	8183	4,041	0,220
PAy	15	0,331	7138	8565	4,229	0,240
PAy	16	0,370	7521	9026	4,457	0,269
PAy	17	0,390	7697	9237	4,561	0,284
PAy	18	0,410	7863	9436	4,659	0,298
PAy	19	0,430	8021	9625	4,753	0,313
PAy	20	0,450	8174	9808	4,843	0,327

Cuadro 168. Cálculo del punto de desempeño D10X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,020	665	797	0,314	0,014
PAx	2	0,040	1329	1595	0,628	0,029
PAx	3	0,060	1994	2392	0,942	0,043
PAx	4	0,073	2420	2905	1,143	0,053
PAx	5	0,094	3014	3617	1,424	0,068
PAx	6	0,115	3469	4163	1,639	0,083
PAx	7	0,135	3861	4634	1,824	0,098
PAx	8	0,156	4228	5074	1,997	0,113
PAx	9	0,177	4562	5474	2,155	0,128
PAx	10	0,199	4900	5880	2,315	0,144
PAx	11	0,223	5242	6290	2,476	0,161
PAx	12	0,248	5598	6718	2,644	0,179
PAx	13	0,270	5909	7091	2,791	0,195
PAx	14	0,291	6191	7430	2,924	0,210
PAx	15	0,313	6478	7773	3,060	0,226
PAx	16	0,336	6772	8126	3,199	0,243
PAx	17	0,376	7177	8613	3,390	0,272
PAx	18	0,396	7378	8854	3,485	0,286
PAx	19	0,416	7578	9094	3,580	0,300
PAx	20	0,436	7777	9332	3,674	0,315
PAx	21	0,456	7974	9569	3,766	0,329
PAx	22	0,476	8168	9801	3,858	0,344
PAx	23	0,496	8355	10026	3,947	0,358
PAx	24	0,516	8540	10248	4,034	0,373
PAx	25	0,536	8723	10467	4,120	0,387
PAx	26	0,556	8904	10685	4,206	0,402
PAx	27	0,576	9083	10900	4,290	0,416
PAx	28	0,596	9259	11111	4,373	0,431

Cuadro 169. Cálculo del punto de desempeño D10Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,020	589	707	0,277	0,015
PAy	2	0,040	1178	1414	0,553	0,029
PAy	3	0,060	1767	2121	0,830	0,044
PAy	4	0,080	2357	2828	1,106	0,058
PAy	5	0,084	2472	2966	1,160	0,061
PAy	6	0,105	3062	3674	1,437	0,076
PAy	7	0,125	3480	4176	1,633	0,091
PAy	8	0,146	3869	4643	1,816	0,106
PAy	9	0,167	4246	5095	1,993	0,121
PAy	10	0,188	4604	5525	2,161	0,137
PAy	11	0,209	4932	5918	2,315	0,152
PAy	12	0,230	5260	6312	2,469	0,167
PAy	13	0,253	5612	6735	2,634	0,184
PAy	14	0,275	5934	7121	2,785	0,200
PAy	15	0,299	6280	7536	2,948	0,218
PAy	16	0,325	6632	7959	3,113	0,236
PAy	17	0,345	6902	8283	3,240	0,251
PAy	18	0,366	7151	8582	3,357	0,267
PAy	19	0,391	7428	8914	3,487	0,285
PAy	20	0,427	7825	9390	3,673	0,311
PAy	21	0,447	8040	9647	3,774	0,325
PAy	22	0,467	8249	9899	3,872	0,340
PAy	23	0,487	8455	10146	3,969	0,354
PAy	24	0,507	8657	10389	4,064	0,369
PAy	25	0,527	8856	10627	4,157	0,384
PAy	26	0,547	9052	10862	4,249	0,398
PAy	27	0,567	9241	11090	4,338	0,413

Cuadro 170. Cálculo del punto de desempeño D12X

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAx	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAx	1	0,020	565	678	0,220	0,014
PAx	2	0,040	1130	1357	0,441	0,029
PAx	3	0,060	1696	2035	0,661	0,043
PAx	4	0,080	2261	2713	0,882	0,058
PAx	5	0,088	2478	2974	0,966	0,063
PAx	6	0,108	3050	3660	1,189	0,078
PAx	7	0,130	3530	4236	1,376	0,094
PAx	8	0,150	3908	4690	1,524	0,108
PAx	9	0,170	4266	5119	1,663	0,123
PAx	10	0,191	4598	5518	1,793	0,138
PAx	11	0,212	4926	5912	1,921	0,153
PAx	12	0,233	5222	6266	2,036	0,169
PAx	13	0,255	5517	6620	2,151	0,185
PAx	14	0,278	5801	6961	2,262	0,201
PAx	15	0,304	6126	7351	2,389	0,220
PAx	16	0,326	6382	7659	2,489	0,235
PAx	17	0,353	6704	8045	2,614	0,255
PAx	18	0,374	6930	8316	2,702	0,270
PAx	19	0,395	7132	8558	2,781	0,285
PAx	20	0,428	7436	8923	2,899	0,309
PAx	21	0,450	7636	9163	2,977	0,325
PAx	22	0,473	7848	9418	3,060	0,342
PAx	23	0,494	8035	9642	3,133	0,357
PAx	24	0,517	8244	9892	3,214	0,374
PAx	25	0,544	8481	10177	3,307	0,393
PAx	26	0,573	8749	10498	3,411	0,414
PAx	27	0,593	8924	10709	3,480	0,429

Cuadro 171. Cálculo del punto de desempeño D12Y

Análisis	Paso	Desplazamiento [m]	Cortante en base [ton]	Cortante en base X 1.2 [ton]	S_a [m/s²]	S_d [m]
PAy	0	0,000	0	0	0,000	0,000
PAy	1	0,020	510	612	0,198	0,015
PAy	2	0,040	1020	1224	0,395	0,029
PAy	3	0,060	1530	1836	0,593	0,044
PAy	4	0,080	2040	2448	0,790	0,058
PAy	5	0,091	2322	2786	0,899	0,066
PAy	6	0,111	2825	3390	1,094	0,081
PAy	7	0,132	3313	3975	1,283	0,096
PAy	8	0,154	3737	4485	1,448	0,112
PAy	9	0,176	4090	4908	1,585	0,128
PAy	10	0,198	4434	5320	1,717	0,144
PAy	11	0,221	4775	5729	1,850	0,161
PAy	12	0,244	5104	6125	1,977	0,178
PAy	13	0,269	5445	6534	2,109	0,196
PAy	14	0,289	5718	6862	2,215	0,210
PAy	15	0,311	6015	7218	2,330	0,226
PAy	16	0,337	6353	7623	2,461	0,245
PAy	17	0,360	6660	7992	2,580	0,262
PAy	18	0,389	7018	8422	2,719	0,283
PAy	19	0,410	7266	8719	2,815	0,298
PAy	20	0,430	7482	8978	2,898	0,313
PAy	21	0,454	7738	9286	2,998	0,331
PAy	22	0,481	8019	9622	3,106	0,350
PAy	23	0,511	8331	9998	3,227	0,372
PAy	24	0,531	8535	10242	3,306	0,386
PAy	25	0,551	8734	10481	3,383	0,401
PAy	26	0,571	8930	10716	3,459	0,415
PAy	27	0,591	9124	10948	3,534	0,430
PAy	28	0,611	9313	11175	3,607	0,445

