



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

## **EVALUACION NUMERICA DE LA FALLA DE ESTANQUES DE ACERO INOXIDABLE EN SISMOS EN BASE AL METODO DE CAPACIDAD ESPECTRAL**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**TOMÁS IGNACIO ÁLVAREZ VERGÉS**

PROFESOR GUIA:  
JUAN FELIPE BELTRÁN MORALES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
RICARDO ANTONIO HERRERA MARDONES  
FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ PRADO

SANTIAGO DE CHILE  
2022

## EVALUACION NUMERICA DE LA FALLA DE ESTANQUES DE ACERO INOXIDABLE EN SISMOS EN BASE AL METODO DE CAPACIDAD ESPECTRAL

El presente documento prosigue el análisis de dos estanques de acero inoxidable estudiados anteriormente por Ruiz S. (2016), siguiendo un análisis de tipo estático a través del Método de Capacidad Espectral, método el cual fue pensado para el análisis de edificios, por lo que se sigue un método modificado para estanques (Virella, Suárez, & Godoy, 2008), para posteriormente evaluar la efectividad del método a través de un análisis forense, en el cual se compara los resultados obtenidos con los daños observados en ambos estanques debido al terremoto del Maule de 2010.

El resultado de los análisis muestra que el Método de Capacidad Espectral modificado es un procedimiento válido para el estudio de estanques de acero inoxidable de base apoyada, ya que se obtienen resultados que concuerdan con lo observado en terreno luego del terremoto.

*A ti*

## Tabla de contenido

Capítulo 1: Introducción .....	1
1.1. Motivación .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivos generales.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Alcances y metodología .....	2
1.3.1. Introducción .....	2
1.3.2. Antecedentes .....	2
1.3.3. Análisis Previos.....	3
1.3.4. Aplicación del Método de Capacidad Espectral.....	3
1.3.5. Análisis de resultados.....	3
1.3.6. Conclusiones .....	3
Capítulo 2: Antecedentes .....	4
2.1. Método de capacidad espectral .....	4
2.2. Análisis estático pushover .....	9
2.3. Método de capacidad espectral aplicado a estanques .....	11
2.4. Método de escalamiento de registro sísmico.....	14
2.4.1. Espectro de diseño .....	14
2.4.2. Registro sísmico.....	14
2.5. Estados de daño.....	16
Capítulo 3: Análisis Previos.....	18
3.1. Análisis modal .....	18
3.2. Validación método de Virella et al (2008) .....	23
3.2.1. Análisis de sensibilidad de espesor de manto .....	27
3.2.2. Análisis de sensibilidad de espesor de techo .....	29
3.2.3. Análisis zona de medición de desplazamiento .....	31
3.3. Espectros de diseño .....	36
3.4. Espectros sísmicos .....	38
3.5. Espectros de capacidad Estanque 25.....	42

3.6. Espectros de capacidad Estanque 27.....	47
Capítulo 4: Aplicación del Método de Capacidad Espectral.....	52
4.1. Espectros de diseño .....	52
4.1.1. Estanque 25.....	52
4.1.2. Estanque 27.....	54
4.2. Espectros sísmicos .....	56
4.3. Método teórico.....	67
Capítulo 5: Análisis de resultados.....	70
5.1. Análisis modal .....	70
5.2. Espectros de diseño .....	74
5.3. Espectros sísmicos .....	78
5.4. Método teórico.....	87
5.5. Análisis puntos de desempeño .....	90
5.6. Estados de daños .....	97
Capítulo 6: Conclusiones .....	108
Bibliografía.....	112
Anexo A.....	114
Anexo A.1.....	114
Anexo A.2.....	130
Anexo A.3.....	146
Anexo A.4.....	162
Anexo A.5.....	178
Anexo A.6.....	194
Anexo B.....	210
Anexo B.1.....	210
Anexo B.2.....	226
Anexo B.3.....	242
Anexo B.4.....	258
Anexo B.5.....	274
Anexo B.6.....	290

## Índice de tablas

Tabla 2-1. Valores para el factor de modificación de amortiguamiento .....	7
Tabla 2-2. Valores mínimos de <i>SRA</i> y <i>SRV</i> .....	7
Tabla 3-1. Resistencia máxima de resortes para modelos del estanque 25 .....	18
Tabla 3-2. Resistencia máxima de resorte para modelos del estanque 27 .....	18
Tabla 3-3. Masas Estanque 25 .....	21
Tabla 3-4. Masas Estanque 27 .....	21
Tabla 3-5. Parámetros modales para modelos de Estanque 25.....	22
Tabla 3-6. Parámetros modales para modelos de Estanque 27.....	22
Tabla 3-7. Parámetros modales para el modo fundamental del Modelo 5 .....	24
Tabla 3-8. Resultados del Modelo 5 para el espectro de demanda según NCh 2369 ...	27
Tabla 3-9. Comparación desplazamiento del punto de desempeño (techo - nodo crítico) .....	33
Tabla 3-10. PGA máximo registrado para cada estación sísmica .....	41
Tabla 3-11. Parámetros modales del Modelo 11 .....	45
Tabla 3-12. Parámetros modales del Modelo 12 .....	50
Tabla 4-1. Coordenadas de puntos de desempeños para Modelo 11 .....	52
Tabla 4-2. Valor de PGA crítico (g) para Modelo 11 .....	52
Tabla 4-3. Coordenadas de puntos de desempeños para Modelo 12 .....	54
Tabla 4-4. Valor de PGA crítico (g) para Modelo 12 .....	54
Tabla 4-5. Factores de ajustes de espectros sísmicos para el Modelo 11 .....	65
Tabla 4-6. PGA crítico (g) para Modelo 11 según espectros sísmicos.....	66
Tabla 4-7. Análisis teórico del Modelo 5 .....	67
Tabla 4-8. Punto de desempeño y PGA crítico según análisis teórico del Modelo 5 .....	69
Tabla 5-1. Parámetros modales del modelo 5 modificado (espesor de manto de 2 cm) .....	72
Tabla 5-2. Parámetros modales del modelo 5 modificado (sin masas puntuales) .....	72
Tabla 5-3. Resumen de PGA crítico (g) para modelos del Estanque 25 .....	74
Tabla 5-4. Resumen de factor PGA crítico (g) para modelos del Estanque 27.....	75
Tabla 5-5. Resumen de puntos de desempeño para modelos del Estanque 25.....	75
Tabla 5-6. Resumen de puntos de desempeño para modelos del Estanque 27 .....	76
Tabla 5-7. Resumen de factor de ajuste de espectros de diseño para modelos del Estanque 25 .....	77
Tabla 5-8. Resumen de factor de ajuste de espectros de diseño para modelos del Estanque 27 .....	77
Tabla 5-9. Resumen de factor de ajuste para modelos del Estanque 25 (se resaltan valores mayores a 1).....	78
Tabla 5-10- Resumen de factor de ajuste para modelos del Estanque 27 (se resaltan valores mayores a 1).....	80
Tabla 5-11. Resumen de PGA para modelos del Estanque 25 .....	81

Tabla 5-12. Resumen de PGA para modelos del Estanque 27 .....	83
Tabla 5-13. PGA crítico (g) promedio para el Estanque 25 obtenido según registros sísmicos.....	85
Tabla 5-14. PGA crítico (g) promedio para el Estanque 27 obtenido según registros sísmicos.....	86
Tabla 5-15. Resumen de factor PGA crítico (g) para modelos del Estanque 25 según método teórico.....	88
Tabla 5-16. Resumen de factor PGA crítico (g) para modelos del Estanque 27 según método teórico.....	88
Tabla 5-17. Resumen de puntos de desempeño para modelos del Estanque 25 según el método teórico.....	88
Tabla 5-18. Resumen de puntos de desempeño para modelos del Estanque 27 según el método teórico.....	89
Tabla 5-19. Resumen de factor de ajuste para modelos del Estanque 25 según método teórico.....	89
Tabla 5-20. Resumen de factor de ajuste para modelos del Estanque 27 según método teórico.....	89
Tabla 5-21. Tensiones admisibles según NCh 2369.....	90
Tabla 6-1. Factores y PGA críticos del modelo 5 para diferentes espesores .....	110

## Índice de Ilustraciones

Figura 2-1. Construcción del espectro de respuesta elástico amortiguado al 5% (ATC-40, 1996).....	4
Figura 2-2. Punto de desempeño para el paso 3 (ATC-40, 1996).....	6
Figura 2-3. Representación bilineal del espectro de capacidad (ATC-40, 1996).....	6
Figura 2-4. Paso 6 del procedimiento A (ATC-40, 1996) .....	8
Figura 2-5. Curva de capacidad obtenida por Ruiz S. (2016).....	9
Figura 2-6. Comparación de modo de falla vista en terreno con la obtenida del modelo, estanque 25 (Ruiz, 2016) .....	10
Figura 2-7. Curvas de capacidad para el método propuesto (Virella, Suárez, & Godoy, 2008).....	11
Figura 2-8. Localización del punto de desempeño (Virella, Suárez, & Godoy, 2008) ....	12
Figura 2-9. Comparación entre el método propuesto y un análisis dinámico (Virella, Suárez, & Godoy, 2008) .....	13
Figura 2-10. Curvas de fragilidad para estanques de base plana (Yazdanian, y otros, 2021).....	17
Figura 3-1. Presiones modelo Ruiz S. (2016) .....	19
Figura 3-2. Modelo de masas normales (Virella, Suarez, & Godoy, 2005).....	20
Figura 3-3. Modelo en ANSYS de masas normales para el Modelo 5 .....	21
Figura 3-4. Factor de participación normalizado (dirección Y) para los diferentes periodos naturales del Modelo 5 (F.P./F.P.máx).....	23
Figura 3-5. Modo fundamental del Modelo 5 obtenido con el modelo de masas normales .....	24
Figura 3-6. Deformada del modo fundamental para el Modelo 5 en el meridiano de mayor desplazamiento .....	24
Figura 3-7. Espectro de capacidad del modelo 5 .....	25
Figura 3-8. Espectro de diseño según la norma NCh 2369.....	26
Figura 3-9. Espectro de diseño según la norma NCh 2369 en formato ADRS.....	26
Figura 3-10. Punto de desempeño del Modelo 5 para el espectro de diseño según NCh 2369 .....	27
Figura 3-11. Deformada del modo fundamental del Modelo 5 para diferentes espesores de manto.....	28
Figura 3-12. Curvas de capacidad del Modelo 5 para diferentes espesores de manto .	29
Figura 3-13. Espectro de capacidad del Modelo 5 para diferentes espesores de manto .....	29
Figura 3-14. Deformada del modo fundamental del Modelo 5 para diferentes espesores de techo .....	30
Figura 3-15. Curvas de capacidad del Modelo 5 para diferentes espesores de techo ..	30
Figura 3-16. Espectro de capacidad del Modelo 5 para diferentes espesores de techo	31
Figura 3-17. Comparación curva de capacidad Modelo 5 (techo - nodo crítico).....	32



Figura 3-18. Comparación espectro de capacidad Modelo 5 (techo - nodo crítico).....	32
Figura 3-19. Comparación punto de desempeño Modelo 5 (techo - nodo crítico) .....	33
Figura 3-20. Ubicación nodo crítico del Modelo 5 (zona roja) .....	34
Figura 3-21. Punto de desempeño para Modelo 5 considerando el desplazamiento del nodo crítico en dirección Y .....	35
Figura 3-22. Espectro de diseño según la norma NCh 2745 .....	36
Figura 3-23. Espectro de diseño según la norma NCh 2745 en formato ADRS.....	37
Figura 3-24. Espectros sísmicos para registro sísmico de Constitución .....	38
Figura 3-25. Espectros sísmicos para registro sísmico de Curicó .....	39
Figura 3-26. Espectros sísmicos para registro sísmico de Hualañe .....	39
Figura 3-27. Espectros sísmicos para registro sísmico de Matanza .....	40
Figura 3-28. Espectros sísmicos para registro sísmico de Talca .....	40
Figura 3-29. Deformaciones de nodo crítico Modelo 11 (Inicio de aplicación de la carga) .....	42
Figura 3-30. Curva de capacidad de techo para Modelo 11 .....	43
Figura 3-31. Curva de capacidad radial de Nodo Crítico para Modelo 11 .....	43
Figura 3-32. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para Modelo 11 .....	44
Figura 3-33. Factor de participación normalizado del Modelo 11 .....	44
Figura 3-34. Deformada del modo fundamental para el Modelo 11 en el meridiano de mayor desplazamiento .....	45
Figura 3-35. Espectro de capacidad de techo para Modelo 11.....	45
Figura 3-36. Espectro de capacidad radial de Nodo Crítico para Modelo 11.....	46
Figura 3-37. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para Modelo 11 .....	46
Figura 3-38. Deformaciones de nodo crítico Modelo 12 (Inicio de aplicación de la carga) .....	47
Figura 3-39. Curva de capacidad de techo para Modelo 12 .....	48
Figura 3-40. Curva de capacidad radial de Nodo Crítico para Modelo 12 .....	48
Figura 3-41. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para Modelo 12 .....	49
Figura 3-42. Factor de participación normalizado del Modelo 12 .....	49
Figura 3-43. Deformada del modo fundamental para el Modelo 12 en el meridiano de mayor desplazamiento .....	50
Figura 3-44. Espectro de capacidad de techo para Modelo 12.....	50
Figura 3-45. Espectro de capacidad radial de Nodo Crítico para Modelo 12.....	51
Figura 3-46. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para Modelo 12 .....	51
Figura 4-1. Punto de desempeño de techo según NCh 2369 para Modelo 11 .....	53
Figura 4-2. Punto de desempeño de techo según NCh 2745 para Modelo 11 .....	53
Figura 4-3. Punto de desempeño radial de N.C. según NCh 2369 para Modelo 11 .....	53
Figura 4-4. Punto de desempeño radial de N.C. según NCh 2745 para Modelo 11 .....	53
Figura 4-5. Punto de desempeño paralelo de N.C. según NCh 2369 para Modelo 11 ..	53
Figura 4-6. Punto de desempeño paralelo de N.C. según NCh 2745 para Modelo 11 ..	53
Figura 4-7. Punto de desempeño de techo según NCh 2369 para Modelo 12 .....	55

Figura 4-8. Punto de desempeño de techo según NCh 2745 para Modelo 12 .....	55
Figura 4-9. Punto de desempeño radial de N.C. según NCh 2369 para Modelo 12 .....	55
Figura 4-10. Punto de desempeño radial de N.C. según NCh 2745 para Modelo 12 ....	55
Figura 4-11. Punto de desempeño paralelo de N.C. según NCh 2369 para Modelo 12	55
Figura 4-12. Punto de desempeño paralelo de N.C. según NCh 2745 para Modelo 12	55
Figura 4-13. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal.....	56
Figura 4-14. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal .....	57
Figura 4-15. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur .....	58
Figura 4-16. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste.....	59
Figura 4-17. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal.....	60
Figura 4-18. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal .....	61
Figura 4-19. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal.....	62
Figura 4-20. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal .....	63
Figura 4-21. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal.....	64
Figura 4-22. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal .....	65
Figura 4-23. Espectro de capacidad según análisis teórico del Modelo 5 .....	68
Figura 4-24. Punto de desempeño según análisis teórico para NCh 2369 del Modelo 5 .....	69
Figura 4-25. Punto de desempeño según análisis teórico para NCh 2745 del Modelo 5 .....	69
Figura 5-1. Factor de participación normalizado del Modelo 5 .....	70
Figura 5-2. Formas modales modelos del estanque 25 (5, 9 y 11) y el estanque 27 (7, 10 y 12) respectivamente .....	71
Figura 5-3. Forma modal del modo fundamental del modelo 5 modificado (espesor de manto de 2 cm).....	72
Figura 5-4. Forma modal del modo fundamental del modelo 5 modificado (sin masas puntuales).....	73
Figura 5-5. Comparación de espectros sísmicos con espectros de diseño .....	85
Figura 5-6. Espectro de capacidad de modelo 11 y 12 según método teórico .....	87
Figura 5-7. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 5 .....	90
Figura 5-8. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 9 .....	91

Figura 5-9. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 11 .....	91
Figura 5-10. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 16 .....	92
Figura 5-11. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 17 .....	92
Figura 5-12. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 18 .....	93
Figura 5-13. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 7 .....	93
Figura 5-14. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 10 .....	94
Figura 5-15. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 12 .....	94
Figura 5-16. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 13 .....	95
Figura 5-17. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 14 .....	95
Figura 5-18. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 15 .....	96
Figura 5-19. Puntos de daño del modelo 5, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	97
Figura 5-20. Puntos de daño del modelo 9, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	98
Figura 5-21. Puntos de daño del modelo 11, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	98
Figura 5-22. Puntos de daño del modelo 16, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	98
Figura 5-23. Puntos de daño del modelo 17, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	99
Figura 5-24. Puntos de daño del modelo 18, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	99
Figura 5-25. Puntos de daño del modelo 7, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	99
Figura 5-26. Puntos de daño del modelo 10, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	100
Figura 5-27. Puntos de daño del modelo 12, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	100
Figura 5-28. Puntos de daño del modelo 13, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	100
Figura 5-29. Puntos de daño del modelo 14, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	101
Figura 5-30. Puntos de daño del modelo 15, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico .....	101
Figura 5-31. Tensiones principales del modelo 11 para el estado Pandeo .....	102
Figura 5-32. Tensiones principales del modelo 11 para el estado Fluencia resorte y Punto de desempeño .....	102
Figura 5-33. Tensiones principales del modelo 11 para el estado Von-mises .....	103
Figura 5-34. Tensiones principales del modelo 11 para el estado Tensiones admisibles y Punta de diamante .....	103
Figura 5-35. Tensiones principales del modelo 11 para el estado Rotura resorte .....	104

Figura 5-36. Tensiones principales del modelo 11 para el estado Colapso .....	104
Figura 5-37. Tensiones de fluencia de Von-mises del modelo 11 para el estado Pandeo .....	105
Figura 5-38. Tensiones de fluencia de Von-mises del modelo 11 para el estado Fluencia resorte y Punto de desempeño .....	105
Figura 5-39. Tensiones de fluencia de Von-mises del modelo 11 para el estado Von-mises .....	106
Figura 5-40. Tensiones de fluencia de Von-mises del modelo 11 para el estado Tensiones admisibles y Punta de diamante .....	106
Figura 5-41. Tensiones de fluencia Von-mises del modelo 11 para el estado Rotura resorte .....	107
Figura 5-42. Tensiones de fluencia de Von-mises del modelo 11 para el estado Colapso .....	107
Figura 6-1. Espectros de capacidad del modelo 5 para diferentes espesores .....	109
Figura 6-2. Análisis forense del modelo 11 .....	110
Figura 0-1. Forma modal del Modelo 5 .....	114
Figura 0-2. Nodo crítico del Modelo 5 .....	114
Figura 0-3. Factor de participación normalizado del Modelo 5 .....	115
Figura 0-4. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 5 .....	115
Figura 0-5. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 5 .....	115
Figura 0-6. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 5 .....	116
Figura 0-7. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 5 .....	116
Figura 0-8. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 5 .....	116
Figura 0-9. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 5 .....	117
Figura 0-10. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 5 según NCh 2369 .....	117
Figura 0-11. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 5 según NCh 2369 .....	117
Figura 0-12. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 5 según NCh 2369 .....	118
Figura 0-13. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 5 según NCh 2745 .....	118
Figura 0-14. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 5 según NCh 2745 .....	118
Figura 0-15. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 5 según NCh 2745 .....	119
Figura 0-16. Espectro de capacidad para el Modelo 5 según método teórico .....	119
Figura 0-17. Punto de desempeño para el Modelo 5 según método teórico y NCh 2369 .....	119
Figura 0-18. Punto de desempeño para el Modelo 5 según método teórico y NCh 2745 .....	120
Figura 0-19. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 5 .....	120

Figura 0-20. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 5.....	121
Figura 0-21. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 5.....	122
Figura 0-22. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 5.....	123
Figura 0-23. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 5.....	124
Figura 0-24. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 5.....	125
Figura 0-25. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 5.....	126
Figura 0-26. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 5.....	127
Figura 0-27. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 5.....	128
Figura 0-28. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 5.....	129
Figura 0-29. Forma modal del Modelo 9.....	130
Figura 0-30. Nodo crítico del Modelo 9.....	130
Figura 0-31. Factor de participación normalizado del Modelo 9.....	131
Figura 0-32. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 9.....	131
Figura 0-33. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 9.....	131
Figura 0-34. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 9.....	132
Figura 0-35. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 9.....	132
Figura 0-36. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 9.....	132
Figura 0-37. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 5.....	133
Figura 0-38. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 9 según NCh 2369.....	133
Figura 0-39. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 9 según NCh 2369.....	133
Figura 0-40. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 9 según NCh 2369.....	134
Figura 0-41. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 9 según NCh 2745.....	134
Figura 0-42. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 9 según NCh 2745.....	134
Figura 0-43. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 9 según NCh 2745.....	135
Figura 0-44. Espectro de capacidad para el Modelo 9 según método teórico.....	135
Figura 0-45. Punto de desempeño para el Modelo 9 según método teórico y NCh 2369.....	135

Figura 0-46. Punto de desempeño para el Modelo 9 según método teórico y NCh 2745 .....	136
Figura 0-47. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 9 .....	136
Figura 0-48. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 9 .....	137
Figura 0-49. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 9 .....	138
Figura 0-50. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 9 .....	139
Figura 0-51. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 9 .....	140
Figura 0-52. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 9 .....	141
Figura 0-53. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 9 .....	142
Figura 0-54. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 9 .....	143
Figura 0-55. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 9 .....	144
Figura 0-56. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 9 .....	145
Figura 0-57. Forma modal del Modelo 11 .....	146
Figura 0-58. Nodo crítico del Modelo 11 .....	146
Figura 0-59. Factor de participación normalizado del Modelo 11 .....	147
Figura 0-60. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 11 .....	147
Figura 0-61. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 11 .....	147
Figura 0-62. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 11 .....	148
Figura 0-63. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 11 .....	148
Figura 0-64. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 11 .....	148
Figura 0-65. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 11 .....	149
Figura 0-66. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 11 según NCh 2369 .....	149
Figura 0-67. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 11 según NCh 2369 .....	149
Figura 0-68. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 11 según NCh 2369 .....	150
Figura 0-69. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 11 según NCh 2745 .....	150
Figura 0-70. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 11 según NCh 2745 .....	150
Figura 0-71. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 11 según NCh 2745 .....	151

Figura 0-72. Espectro de capacidad para el Modelo 11 según método teórico .....	151
Figura 0-73. Punto de desempeño para el Modelo 11 según método teórico y NCh 2369 .....	151
Figura 0-74. Punto de desempeño para el Modelo 11 según método teórico y NCh 2745 .....	152
Figura 0-75. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 11 .....	152
Figura 0-76. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 11 .....	153
Figura 0-77. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 11 .....	154
Figura 0-78. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 11 .....	155
Figura 0-79. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 11 .....	156
Figura 0-80. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 11 .....	157
Figura 0-81. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 11 .....	158
Figura 0-82. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 11 .....	159
Figura 0-83. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 11 .....	160
Figura 0-84. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 11 .....	161
Figura 0-85. Forma modal del Modelo 16 .....	162
Figura 0-86. Nodo crítico del Modelo 16 .....	162
Figura 0-87. Factor de participación normalizado del Modelo 16 .....	163
Figura 0-88. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 16 .....	163
Figura 0-89. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 16 .....	163
Figura 0-90. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 16 .....	164
Figura 0-91. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 16 .....	164
Figura 0-92. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 16 .....	164
Figura 0-93. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 16 .....	165
Figura 0-94. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 16 según NCh 2369 .....	165
Figura 0-95. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 16 según NCh 2369 .....	165
Figura 0-96. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 16 según NCh 2369 .....	166
Figura 0-97. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 16 según NCh 2745 .....	166

Figura 0-98. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 16 según NCh 2745 .....	166
Figura 0-99. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 16 según NCh 2745 .....	167
Figura 0-100. Espectro de capacidad para el Modelo 16 según método teórico .....	167
Figura 0-101. Punto de desempeño para el Modelo 16 según método teórico y NCh 2369 .....	167
Figura 0-102. Punto de desempeño para el Modelo 16 según método teórico y NCh 2745 .....	168
Figura 0-103. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 16.....	168
Figura 0-104. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 16 .....	169
Figura 0-105. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 16.....	170
Figura 0-106. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 16 .....	171
Figura 0-107. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 16 .....	172
Figura 0-108. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 16.....	173
Figura 0-109. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 16 .....	174
Figura 0-110. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 16.....	175
Figura 0-111. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 16 .....	176
Figura 0-112. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 16.....	177
Figura 0-113. Forma modal del Modelo 17 .....	178
Figura 0-114. Nodo crítico del Modelo 17.....	178
Figura 0-115. Factor de participación normalizado del Modelo 17 .....	179
Figura 0-116. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 17 .....	179
Figura 0-117. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 17 .....	179
Figura 0-118. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 17.....	180
Figura 0-119. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 17.....	180
Figura 0-120. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 17 .....	180
Figura 0-121. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 17.....	181
Figura 0-122. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 17 según NCh 2369....	181
Figura 0-123. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 17 según NCh 2369 .....	181



Figura 0-124. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 17 según NCh 2369 .....	182
Figura 0-125. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 17 según NCh 2745....	182
Figura 0-126. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 17 según NCh 2745 .....	182
Figura 0-127. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 17 según NCh 2745 .....	183
Figura 0-128. Espectro de capacidad para el Modelo 17 según método teórico .....	183
Figura 0-129. Punto de desempeño para el Modelo 17 según método teórico y NCh 2369 .....	183
Figura 0-130. Punto de desempeño para el Modelo 17 según método teórico y NCh 2745 .....	184
Figura 0-131. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 17.....	184
Figura 0-132. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 17 .....	185
Figura 0-133. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 17.....	186
Figura 0-134. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 17 .....	187
Figura 0-135. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 17 .....	188
Figura 0-136. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 17.....	189
Figura 0-137. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 17 .....	190
Figura 0-138. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 17.....	191
Figura 0-139. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 17 .....	192
Figura 0-140. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 17.....	193
Figura 0-141. Forma modal del Modelo 18.....	194
Figura 0-142. Nodo crítico del Modelo 18.....	194
Figura 0-143. Factor de participación normalizado del Modelo 18 .....	195
Figura 0-144. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 18 .....	195
Figura 0-145. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 18 .....	195
Figura 0-146. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 18.....	196
Figura 0-147. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 18.....	196
Figura 0-148. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 18 .....	196
Figura 0-149. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 18.....	197

Figura 0-150. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 18 según NCh 2369 ....	197
Figura 0-151. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 18 según NCh 2369 .....	197
Figura 0-152. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 18 según NCh 2369 .....	198
Figura 0-153. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 18 según NCh 2745 ....	198
Figura 0-154. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 18 según NCh 2745 .....	198
Figura 0-155. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 18 según NCh 2745 .....	199
Figura 0-156. Espectro de capacidad para el Modelo 18 según método teórico .....	199
Figura 0-157. Punto de desempeño para el Modelo 18 según método teórico y NCh 2369 .....	199
Figura 0-158. Punto de desempeño para el Modelo 18 según método teórico y NCh 2745 .....	200
Figura 0-159. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 18.....	200
Figura 0-160. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 18.....	201
Figura 0-161. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 18.....	202
Figura 0-162. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 18.....	203
Figura 0-163. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 18 .....	204
Figura 0-164. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 18.....	205
Figura 0-165. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 18 .....	206
Figura 0-166. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 18.....	207
Figura 0-167. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 18 .....	208
Figura 0-168. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 18.....	209
Figura 0-169. Forma modal del Modelo 7 .....	210
Figura 0-170. Nodo crítico del Modelo 7.....	210
Figura 0-171. Factor de participación normalizado del Modelo 7 .....	211
Figura 0-172. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 7 .....	211
Figura 0-173. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 7 .....	211
Figura 0-174. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 7.....	212

Figura 0-175. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 7.....	212
Figura 0-176. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 7 .....	212
Figura 0-177. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 7.....	213
Figura 0-178. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 7 según NCh 2369.....	213
Figura 0-179. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 7 según NCh 2369 .....	213
Figura 0-180. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 7 según NCh 2369 .....	214
Figura 0-181. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 7 según NCh 2745.....	214
Figura 0-182. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 7 según NCh 2745 .....	214
Figura 0-183. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 7 según NCh 2745 .....	215
Figura 0-184. Espectro de capacidad para el Modelo 7 según método teórico .....	215
Figura 0-185. Punto de desempeño para el Modelo 7 según método teórico y NCh 2369 .....	215
Figura 0-186. Punto de desempeño para el Modelo 7 según método teórico y NCh 2745 .....	216
Figura 0-187. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 7.....	216
Figura 0-188. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 7 .....	217
Figura 0-189. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 7.....	218
Figura 0-190. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 7 .....	219
Figura 0-191. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 7 .....	220
Figura 0-192. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 7.....	221
Figura 0-193. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 7 .....	222
Figura 0-194. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 7.....	223
Figura 0-195. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 7 .....	224
Figura 0-196. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 7.....	225
Figura 0-197. Forma modal del Modelo 10.....	226
Figura 0-198. Nodo crítico del Modelo 10.....	226
Figura 0-199. Factor de participación normalizado del Modelo 10 .....	227

Figura 0-200. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 10 .....	227
Figura 0-201. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 10 .....	227
Figura 0-202. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 10.....	228
Figura 0-203. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 10.....	228
Figura 0-204. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 10 .....	228
Figura 0-205. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 10.....	229
Figura 0-206. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 10 según NCh 2369.....	229
Figura 0-207. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 10 según NCh 2369 .....	229
Figura 0-208. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 10 según NCh 2369 .....	230
Figura 0-209. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 10 según NCh 2745....	230
Figura 0-210. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 10 según NCh 2745 .....	230
Figura 0-211. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 10 según NCh 2745 .....	231
Figura 0-212. Espectro de capacidad para el Modelo 10 según método teórico .....	231
Figura 0-213. Punto de desempeño para el Modelo 10 según método teórico y NCh 2369 .....	231
Figura 0-214. Punto de desempeño para el Modelo 10 según método teórico y NCh 2745 .....	232
Figura 0-215. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 10.....	232
Figura 0-216. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 10.....	233
Figura 0-217. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 10.....	234
Figura 0-218. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 10 .....	235
Figura 0-219. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 10 .....	236
Figura 0-220. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 10.....	237
Figura 0-221. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 10 .....	238
Figura 0-222. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 10.....	239
Figura 0-223. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 10 .....	240
Figura 0-224. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 10.....	241

Figura 0-225. Forma modal del Modelo 12 .....	242
Figura 0-226. Nodo crítico del Modelo 12.....	242
Figura 0-227. Factor de participación normalizado del Modelo 12 .....	243
Figura 0-228. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 12 .....	243
Figura 0-229. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 12 .....	243
Figura 0-230. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 12.....	244
Figura 0-231. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 12 .....	244
Figura 0-232. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 12 .....	244
Figura 0-233. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 12.....	245
Figura 0-234. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 12 según NCh 2369....	245
Figura 0-235. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 5 según NCh 2369 .....	245
Figura 0-236. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 12 según NCh 2369 .....	246
Figura 0-237. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 12 según NCh 2745....	246
Figura 0-238. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 12 según NCh 2745 .....	246
Figura 0-239. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 12 según NCh 2745 .....	247
Figura 0-240. Espectro de capacidad para el Modelo 12 según método teórico .....	247
Figura 0-241. Punto de desempeño para el Modelo 12 según método teórico y NCh 2369 .....	247
Figura 0-242. Punto de desempeño para el Modelo 12 según método teórico y NCh 2745 .....	248
Figura 0-243. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 12.....	248
Figura 0-244. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 12 .....	249
Figura 0-245. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 12.....	250
Figura 0-246. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 12 .....	251
Figura 0-247. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 12 .....	252
Figura 0-248. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 12.....	253
Figura 0-249. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 12 .....	254
Figura 0-250. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 12.....	255

Figura 0-251. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 12 .....	256
Figura 0-252. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 12.....	257
Figura 0-253. Forma modal del Modelo 13.....	258
Figura 0-254. Nodo crítico del Modelo 13.....	258
Figura 0-255. Factor de participación normalizado del Modelo 13 .....	259
Figura 0-256. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 13 .....	259
Figura 0-257. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 13 .....	259
Figura 0-258. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 13.....	260
Figura 0-259. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 13.....	260
Figura 0-260. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 13 .....	260
Figura 0-261. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 13.....	261
Figura 0-262. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 13 según NCh 2369....	261
Figura 0-263. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 13 según NCh 2369 .....	261
Figura 0-264. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 13 según NCh 2369 .....	262
Figura 0-265. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 13 según NCh 2745....	262
Figura 0-266. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 13 según NCh 2745 .....	262
Figura 0-267. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 13 según NCh 2745 .....	263
Figura 0-268. Espectro de capacidad para el Modelo 13 según método teórico .....	263
Figura 0-269. Punto de desempeño para el Modelo 13 según método teórico y NCh 2369 .....	263
Figura 0-270. Punto de desempeño para el Modelo 13 según método teórico y NCh 2745 .....	264
Figura 0-271. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 13.....	264
Figura 0-272. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 13.....	265
Figura 0-273. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 13.....	266
Figura 0-274. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-oeste, Modelo 13.....	267
Figura 0-275. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 13 .....	268
Figura 0-276. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 13.....	269

Figura 0-277. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 13 .....	270
Figura 0-278. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 13.....	271
Figura 0-279. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 13 .....	272
Figura 0-280. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 13.....	273
Figura 0-281. Forma modal del Modelo 14.....	274
Figura 0-282. Nodo crítico del Modelo 14.....	274
Figura 0-283. Factor de participación normalizado del Modelo 14 .....	275
Figura 0-284. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 14 .....	275
Figura 0-285. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 14 .....	275
Figura 0-286. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 14.....	276
Figura 0-287. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 14.....	276
Figura 0-288. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 14 .....	276
Figura 0-289. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 14.....	277
Figura 0-290. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 14 según NCh 2369....	277
Figura 0-291. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 14 según NCh 2369 .....	277
Figura 0-292. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 14 según NCh 2369 .....	278
Figura 0-293. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 14 según NCh 2745....	278
Figura 0-294. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 14 según NCh 2745 .....	278
Figura 0-295. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 14 según NCh 2745 .....	279
Figura 0-296. Espectro de capacidad para el Modelo 14 según método teórico .....	279
Figura 0-297. Punto de desempeño para el Modelo 14 según método teórico y NCh 2369 .....	279
Figura 0-298. Punto de desempeño para el Modelo 14 según método teórico y NCh 2745 .....	280
Figura 0-299. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 14.....	280
Figura 0-300. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 14.....	281
Figura 0-301. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 14.....	282
Figura 0-302. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-oeste, Modelo 14.....	283

Figura 0-303. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 14 .....	284
Figura 0-304. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 14.....	285
Figura 0-305. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 14 .....	286
Figura 0-306. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 14.....	287
Figura 0-307. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 14 .....	288
Figura 0-308. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 14.....	289
Figura 0-309. Forma modal del Modelo 15.....	290
Figura 0-310. Nodo crítico del Modelo 15.....	290
Figura 0-311. Factor de participación normalizado del Modelo 14 .....	291
Figura 0-312. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 15 .....	291
Figura 0-313. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 15 .....	291
Figura 0-314. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 15.....	292
Figura 0-315. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 15.....	292
Figura 0-316. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 15 .....	292
Figura 0-317. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 15.....	293
Figura 0-318. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 15 según NCh 2369....	293
Figura 0-319. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 15 según NCh 2369 .....	293
Figura 0-320. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 15 según NCh 2369 .....	294
Figura 0-321. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 15 según NCh 2745....	294
Figura 0-322. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 15 según NCh 2745 .....	294
Figura 0-323. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 15 según NCh 2745 .....	295
Figura 0-324. Espectro de capacidad para el Modelo 15 según método teórico .....	295
Figura 0-325. Punto de desempeño para el Modelo 15 según método teórico y NCh 2369 .....	295
Figura 0-326. Punto de desempeño para el Modelo 15 según método teórico y NCh 2745 .....	296
Figura 0-327. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 15.....	296
Figura 0-328. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 15 .....	297



Figura 0-329. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 15.....	298
Figura 0-330. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-oeste, Modelo 15.....	299
Figura 0-331. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 15 .....	300
Figura 0-332. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 15.....	301
Figura 0-333. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 15 .....	302
Figura 0-334. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 15.....	303
Figura 0-335. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 15 .....	304
Figura 0-336. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 15.....	305

# Capítulo 1: Introducción

## 1.1. Motivación

Dado al tamaño y la gran importancia de la industria vitivinícola en Chile los costos que se generan al perder la producción debido a un desastre natural son demasiados altos, lo que también incluye la contaminación del suelo (derrame del líquido almacenado) y la reducción de la capacidad de almacenamiento de la planta. En el terremoto del 27 febrero del 2010 ( $M_w=8.8$ ) se contabilizaron pérdidas de 125 millones de litros (aproximadamente de 250 millones de dólares) correspondientes al 12.5% de la producción nacional (Garcés, 2012). Por esto razón, es necesario contar con un método de diseño adecuado para los estanques de la industria vitivinícola chilena, ya que generalmente se consideran directrices señaladas en manuales enfocados en el diseño de estanques de petróleo.

Principalmente se utilizan 4 tipos de almacenamientos en la industria vitivinícola; estanques con patas, estanques de base apoyada, barricas y bins. El enfoque del presente estudio es continuar con el análisis realizado por Ruiz S. (2016) de dos estanques de base apoyada que presentaron fallas de pandeo local (“punta de diamante”) y global (“pata de elefante”) durante el terremoto del Maule de 2010.

Códigos de diseño de estanques, tales como API 650 (1991) y AWWA-D100 (1984), establecen que la evaluación del pandeo en estanques de acero se base en tensiones admisibles obtenidas en placas cilíndricas de pared delgada sometidas a compresión uniforme. Sin embargo, este patrón de carga difiere del que presenta la pared de un estanque ante cargas sísmicas que inducen el pandeo local del manto. Por esta razón, sería de gran importancia tener una metodología para evaluar el pandeo del manto de un estanque ante cargas sísmicas que considere un patrón de cargas similar al generado por efectos sísmicos.

Un método comúnmente usado para evaluar la respuesta sísmica de un estanque es el análisis dinámico no lineal. Por esta razón, se han realizado variados estudios dinámicos, ya sea usando métodos experimentales o computacionales. Estudios dinámicos realizados considerando una aceleración basal armónica horizontal (Natsiavas & Babcock, 1987), y otros considerando aceleraciones basales armónicas horizontales y verticales, además de simulaciones de terremotos (Morita, et al., 2003), han ayudado a comprender la importancia de la respuesta hidrodinámica para los modos de pandeo del estanque.

No obstante, este tipo de análisis requiere costos computacionales altos, por lo que la utilización de procedimientos más simples, menos costosos computacionalmente y que puedan ser aplicados en forma sistemática para diferentes configuraciones estructurales parecen ser una alternativa válida de ser exploradas. En este contexto, procedimientos estáticos no lineales podrían ser utilizados para este propósito (Cocco, Suarez, & Matheu, 2010). En particular, el Método de Capacidad Espectral es uno de los potenciales métodos estáticos no lineales a utilizar cuya metodología será aplicada para la evaluación sísmica de

estanques de almacenamiento de vino. Este método compara las curvas de capacidad de una estructura, obtenidas mediante curvas pushover, con las demandas sobre la estructura, en forma de espectro de respuesta A-D (Habibi & Jami, 2017). Con este procedimiento, se obtiene de manera gráfica la demanda de desplazamientos inelásticos de una estructura ante cierta excitación sísmica (Freeman, 2004).

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivos generales

Aplicación del Método de Capacidad Espectral en estanques de acero inoxidable utilizados en la industria vitivinícola para evaluar fallas (pandeo de manto) debido a sismos. Para este fin, se utilizarán modelaciones no lineales 3D del estanque en base al software comercial ANSYS. Dos geometrías de estanque de base plana son considerados: (1) altura 6.5m, diámetro 4.4m y volumen 100m<sup>3</sup>; (2) altura 6m, diámetro 6.5m y volumen 200m<sup>3</sup>. Ambos estanques tienen un espesor de 2.5mm y están apoyados en losas de hormigón armado. El primer estanque se encuentra anclado mientras que el segundo está simplemente apoyado.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar punto de desempeño de estanques de acero inoxidable considerando diferentes demandas sísmicas.
- Determinación de PGA que induce el pandeo local del manto en los estanques analizados.
- Análisis de los estados de daños producidos en los estanques.

## 1.3. Alcances y metodología

### 1.3.1. Introducción

En el capítulo de introducción se presenta el estudio realizado, describiendo los aspectos generales tales como la motivación, los objetivos generales y específicos y los alcances de cada capítulo del estudio.

### 1.3.2. Antecedentes

En este capítulo se realiza una revisión tanto del método de capacidad espectral como de estudios previos reportados en la literatura en el que se aplica un método estático no lineal para estimar la respuesta de estanques de acero ante una excitación sísmica. Además, se presenta en estudio previo que abarca los estados de daños presentados en estanques de acero realizado por Yazdanian et al (2021), y las bases para obtener tanto los espectros sísmicos como los registros sísmicos aplicados en el presente estudio.

### **1.3.3. Análisis Previos**

En esta sección se realizan los análisis previos necesarios para aplicar el método de capacidad espectral enfocado en el análisis de estanques de acero. Además, se determina las consideraciones necesarias para la aplicación del método de capacidad espectral propuesto por Virella et al (2008).

### **1.3.4. Aplicación del Método de Capacidad Espectral**

En este capítulo se aplica el método de capacidad espectral a dos estanques, los cuales son seleccionados y analizados por Ruiz S.(2016), considerando espectros de diseños además de espectros sísmicos correspondientes al terremoto del Maule del 27 de febrero de 2010 (Mw=8.8).

### **1.3.5. Análisis de resultados**

En esta sección se presentan y analizan los resultados de aplicar el método de capacidad espectral a los estanques considerados.

### **1.3.6. Conclusiones**

En este capítulo se presentan las conclusiones, observaciones y comentarios relevantes del análisis realizado.

## Capítulo 2: Antecedentes

### 2.1. Método de capacidad espectral

El método de capacidad espectral es un procedimiento de análisis no-lineal simplificado utilizado para la evaluación sísmica de edificios. Este método considera las curvas de capacidad del edificio, obtenidas mediante el método pushover, y las curvas de demandas correspondiente a las demandas sísmicas, obtenidas desde normas de diseño sísmico o directamente de registros sísmicos, para determinar el punto de desempeño de la estructura de manera gráfica. Estas curvas se grafican en el formato conocido como Espectro de Respuesta de Aceleración-Desplazamiento o ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectrum).

A continuación, se detalla el procedimiento a seguir para desarrollar el método de capacidad espectral, según lo indica el documento ATC-40 para el procedimiento A, el cual es el método más directo y fácil de comprender (ATC-40, 1996).

1. Desarrollar el espectro de respuesta elástica con una tasa de amortiguamiento de un 5% a considerar para el estudio (Figura 2-1). Posteriormente se pasa la curva del formato Aceleración vs Periodo al formato ADRS utilizando la ecuación ( 1 ).

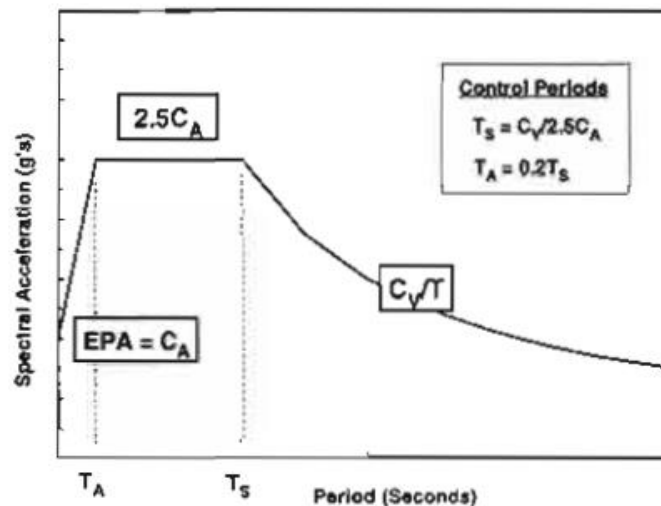


Figura 2-1. Construcción del espectro de respuesta elástico amortiguado al 5% (ATC-40, 1996)

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \quad (1)$$

Donde

$T$	=	Periodo.
$S_a$	=	Aceleración espectral.
$S_v$	=	Desplazamiento espectral.

- Transformar la curva de capacidad de la estructura a un espectro de capacidad, utilizando las ecuaciones ( 2 ) al ( 5 ), y graficarla en el mismo grafico con el espectro de respuesta amortiguado al 5%.

$$FP_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{w_i \cdot \varphi_{i1}}{g}}{\sum_{i=1}^N \frac{w_i \cdot \varphi_{i1}^2}{g}} \quad (2)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left( \sum_{i=1}^N \frac{w_i \cdot \varphi_{i1}}{g} \right)^2}{\left( \frac{\sum_{i=1}^N w_i}{g} \right) \left( \sum_{i=1}^N \frac{w_i \cdot \varphi_{i1}^2}{g} \right)} \quad (3)$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (4)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \cdot \varphi_{roof1}} \quad (5)$$

Donde:

$FP_1$	=	Factor de participación modal para el primer modo.
$\alpha_1$	=	Coefficiente de masa modal para el primer modo.
$w_i/g$	=	Masa asignada al nivel i.
$\varphi_{i1}$	=	Amplitud del modo 1 al nivel i.
$N$	=	Numero de niveles de la estructura.
$V$	=	Corte basal
$W$	=	Sobrecarga más peso propio de la estructura.
$\Delta_{roof}$	=	Desplazamiento de techo
$S_a$	=	Aceleración espectral.
$S_d$	=	Desplazamiento espectral.

- Seleccionar el punto de desempeño de prueba. Una primera elección de este punto puede ser obtenido usando la aproximación de igual desplazamiento (Figura 2-2).

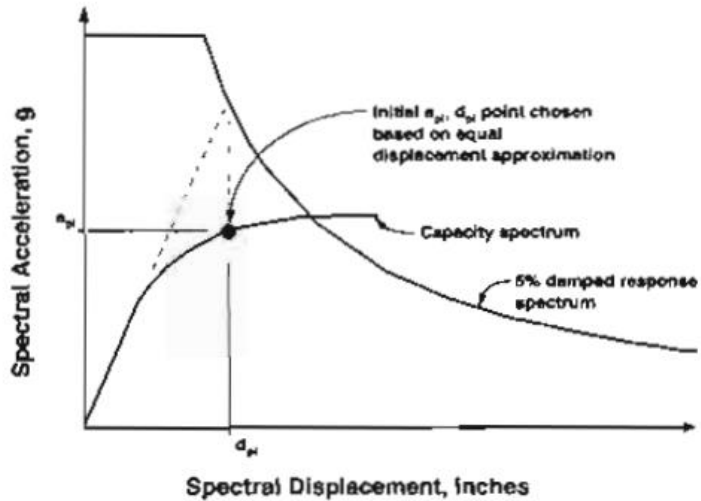


Figura 2-2. Punto de desempeño para el paso 3 (ATC-40, 1996)

4. Desarrollar una representación bilineal del espectro de capacidad, cumpliendo las condiciones mostradas en la Figura 2-3.

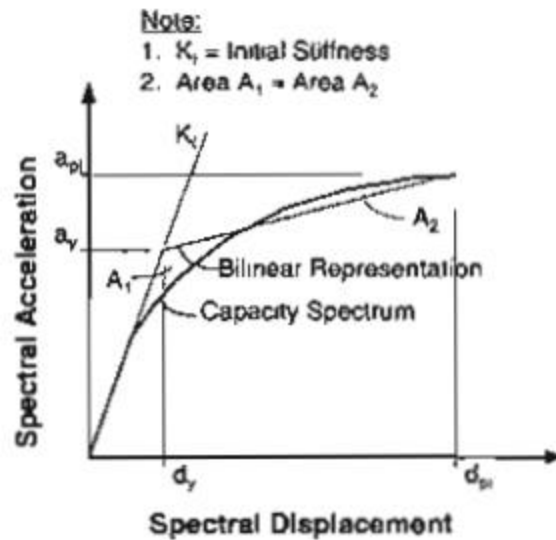


Figura 2-3. Representación bilineal del espectro de capacidad (ATC-40, 1996)

5. Calcular los factores de reducción espectral para calcular el espectro de respuesta de aceleración desplazamiento modificado (MADRS), utilizando las ecuaciones ( 6 ) y ( 7 ). Los factores de reducción no pueden ser menores que los valores mostrados en la Tabla 2-2. Dibujar el espectro de demanda reducido en el mismo grafico del espectro de capacidad.

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln \left[ \frac{63.7\chi(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{2.12} \quad (6)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln \left[ \frac{63.7\chi(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{1.65} \quad (7)$$

$$\beta_0 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (8)$$

Donde:

$\chi$  = Factor de modificación de amortiguamiento. Valores se obtienen de la Tabla 2-1

Tabla 2-1. Valores para el factor de modificación de amortiguamiento

Tipo de comportamiento estructural	$\beta_0$ (%)	$\chi$
Tipo A	$\leq 16.25$	1.0
	$> 16.25$	$1.13 - \frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Tipo B	$\leq 25$	0.67
	$> 25$	$0.845 - \frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Tipo C	Cualquier Valor	0.33

Tabla 2-2. Valores mínimos de  $SR_A$  y  $SR_V$

Tipo de comportamiento estructural	$SR_A$	$SR_V$
Tipo A	0.33	0.50
Tipo B	0.44	0.56
Tipo C	0.56	0.67



6. Determinar si el espectro de demanda reducido intercepta el espectro de capacidad en el punto  $a_{pi}, d_{pi}$ , o si el desplazamiento en el que el espectro de demanda intercepta el espectro de capacidad está dentro de una tolerancia aceptable (Figura 2-4).

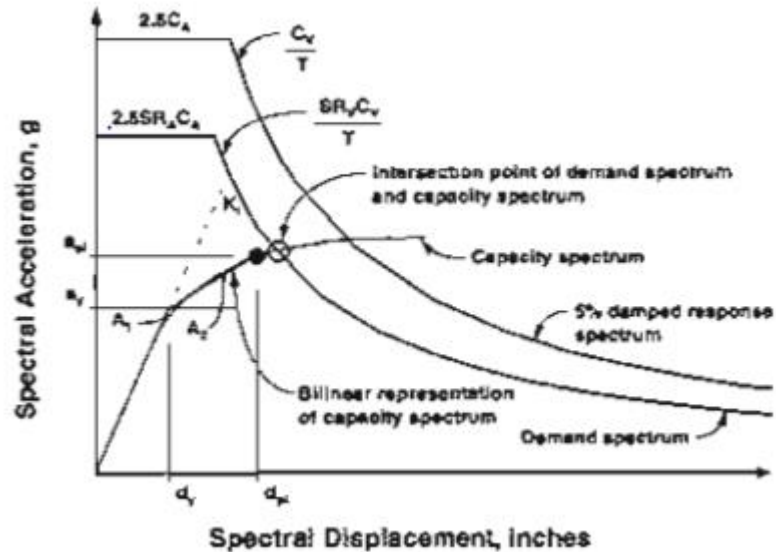


Figura 2-4. Paso 6 del procedimiento A (ATC-40, 1996)

7. Si el espectro de demanda no intercepta el espectro de capacidad con una tolerancia aceptable, seleccionar un nuevo punto  $a_{pi}, d_{pi}$ , y volver al paso 4.
8. Si el espectro de demanda intercepta el espectro de capacidad dentro de una tolerancia aceptable, el punto  $a_{pi}, d_{pi}$ , es el punto de desempeño,  $a_p, d_p$ , y el desplazamiento,  $d_p$ , representa el desplazamiento estructural máximo esperado para el terremoto de demanda.

## 2.2. Análisis estático pushover

Uno de los elementos que requiere el método de capacidad espectral, son las curvas de capacidad de la estructura, las cuales se obtienen mediante análisis de tipo pushover. Las curvas pushover consideradas en el presente estudio se recogen del estudio de Ruiz S. (2016), el cual realiza un análisis estático con control de deformaciones de dos estanques de acero, mediante el método de elementos finitos, con el propósito de recrear las fallas observadas después del terremoto del Maule de 2010 ( $M_w = 8.8$ ) en Chile, y determinar la influencia de las condiciones de borde en estas fallas. Un ejemplo de las curvas de capacidad obtenidas por tal estudio se presenta en la Figura 2-1.

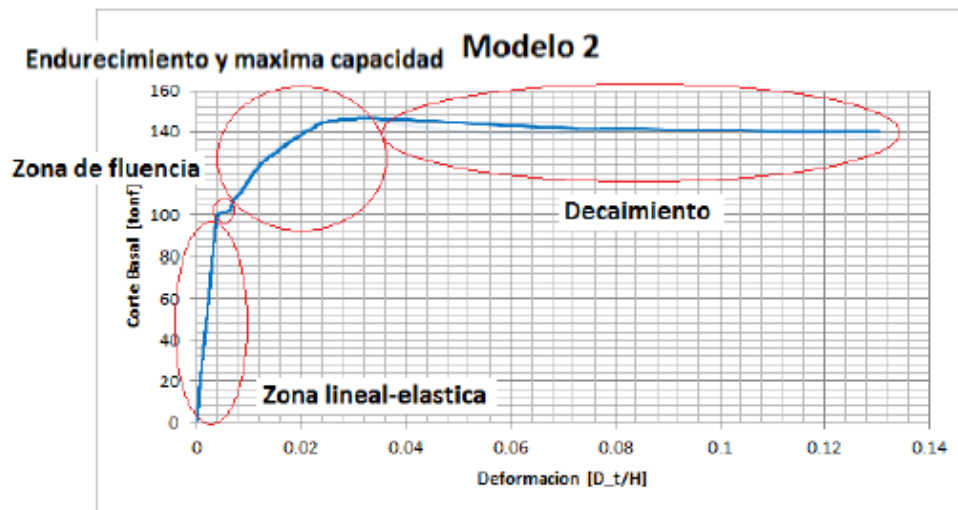


Figura 2-5. Curva de capacidad obtenida por Ruiz S. (2016)

Con el análisis computacional en ANSYS Workbench se logra replicar la falla “punta de diamante” y “pata de elefante” vista en terreno de los estanques analizados, como lo muestra la Figura 2-6. Además, se establece una relación entre la condición de apoyo y el tipo de falla generada al estudiar diferentes configuraciones de borde en dos estanques de diferentes esbelteces.

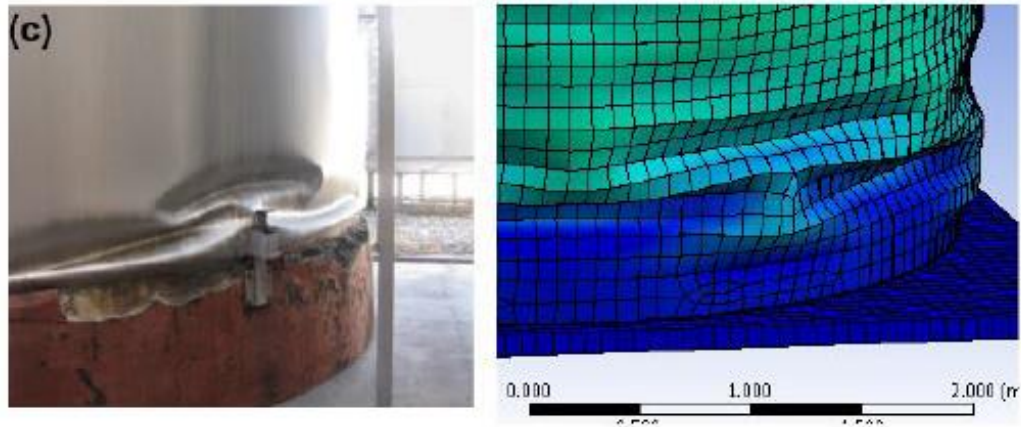


Figura 2-6. Comparación de modo de falla vista en terreno con la obtenida del modelo, estanque 25 (Ruiz, 2016)

### 2.3. Método de capacidad espectral aplicado a estanques

Dado que el método de capacidad espectral descrito en el ATC 40 (1996) se enfoca en el estudio sísmico de edificios, se necesita realizar modificaciones al método para que sea aplicable a estanques. En este sentido, Virella et al (2008) realiza la adaptación para el análisis no lineal basado en el método de capacidad espectral (MCE) de estanques de acero anclados. El procedimiento propuesto en el documento considera modificaciones del método descrito para edificios para poder ser aplicado a estanques.

La principal diferencia, es que el procedimiento propuesto realiza los análisis de capacidad hasta que se genera el primer pandeo en el manto de acero (Figura 2-7), cuando en el MCE las curvas de capacidad se realizan hasta que se genera una inestabilidad numérica en el modelo. Por lo tanto, el resultado que se busca obtener es el peak de aceleración del suelo (PGA) que genera el primer pandeo del estanque. La razón por la que se toma esta consideración es debido a que la capacidad de pandeo del estanque es substancialmente reducida debido a la aparición de una imperfección geométrica (Virella, Suárez, & Godoy, 2008). Para poder conseguir estos resultados, las curvas de capacidades están relacionadas al nodo donde se presenta este pandeo inicial (nodo crítico).

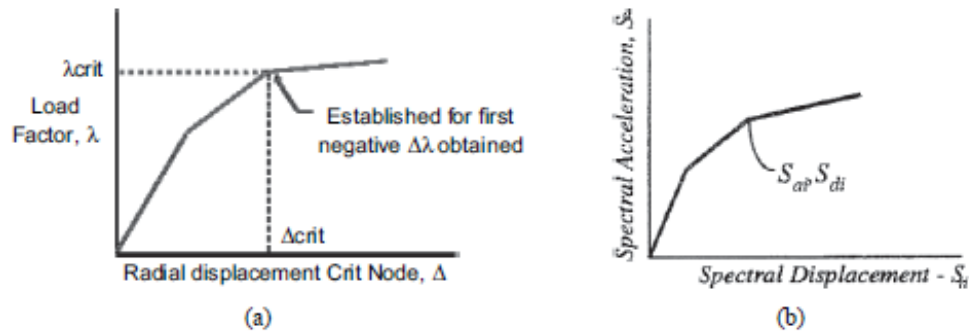


Figura 2-7. Curvas de capacidad para el método propuesto (Virella, Suárez, & Godoy, 2008)

Otra de las principales diferencias, es que utiliza el modo fundamental de vibración, definido como el modo con el mayor factor de participación debido a un movimiento basal horizontal, en vez del primer modo, dado que no siempre el primer modo corresponde al modo fundamental para estanques que contienen líquidos, como lo es habitualmente en edificios. Solo se considera la componente impulsiva de la respuesta hidrodinámica del sistema estanque-líquido.

Los parámetros modales necesarios para el análisis se obtienen a partir de un análisis de valores propios de un estudio previo (Virella, Godoy, & Suárez, 2006), al igual que la modelación de la distribución de la presión impulsiva del líquido (Veletsos & Shivakumar,

1997). Cabe mencionar que la modelación realizada por Ruiz S. (2016) también se basa en este mismo documento.

Con respecto a la demanda y al punto de desempeño también se consideran ciertas modificaciones. Para la demanda consideran un espectro de respuesta con una tasa de amortiguamiento igual al 2%, siguiendo la recomendación de Fischer y Rammerstorfer (1982), en vez del 5% considerado para edificios. Por otra parte, para encontrar el punto de desempeño, el método propuesto no considera factores de reducción espectrales, sino que se escalan los espectros de demanda para que este intercepte el espectro de capacidad (Figura 2-8). Esta consideración es fundamentada en el hecho de que este método se enfoca en obtener el peak de aceleraciones de suelo (PGA) para el que el estanque se pandea elásticamente, por lo que no es necesario reducir la curva de demanda elástica ya que no se busca tener deformaciones no lineales. El valor por el cual se debe escalar el espectro de demanda se denomina factor de ajuste.

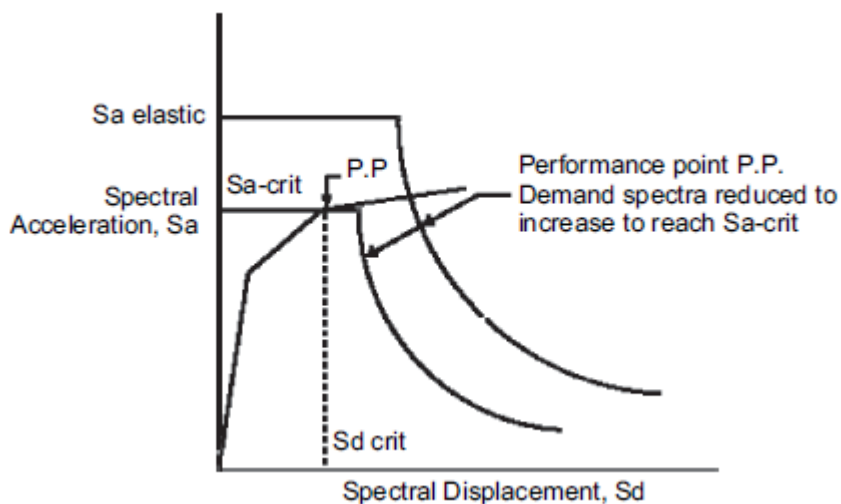


Figura 2-8. Localización del punto de desempeño (Virella, Suárez, & Godoy, 2008)

Para comprobar la validez de este método, Virella et al (2008) aplica este método para tres estanques de distintas relaciones de altura/diámetro, y se comparan los resultados con un análisis dinámico tiempo-historia, como lo muestra la Figura 2-9. De esta comparación, se concluye que el método estático no lineal provee estimaciones conservadoras del peak de aceleraciones de suelo (PGA) que induce el pandeo elástico del manto del estanque.

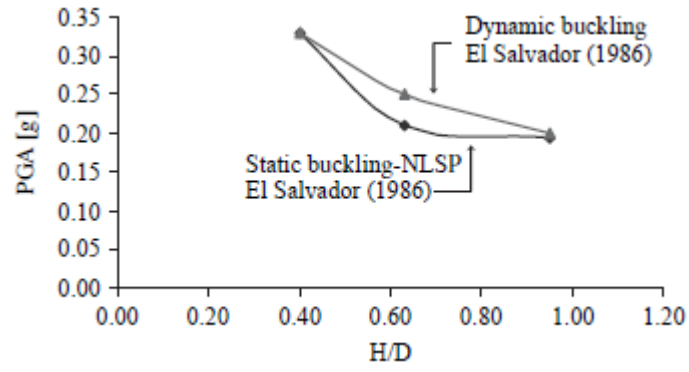


Figura 2-9. Comparación entre el método propuesto y un análisis dinámico (Virella, Suárez, & Godoy, 2008)

## 2.4. Método de escalamiento de registro sísmico

El segundo elemento importante para el método de capacidad espectral es el espectro de respuesta. Este espectro puede ser construido siguiendo los procedimientos y consideraciones de las normas de diseño, o puede ser generado a partir de registros sísmicos de eventos pasados. A continuación, se comentan ambas formas de obtener el espectro de respuesta.

### 2.4.1. Espectro de diseño

La norma NCh 2369 (2003) entrega las indicaciones para el diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales. En ella se indica la ecuación que se debe considerar para determinar el espectro de diseño.

$$S_a = \frac{2.75A_0I}{R} \left(\frac{T'}{T}\right)^n \left(\frac{0.05}{\xi}\right)^{0.4} \quad (9)$$

Donde

$S_a$	=	Aceleración espectral de diseño.
$A_0$	=	Aceleración efectiva máxima del suelo.
$I$	=	Coefficiente de importancia.
$R$	=	Factor de modificación de la respuesta estructural.
$T'$	=	Parámetro que depende del tipo de suelo.
$T$	=	Periodo de vibración del modo considerado.
$n$	=	Parámetro que depende del tipo de suelo.
$\xi$	=	Razón de amortiguamiento.

### 2.4.2. Registro sísmico

La norma NCh 2369 (2003) también hace indicaciones con respecto a la utilización de registros sísmicos para el análisis sísmico. En esta se recomienda utilizar tres registros reales representativos de la zona sismogénica considerada, escalados de tal forma que el espectro resultante de la combinación de los espectros de cada registro no esté por debajo del espectro de diseño en ningún punto del rango de frecuencias de interés. Además, indica que, de utilizar tres registros diferentes, se debe adoptar para el diseño los valores máximos del parámetro de interés (fuerza axial, corte, momento flector y deformaciones), obtenidos de aplicar cada uno de ellos.

En general, el ajuste de los registros consiste en aplicar factores de escala lineales, de forma que el registro se ajuste al espectro de diseño en un rango de periodo cercano al periodo natural de la estructura. Sin embargo, no hay solo una manera de realizar este escalamiento.

Para determinar el método más confiable, Oyarzo (2009) realiza una comparación entre la normativa europea, las directrices norteamericanas y la norma neozelandesa. Como resultado de la comparación, concluye que es más conveniente utilizar un método de ajuste más elaborado sobre un rango de periodos estrecho (como lo indica la normativa neozelandesa). Con estas conclusiones, el autor hace un par de recomendaciones para la norma chilena:

- Es más conveniente utilizar un conjunto de siete o más registros y considerar la respuesta estructural promedio para determinar los valores de demanda.
- Para el escalado de los registros, establecer un rango de periodos de interés estrecho ( $0.4 T_1 < T < 1.3 T_1$ ) y ajustar el espectro de los registros al espectro de diseño, de manera similar a lo sugerido en la norma neozelandesa, lo cual consiste en escalar utilizando dos factores: el factor de escala del registro ( $k_1$ ) y el factor de escala de la familia de registros ( $k_2$ ). El propósito del factor  $k_1$  es ajustar el espectro de cada registro al espectro de diseño de manera de minimizar la función:

$$f = \log \left( k_1 \frac{\text{Espectro de registro}}{\text{Espectro de diseño}} \right) \quad (10)$$

en el rango de periodo de interés. El factor  $k_2$  se utiliza para garantizar que la energía de al menos uno de los registros ya escalados sea mayor a la energía contenida en el espectro de diseño.

$$k_2 = \text{Max} \left\{ \max \left( \frac{\text{Espectro de registro}}{k_1 \text{Espectro de diseño}} \right) \right\} > 1.0 \quad (11)$$



## 2.5. Estados de daño

El análisis de los estados de daños que describen el desempeño de los estanques nos permite entender en qué estado se encuentra este para algún punto específico de su curva de capacidad. Los puntos de daños que se pueden considerar son variados y dependen de cada estructura. Un estudio realizado por Yazdanian et al (2021) genera curvas de fragilidad para estanque de acero inoxidable de la industria vitivinícola a partir de estados de daños definidos según el costo asociado a su reparación. El estudio define seis estados de daños, los cuales son:

- DS1: No presenta daño
- DS2: No requiere reparación, o reparación limitada a la fundación o sistema de anclajes. Rango aproximado de reparación como porcentaje del costo de replazo: 0% a 10%
- DS3: Requiere reparación localizada. Rango aproximado de reparación como porcentaje del costo de replazo: 10% a 25%
- DS4: Requiere reemplazo de zona localizada. Rango aproximado de reparación como porcentaje del costo de replazo: 25% a 50%
- DS5: Requiere reemplazo de sección. Rango aproximado de reparación como porcentaje del costo de replazo: 50% a 75%
- DS6: Daño extenso del estanque. Rango aproximado de reparación como porcentaje del costo de replazo: 75% a 100%

Con los seis estados de daños definidos se generan curvas de fragilidad (Figura 2-10) para estanques de base plana y estanques apoyado mediante patas, considerando estanques de diferentes capacidades y para las condiciones de estanque vacío y estanque lleno. Estas curvas de fragilidad son de gran utilidad para estimar las probabilidades de los daños que se generarían para un cierto nivel de intensidad sísmica, permitiendo una estimación de los costos económicos.

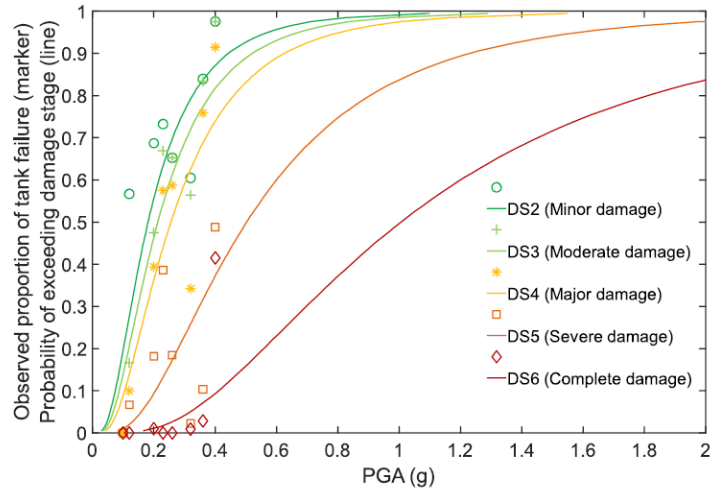


Figura 2-10. Curvas de fragilidad para estanques de base plana (Yazdanian, y otros, 2021)

## Capítulo 3: Análisis Previos

### 3.1. Análisis modal

Para la construcción de las curvas de capacidad en formato ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectra) se requiere de parámetros modales de los estanques. Por esta razón, se realiza un análisis modal utilizando el programa de elementos finitos ANSYS. Como base se utilizan los modelos realizados en el estudio de Ruiz S. (2016), los cuales son modificados para poder aplicarles un análisis modal. Este análisis modal se aplica a los modelos del 9 al 15 y los modelos 5 y 7 del estudio de Ruiz S. (2016), considerando por lo tanto estanques anclados, simplemente apoyados y anclados mediante resortes (se consideran resortes con diferentes niveles de rigidez, Tabla 3-1 y Tabla 3-2). Los resortes considerados en los modelos del 11 al 18 se modelan a través de una curva Tensión-Deformación de tipo bilineal, utilizando ocho resortes distribuidos en el perímetro del estanque, siguiendo la modelación realizada por Ruiz S. (2016). Se denomina resorte principal al resorte más solicitado, ubicado en el sentido contrario de la dirección de la carga hidrodinámica.

*Tabla 3-1. Resistencia máxima de resortes para modelos del estanque 25*

Modelo	Resistencia Máx. Resorte (ton)
11	25
16	30
17	35
18	45

*Tabla 3-2. Resistencia máxima de resorte para modelos del estanque 27*

Modelo	Resistencia Máx. Resorte (ton)
12	25
13	12.5
14	6.2
15	31

La principal modificación que se realiza a los modelos es la incorporación de la masa de agua, dado que en el estudio de Ruiz S. (2016) esta se representa mediante presiones (solo considera la masa impulsiva), como muestra la Figura 3-1. Además, inicialmente se aplica la presión hidrostática y el peso propio del estanque como un estado de pretensión.

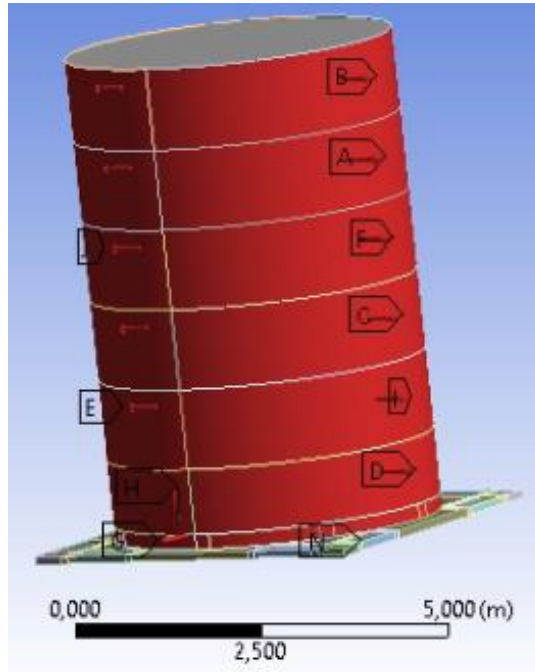


Figura 3-1. Presiones modelo Ruiz S. (2016)

La masa de agua incorporada al modelo se determina con la ecuación ( 12 ), según lo que indica Virella et al (2005) la cual depende de la presión de la masa impulsiva, descrita en la ( 13 ). Luego, la masa correspondiente al nivel del estanque se distribuye en todo el perímetro de este, conectado al manto mediante un elemento tipo link/truss, y, además, se restringe el movimiento de la masa, de forma que solo se mueva en la dirección radial, como lo muestra la Figura 3-2 y la Figura 3-3.

$$m_i = \frac{P_i \Delta h}{a_n} \quad (12)$$

Donde

- $m_i$  = Masa al nivel i.
- $P_i$  = Presión al nivel i.
- $a_n$  = Amplitud de aceleración horizontal.

$$P_i(\eta, \theta, t) = c_i(\eta)\rho R\ddot{x}_g(t)\cos\theta \quad (13)$$

Donde

- $P_i$  = Presión de la componente impulsiva.
- $\eta$  = Posición de la coordenada vertical adimensional ( $z/H$ ).
- $\theta$  = Posición de la coordenada angular medida desde la dirección de la perturbación.
- $t$  = Tiempo.
- $c_i(\eta)$  = Variación axial de la componente impulsiva.
- $\rho$  = Densidad del fluido.
- $R$  = Radio del estanque.
- $\ddot{x}_g$  = Aceleración basal.

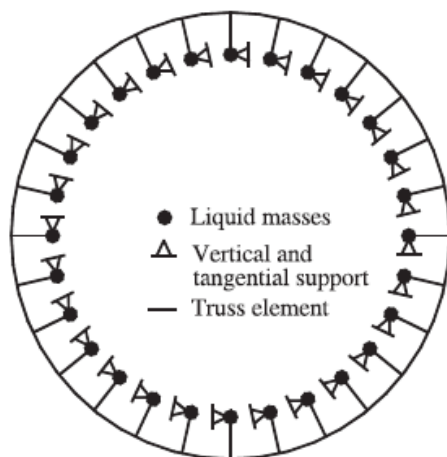


Figura 3-2. Modelo de masas normales (Virella, Suarez, & Godoy, 2005)

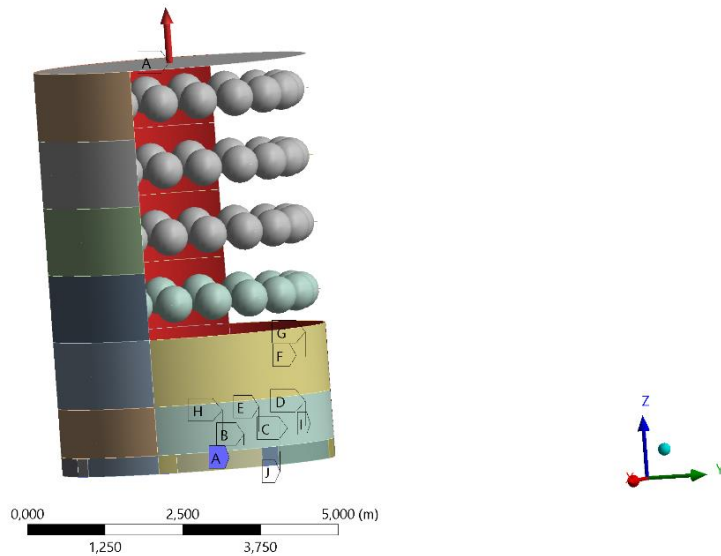


Figura 3-3. Modelo en ANSYS de masas normales para el Modelo 5

El valor de cada masa puntual y los parámetros modales obtenidos a través del modelo de masas normales se presentan de la Tabla 3-3 a la Tabla 3-6. Los parámetros modales considerados son el factor de participación (F.P), el coeficiente de masa modal ( $\alpha$ ) y la coordenada de la forma modal del modo fundamental ( $\varphi$ ), los cuales son obtenidos del programa ANSYS.

Tabla 3-3. Masas Estanque 25

Altura %	Masa 0° (kg)	Masa 20° (kg)	Masa 40° (kg)	Masa 60° (kg)	Masa 80° (kg)
0.93	969.25	855.87	568.78	242.31	29.23
0.76	1874.99	1655.66	1100.29	468.75	56.54
0.59	2211.57	1952.87	1297.81	552.89	66.69
0.42	2343.29	2069.18	1375.10	585.82	70.66
0.25	2394.31	2114.23	1405.04	598.58	72.20
0.08	2411.63	2129.53	1415.21	602.91	72.72

Tabla 3-4. Masas Estanque 27

Altura %	Masa 0° (kg)	Masa 20° (kg)	Masa 40° (kg)	Masa 60° (kg)	Masa 80° (kg)
0.93	953.77	842.20	559.69	238.44	28.76
0.76	2016.37	1780.50	1183.25	504.09	60.80
0.59	2558.87	2259.54	1501.60	639.72	77.16
0.42	2848.90	2515.64	1671.80	712.23	85.90
0.25	2998.63	2647.86	1759.67	749.66	90.42
0.08	3061.60	2703.46	1796.62	765.40	92.32

Tabla 3-5. Parámetros modales para modelos de Estanque 25

Modelo	Modo Fundamental					
	Periodo (s)	F.P.	$\alpha$	$\varphi$ Techo	$\varphi$ N.C.R. <sup>1</sup>	$\varphi$ N.C.P. <sup>2</sup>
Modelo 5 (Anclado)	0.218	145.403	0.181	0.072	0.200	0.002
Modelo 9 (Simplemente apoyado)	0.152	179.861	0.196	0.361	1.000	0.021
Modelo 11 (Resorte 25t)	0.309	199.343	0.301	0.062	0.045	0.012
Modelo 16 (Resorte 30t)	0.309	199.343	0.301	0.062	0.045	0.012
Modelo 17 (Resorte 35t)	0.309	199.343	0.301	0.062	0.045	0.012
Modelo 18 (Resorte 45t)	0.309	199.342	0.301	0.062	0.045	0.012

Tabla 3-6. Parámetros modales para modelos de Estanque 27

Modelo	Modo Fundamental					
	Periodo (s)	F.P.	$\alpha$	$\varphi$ Techo	$\varphi$ N.C.R.	$\varphi$ N.C.P.
Modelo 7 (Anclado)	0.236	224.369	0.357	0.063	0.026	0.007
Modelo 10 (Simplemente apoyado)	0.243	189.758	0.155	0.037	0.100	0.001
Modelo 12 (Resorte 25t)	0.362	179.755	0.142	0.020	0.023	0.010
Modelo 13 (Resorte 12t)	0.362	179.754	0.142	0.020	0.023	0.010
Modelo 14 (Resorte 6t)	0.362	179.754	0.142	0.020	0.023	0.010
Modelo 15 (Resorte 3t)	0.362	179.754	0.142	0.020	0.023	0.010

<sup>1</sup> Nodo critico radial, definido en sección 3.2.3

<sup>2</sup> Nodo critico paralelo, definido en sección 3.2.3

### 3.2. Validación método de Virella et al (2008)

Como primera aproximación al método de capacidad espectral, se toma como modelo lo realizado por Virella et al (2008). Para poder determinar si esta forma de aplicar el método de capacidad espectral es válida para los estanques a estudiar en esta memoria, se realiza un análisis al Modelo 5 del estudio de Ruiz S. (2016) aplicando este método. La razón por la que se escoge el Modelo 5, es debido a que comparte la condición de empotrado en la base, al igual que los estanques considerados por Virella et al (2008). El estudio de validación del método se lleva a cabo dado que la tipología de estanques que se analizan en Virella et al (2008) son de grandes dimensiones, diámetro y altura de 30 metros aproximadamente, sin embargo, los estanques analizados en este estudio son de altura y diámetro de seis metros aproximadamente, con espesores de manto de 2.5 milímetros.

Otra consideración que se tiene a la hora de aplicar este método consiste en monitorear el desplazamiento del techo en vez del nodo crítico, que es lo que monitorea Virella et al (2008). Esta consideración tiene como objetivo determinar si las curvas de capacidad obtenidas por Ruiz S. (2016), las cuales analiza el desplazamiento de techo, son útiles a la hora de aplicar el método de capacidad espectral.

Una vez realizado el análisis modal, cuyos resultados se representan de la Figura 3-4 a la Figura 3-6, se obtienen los parámetros modales indicados en la Tabla 3-7.

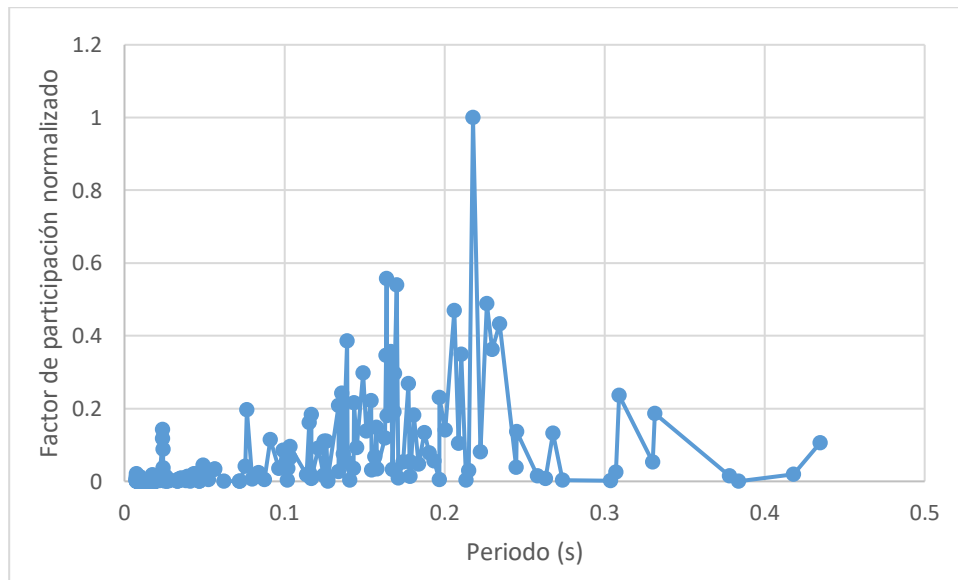


Figura 3-4. Factor de participación normalizado (dirección Y) para los diferentes periodos naturales del Modelo 5 (F.P./F.P.máx)



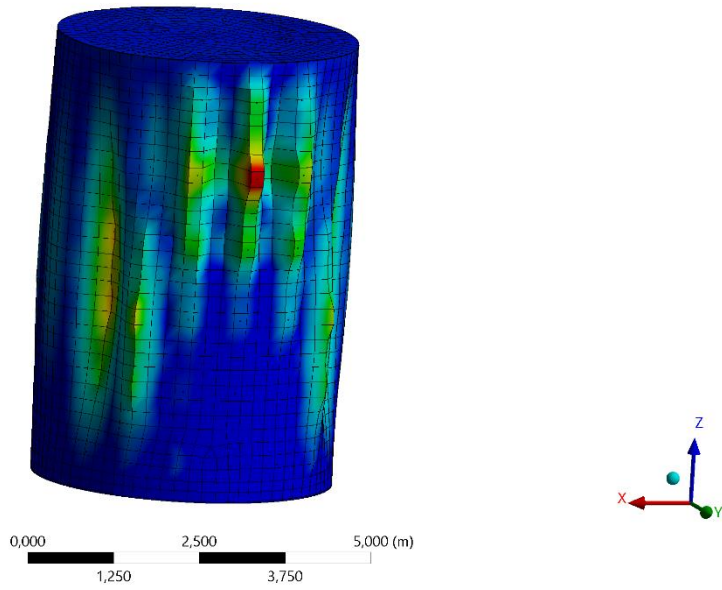


Figura 3-5. Modo fundamental del Modelo 5 obtenido con el modelo de masas normales

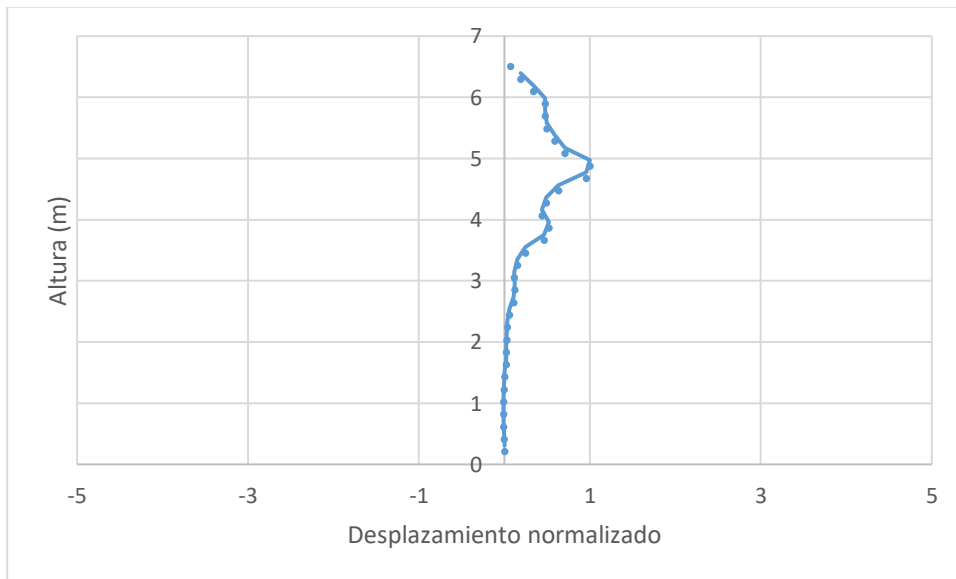


Figura 3-6. Deformada del modo fundamental para el Modelo 5 en el meridiano de mayor desplazamiento

Tabla 3-7. Parámetros modales para el modo fundamental del Modelo 5

Periodo (s)	F.P.	$a_f$	$\varphi_{roof}$
0.218	145.403	0.181	0.075

En la Figura 3-4 se puede observar que si bien hay un modo que sobresale, este no se puede considerar como un modo global, debido a que la masa asociada a este modo es muy baja, solo cercana al 20%, más bien, se puede concluir que el comportamiento modal del modelo esta influenciado por modos locales.

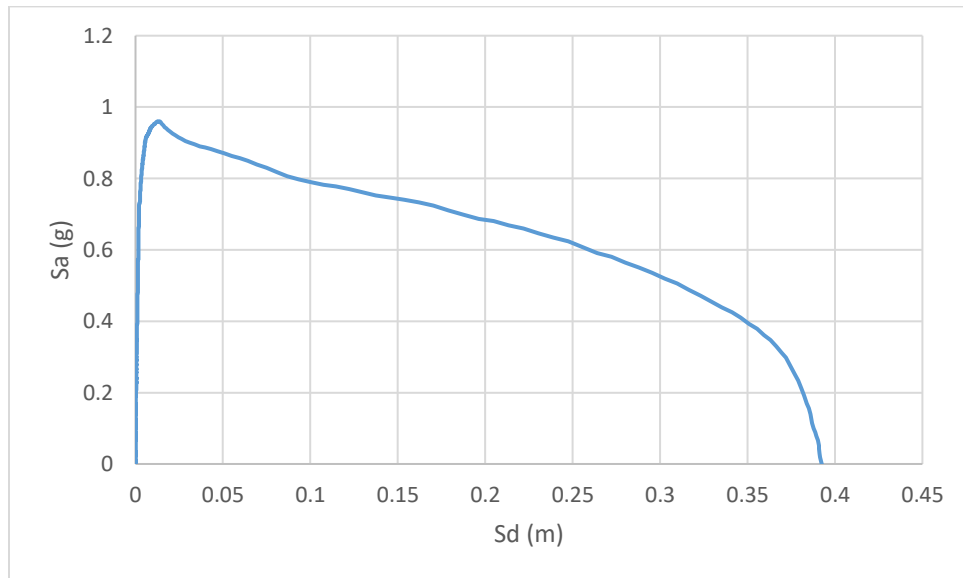


Figura 3-7. Espectro de capacidad del modelo 5

Con los parámetros modales mostrados en la Tabla 3-7 se construyen el espectro de capacidad de la Figura 3-7. Para obtener el punto de desempeño, se construye un espectro de diseño según indicaciones de la norma NCh 2369 (INN, NCh 2369 Of 2003). Se decide realizar el análisis bajo condiciones desfavorables, por lo que se considera suelo tipo II en zona sísmica 3. Además, se escoge un  $R = 1$ , dada la mínima capacidad de disipar energía de los estanques de acero pared delgada; y un parámetro de importancia  $I = 1$ , dado el impacto que tiene la falla de este. Con todos estos parámetros, se construye el espectro de diseño de la Figura 3-8. Finalmente, utilizando la ecuación ( 1 ), extraída del documento ATC-40 (1996), se transforma el espectro de diseño a un formato ADRS (Figura 3-9).

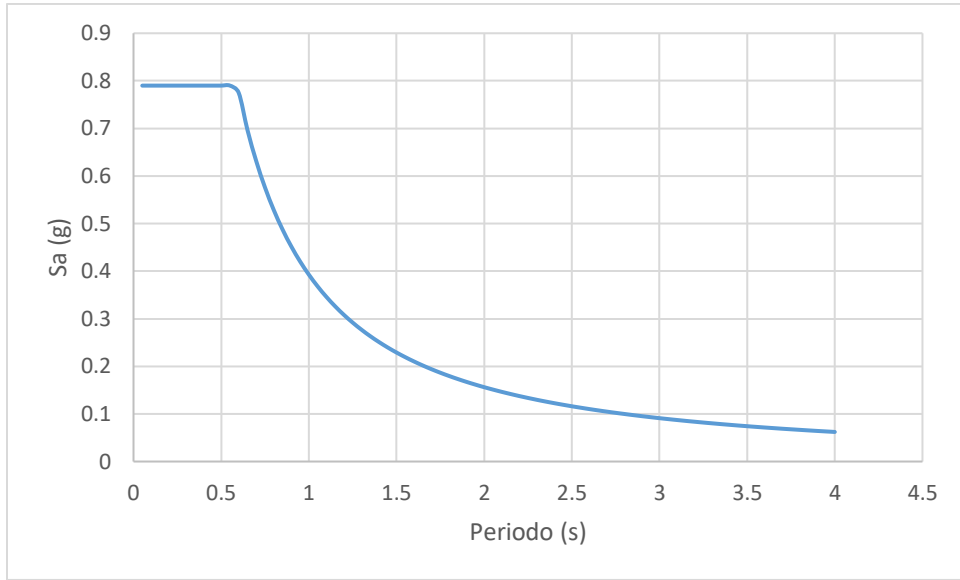


Figura 3-8. Espectro de diseño según la norma NCh 2369

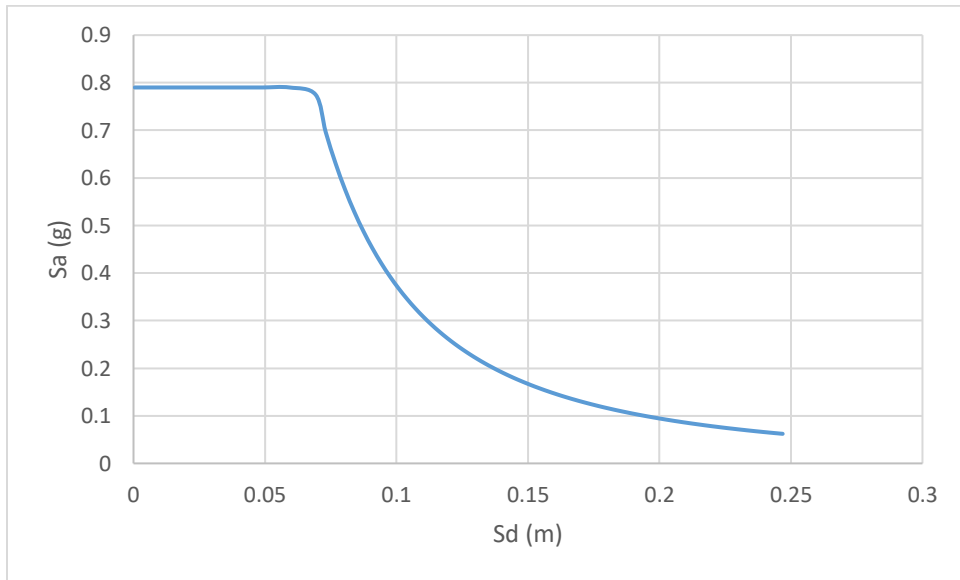


Figura 3-9. Espectro de diseño según la norma NCh 2369 en formato ADRS

El punto de desempeño se determina interceptando el espectro de diseño con el espectro de capacidad en el punto donde comienza la fluencia del estanque, la cual se determina como el último valor de aceleración previa a un incremento negativo  $\Delta Sa$ , como muestra la Figura 3-10, siguiendo lo indicado por Virella et al (2008). Los resultados se resumen en la Tabla 3-8.

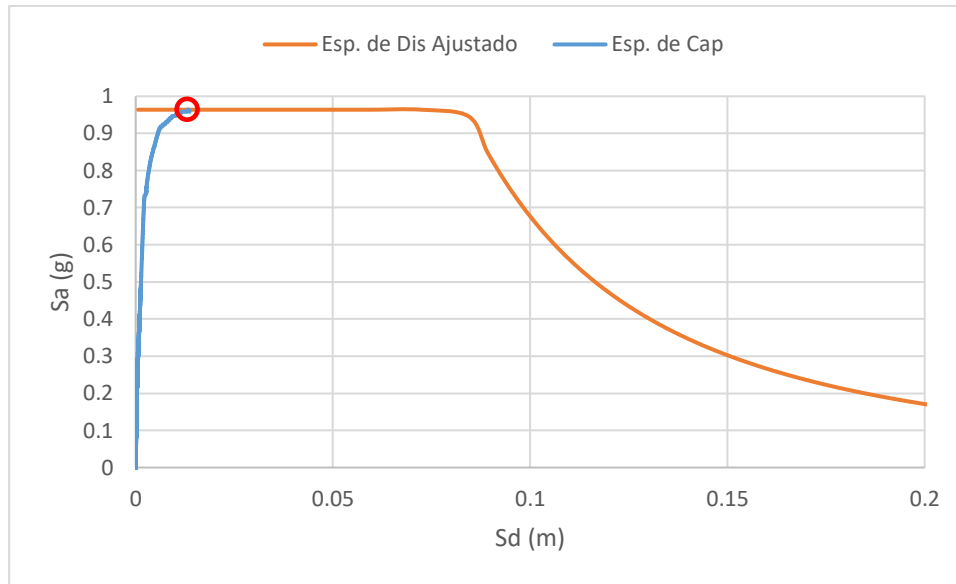


Figura 3-10. Punto de desempeño del Modelo 5 para el espectro de diseño según NCh 2369

Tabla 3-8. Resultados del Modelo 5 para el espectro de demanda según NCh 2369

$S_a$ Crítico (g)	$S_d$ Crítico (m)	$\Delta_{techo}$ (m)	PGA (g)
0.961	0.013	0.137	0.386

Sin un análisis más exhaustivo no se puede concluir que sea incorrecto considerar el desplazamiento de techo para la obtención del punto de desempeño, por lo tanto, no se descarta.

### 3.2.1. Análisis de sensibilidad de espesor de manto

Dado que los estanques estudiados por Virella et al (2008) son de grandes dimensiones, el espesor del manto de estos es mucho mayores a los analizados en este estudio (30 a 10 mm). Por esta razón, se realiza un análisis de sensibilidad, aumentando el espesor del estanque 25, para determinar si este aumento logra desarrollar un modo tipo viga en voladizo, la cual es el tipo de modo que se observa en Virella et al (2008). Los espesores considerados para el estanque 25 son 2.5, 5 y 10 milímetros.

Para aplicar el método de capacidad espectral a los estanques de espesores mayores, se debe realizar un nuevo análisis pushover, aumentando la aceleración máxima a la que se somete al estanque. Se aplica una carga lineal creciente que llega a los 20g a los 70 segundos, para de esta forma mantener lo estipulado por Ruiz S. (2016), alcanzando los 3g a los 10 segundos.

Con los resultados obtenidos del análisis, se determina que la deformada del estanque de espesor real no difiere en gran medida desde los cinco metros de la altura del estanque

hacia abajo, a diferencia de la zona superior donde si se aprecia una diferencia con lo planteado por Virella et al (2008). Lo anterior se puede atribuir a la diferencia entre los espesores de los estanques de ambos estudios, ya que al realizar el análisis del Modelo 5 aumentado el espesor del manto, se puede observar como la deformada del modo fundamental va tomando la forma de una viga en voladizo (Figura 3-11). Además, de la Figura 3-12 y la Figura 3-13 se observa que el aumento de espesor induce una mejor capacidad estructural del estanque, obteniéndose el doble del valor del corte basal al aumentar al doble el espesor del manto, lo que significa que se obtendrían valores mayores de PGA crítico.

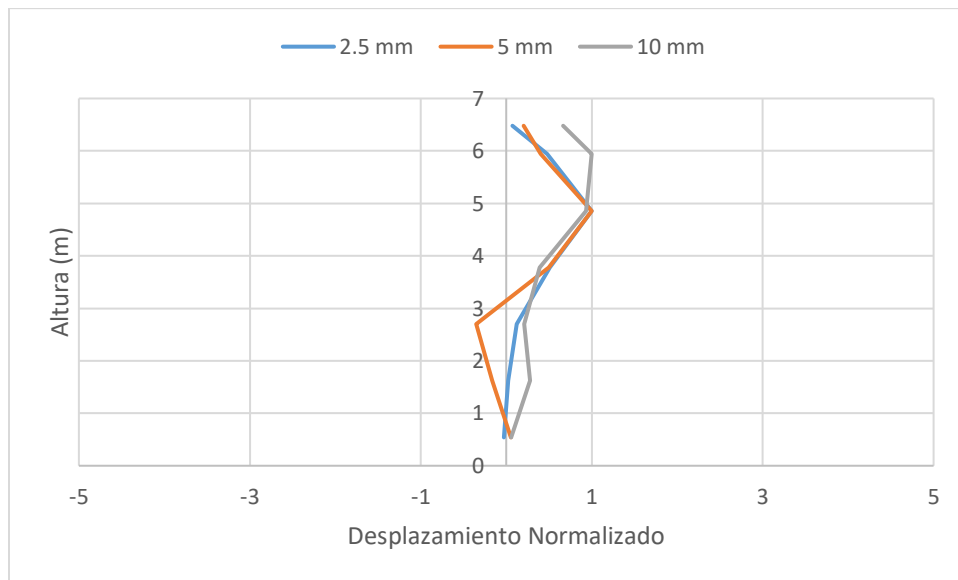


Figura 3-11. Deformada del modo fundamental del Modelo 5 para diferentes espesores de manto

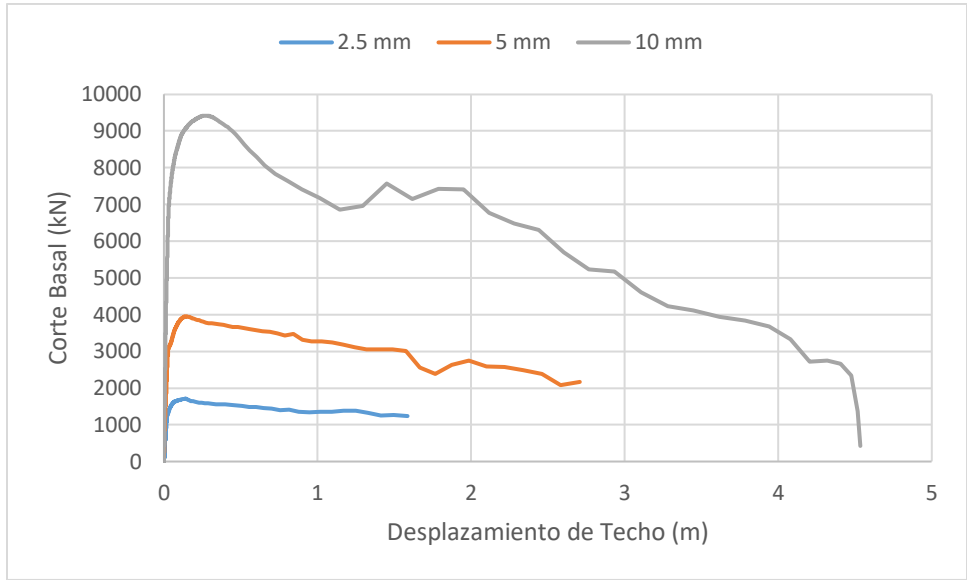


Figura 3-12. Curvas de capacidad del Modelo 5 para diferentes espesores de manto

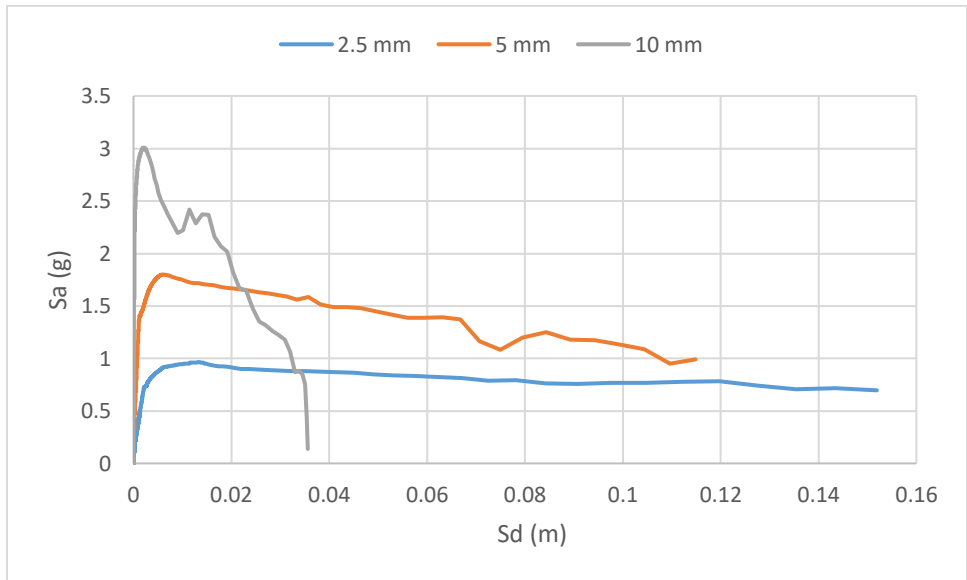


Figura 3-13. Espectro de capacidad del Modelo 5 para diferentes espesores de manto

### 3.2.2. Análisis de sensibilidad de espesor de techo

En el estudio realizado por Ruiz S. (2016) se determina que el espesor del techo tenga un valor de 10 milímetros, para de esta forma poder medir de forma más precisa el desplazamiento de techo al mantener la forma del estaque. Por esta razón se realiza un análisis para determinar la implicancia que tiene el imponer un espesor de techo mayor al real.

Con los resultados mostrados de la Figura 3-14 a la Figura 3-16, se puede concluir que las implicancias de imponer un espesor de 10 mm en el techo del estanque son mínimas, por lo que no es necesario modificar los modelos generados por Ruiz S. (2016).

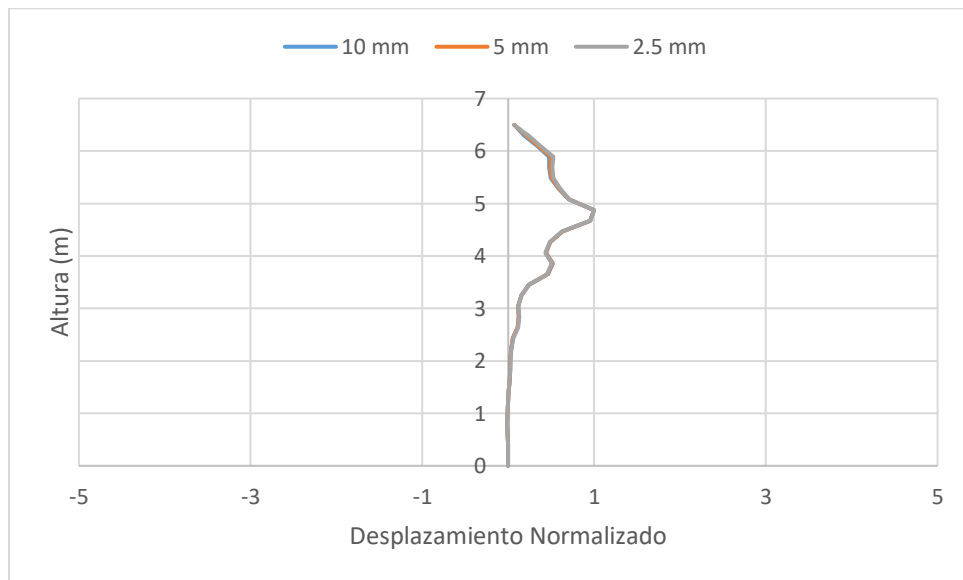


Figura 3-14. Deformada del modo fundamental del Modelo 5 para diferentes espesores de techo

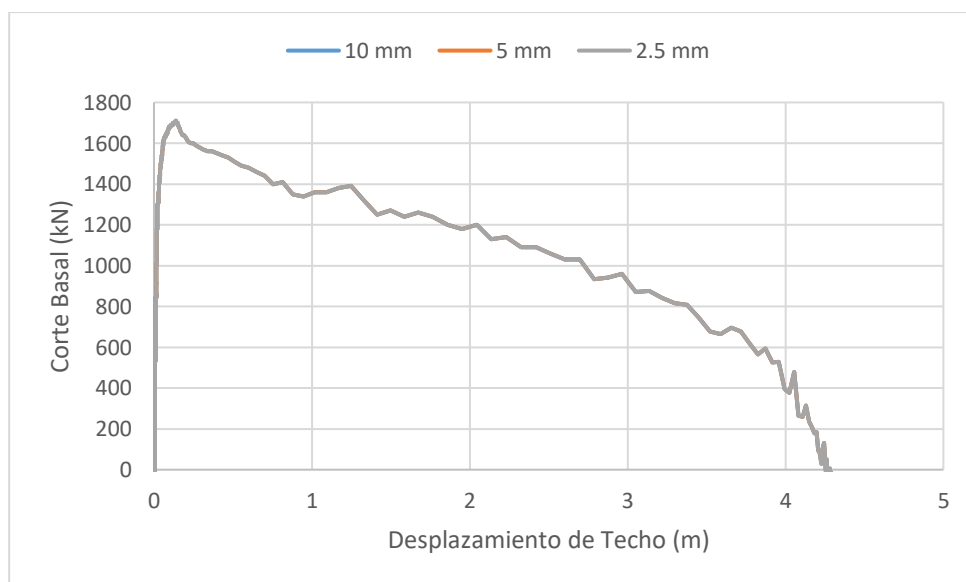


Figura 3-15. Curvas de capacidad del Modelo 5 para diferentes espesores de techo

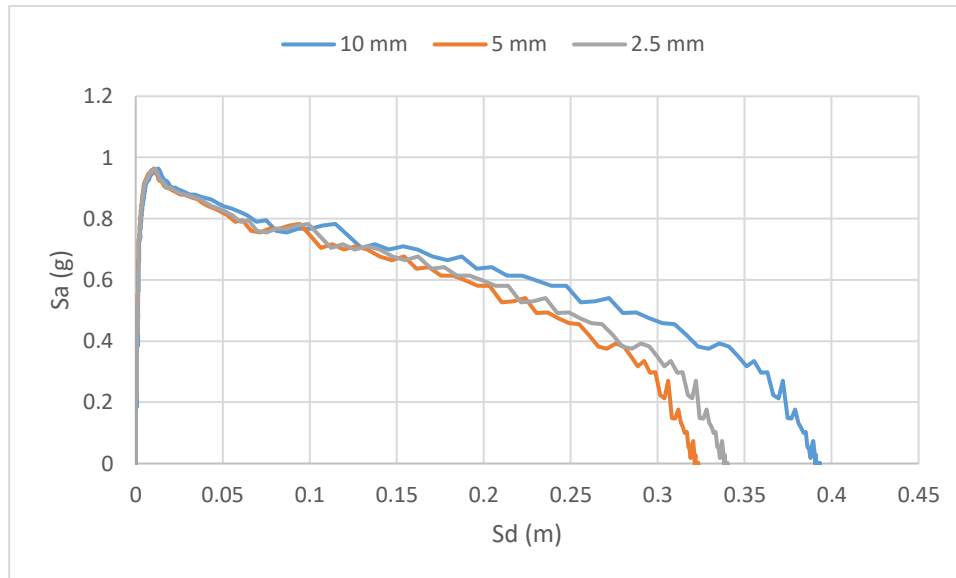


Figura 3-16. Espectro de capacidad del Modelo 5 para diferentes espesores de techo

### 3.2.3. Análisis zona de medición de desplazamiento

A diferencia del método descrito en el ATC-40 (1996), el método de Virella et al (2008) no considera el desplazamiento de techo para construir la curva de capacidad, sino el desplazamiento radial del nodo crítico donde se genera el primer pandeo del manto. Por consiguiente, se realiza una comparación para determinar las diferencias que implica el considerar el techo o el nodo crítico, el cual se determina de manera visual a través del programa ANSYS. Las comparaciones se muestran en la Figura 3-17, Figura 3-18 y en la Figura 3-19.



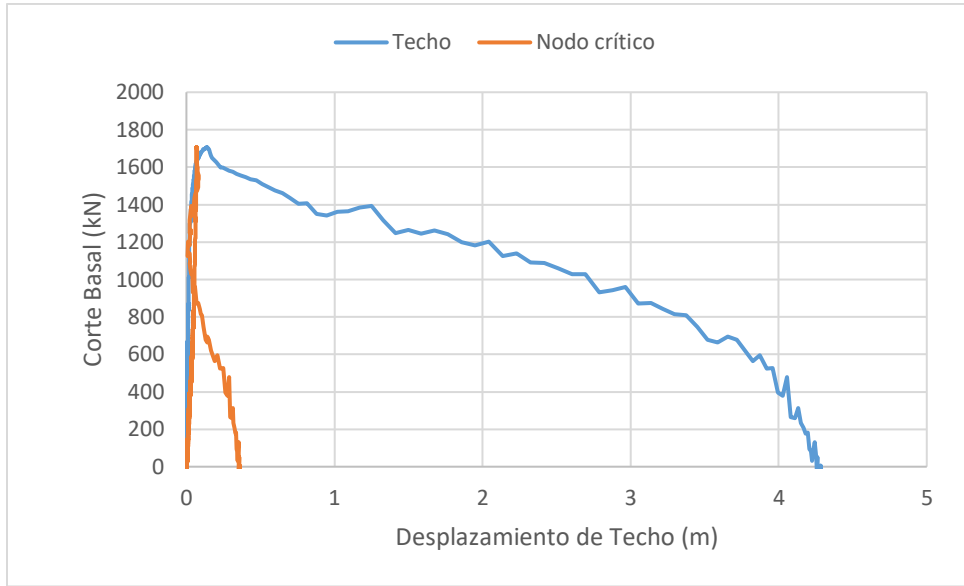


Figura 3-17. Comparación curva de capacidad Modelo 5 (techo - nodo crítico)

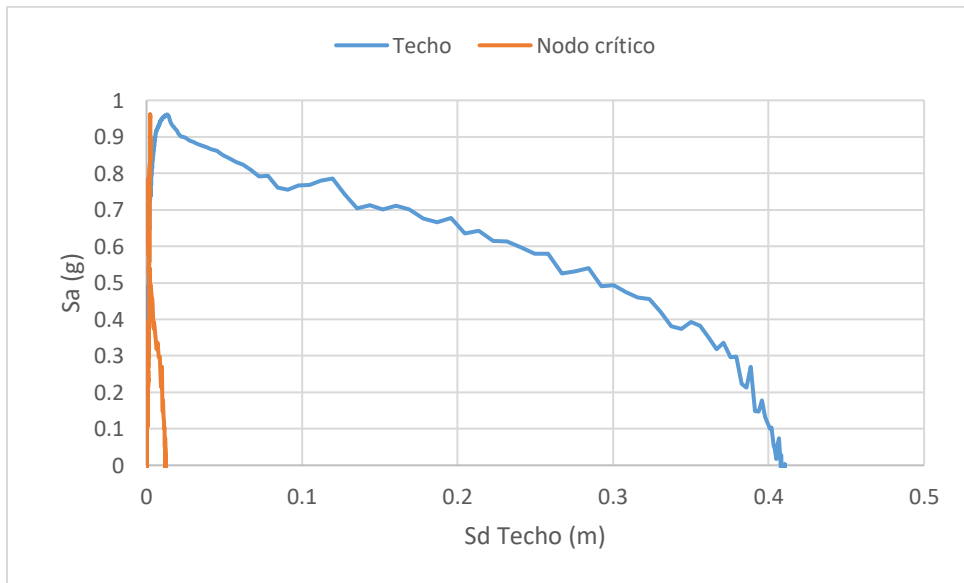


Figura 3-18. Comparación espectro de capacidad Modelo 5 (techo - nodo crítico)

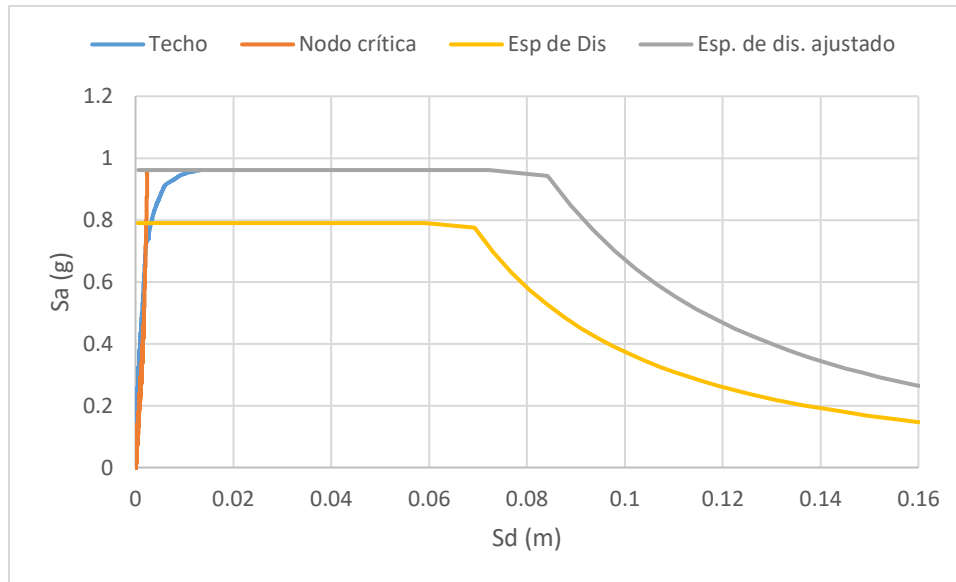


Figura 3-19. Comparación punto de desempeño Modelo 5 (techo - nodo crítico)

Tabla 3-9. Comparación desplazamiento del punto de desempeño (techo - nodo crítico)

Zona de medición	$\varphi$	$S_d$ (m)
Techo	0.072	0.013
Nodo crítico	0.200	0.002

El nodo donde comienza el pandeo del manto en el Modelo 5 se encuentra en la zona media del estanque, como muestra la Figura 3-20. Por esta razón, la principal diferencia de considerar el nodo crítico en lugar del techo radica en valor del desplazamiento del punto de desempeño, ya que al encontrarse en la zona media del manto los desplazamientos son menores. Por el otro lado, el valor de la aceleración del punto de desempeño no varía.

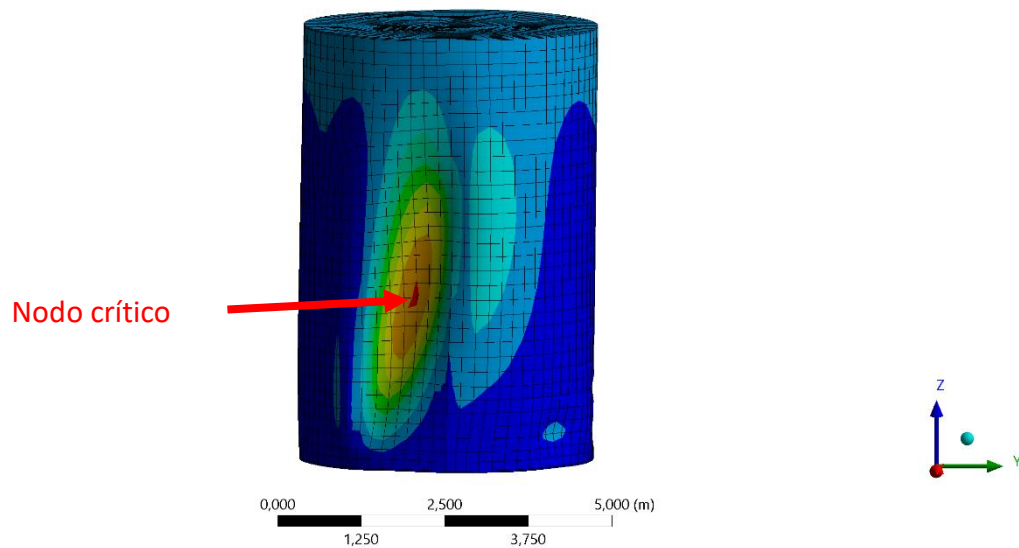


Figura 3-20. Ubicación nodo crítico del Modelo 5 (zona roja)

Dado que uno de los análisis a realizar en este estudio consiste en la comparación entre los daños esperados según el método de capacidad espectral y los daños observados en terreno, resulta conveniente analizar los desplazamientos del nodo crítico, ya que de esta forma es más sencillo observar el daño que sufre el manto. Sin embargo, dado que el desplazamiento de este se desarrolla en la dirección perpendicular a la dirección de excitación aplicado, se decide realizar los análisis de forma paralela para tres configuraciones:

- Desplazamiento de techo en dirección Y (dirección de excitación)
- Desplazamiento de nodo crítico en dirección radial
- Desplazamiento de nodo crítico en dirección Y (paralelo a dirección de excitación, Figura 3-21)

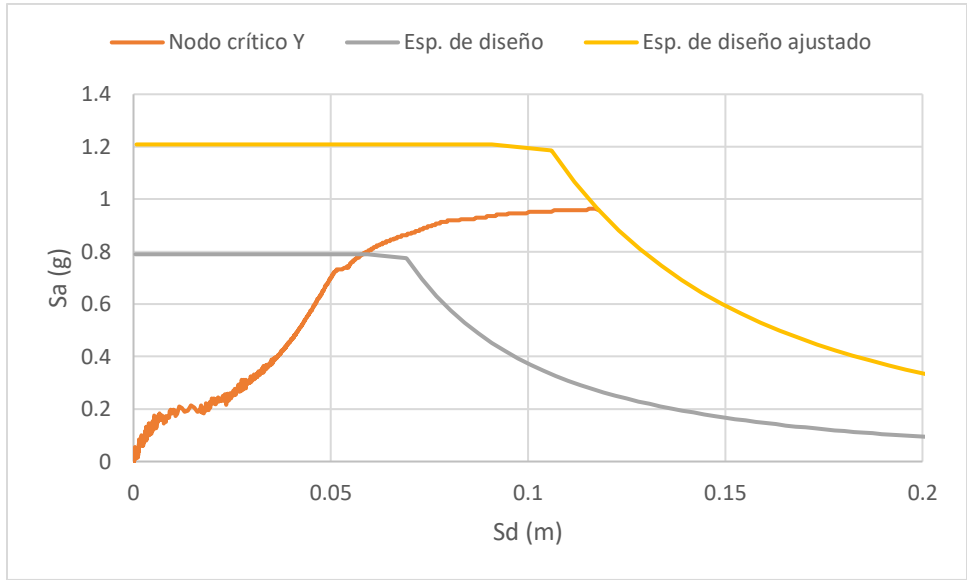


Figura 3-21. Punto de desempeño para Modelo 5 considerando el desplazamiento del nodo crítico en dirección Y

Cabe destacar que la medición del desplazamiento del nodo crítico en la dirección paralela a la aceleración no corresponde a una descomposición del desplazamiento radial del nodo crítico, sino que es medido con respecto a un sistema de referencia fijo que no varía, mientras que el desplazamiento radial del nodo crítico es medido con respecto a un sistema de referencia ubicado en el centro del estanque, por lo cual este sistema de referencia se desplaza en conjunto con el estanque, para de esta forma solo captar el desplazamiento que corresponde al pando de manto.

### 3.3. Espectros de diseño

Como primer análisis, se utilizan espectros de diseño para determinar los puntos de desempeño para los estanques 25 y 27. Los espectros a considerar corresponden al espectro presentado en la norma NCh 2369 (INN, NCh 2369 Of 2003), la cual se presenta en la sección 3.2, y al espectro descrito en la norma NCh2745 (INN, NCh 2745 Of 2003). La razón por la que se incluye el espectro de la norma NCh 2745, teniendo en cuenta que esta norma corresponde al análisis de estructuras aisladas sísmicamente, es dado que se obtienen deformaciones más cercanas a las observadas durante un evento sísmico (Barbieri, 2016). Este nuevo espectro de diseño se construye con las mismas consideraciones utilizadas en el espectro anterior, zona sísmica 3 y suelo tipo II (Figura 3-22).

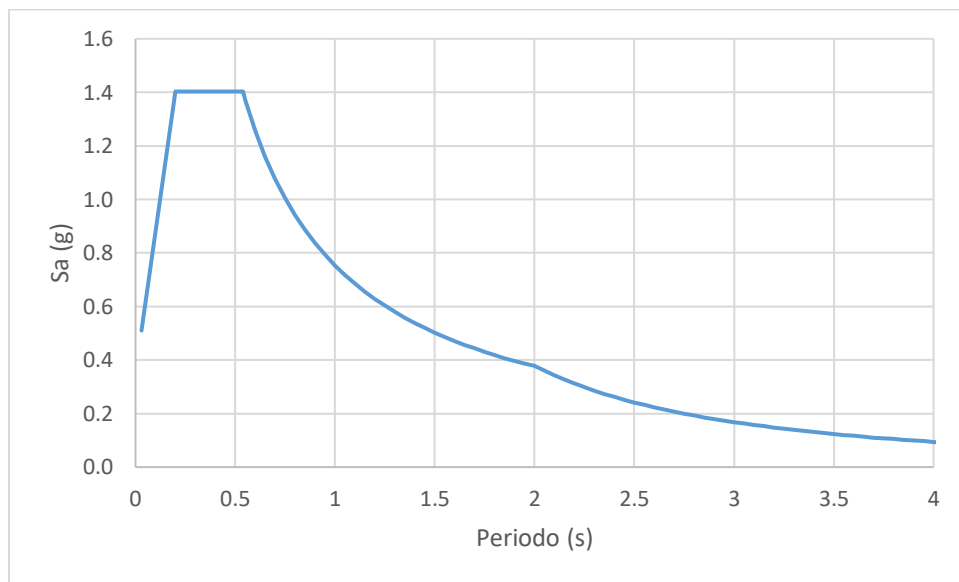


Figura 3-22. Espectro de diseño según la norma NCh 2745

El espectro de diseño de la norma NCh 2745 (INN, NCh 2745 Of 2003) contiene, además de un rango de aceleración espectral constante, una zona de velocidad espectral constante, por lo que para construir el espectro de diseño en formato ADRS, se utiliza la ecuación ( 1 ) para el primer rango, y la ecuación ( 14 ) para el segundo rango. El espectro de diseño obtenido finalmente se muestra en la Figura 3-23.

$$S_d = \frac{T}{2\pi} S_v \quad (14)$$

Donde:

- $T$  = Período.
- $S_v$  = Constante de velocidad espectral.
- $S_d$  = Desplazamiento espectral.

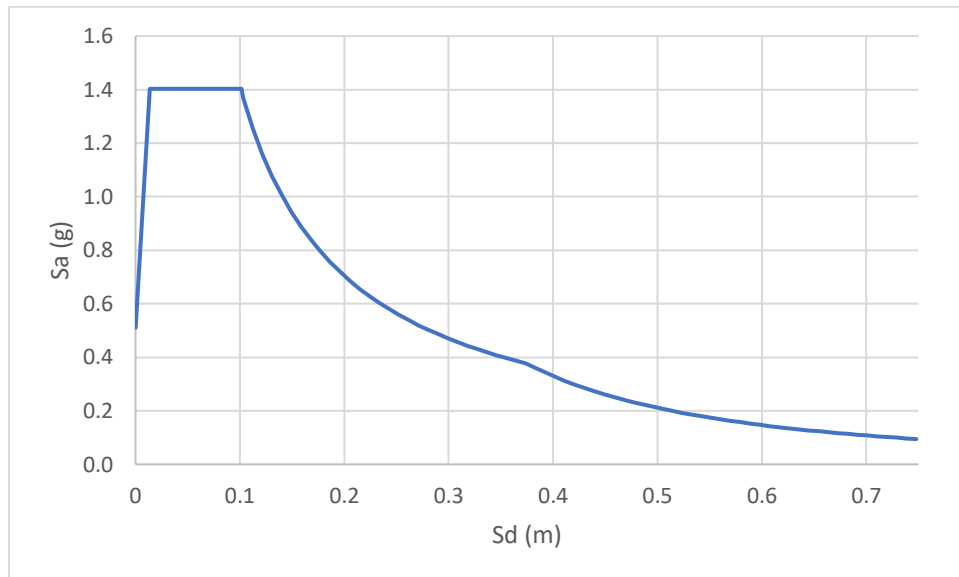


Figura 3-23. Espectro de diseño según la norma NCh 2745 en formato ADRS

### 3.4. Espectros sísmicos

Para obtener los puntos de desempeño para espectros sísmicos, se consideran los registros sísmicos asociados al terremoto del 27 de febrero del 2010 (Mw=8.8) de cinco estaciones, ubicadas en las localidades de Constitución, Curicó, Hualañé, Matanza y Talca, las cuales corresponden a las estaciones sísmicas más cercanas a la zona donde se localizaban los estanques analizados (De Figura 3-24 a Figura 3-28). Para pasar del espectro de respuesta en función del periodo a uno en función del desplazamiento espectral, se utiliza la ecuación ( 1 ). **Se considera una tasa de amortiguamiento del 2%.**

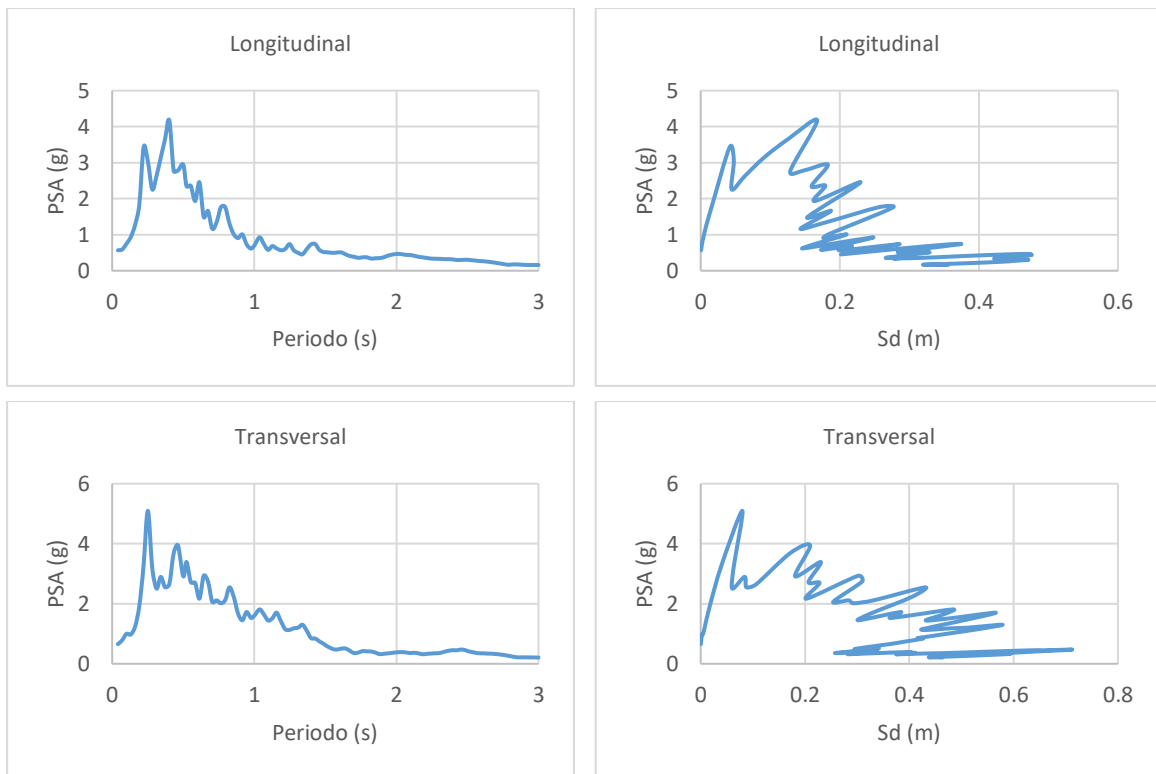


Figura 3-24. Espectros sísmicos para registro sísmico de Constitución

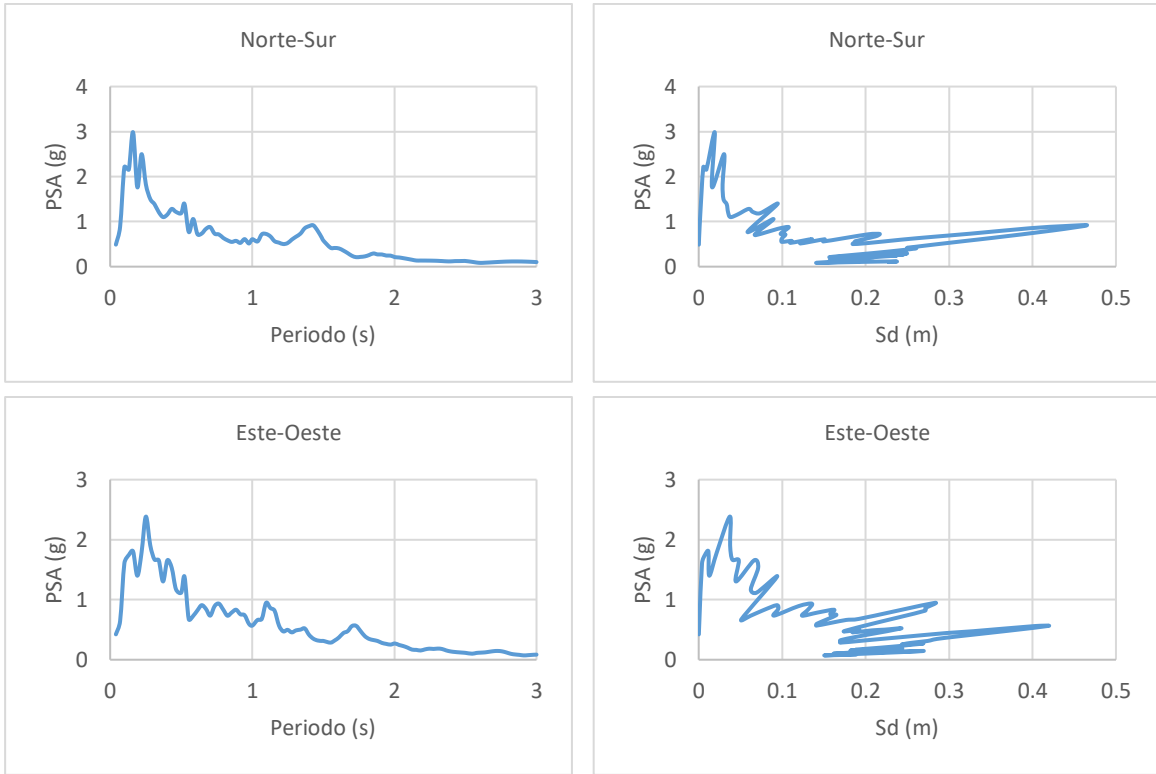


Figura 3-25. Espectros sísmicos para registro sísmico de Curicó

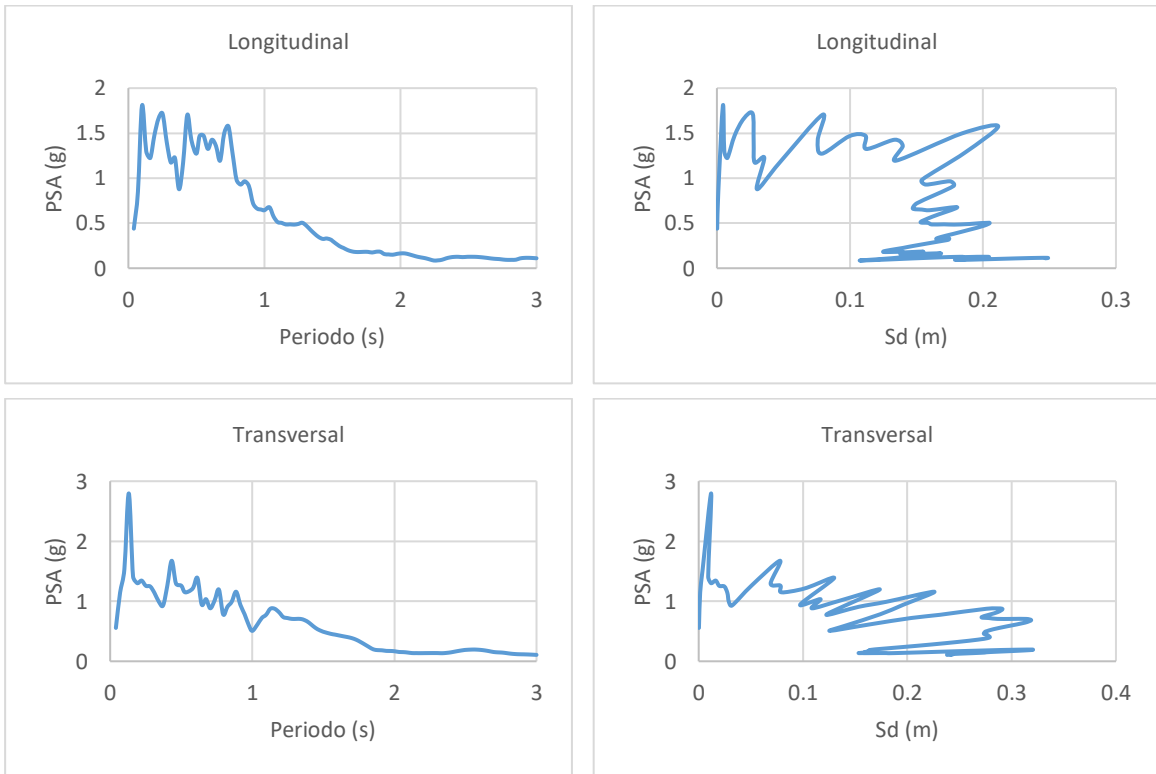


Figura 3-26. Espectros sísmicos para registro sísmico de Hualañe



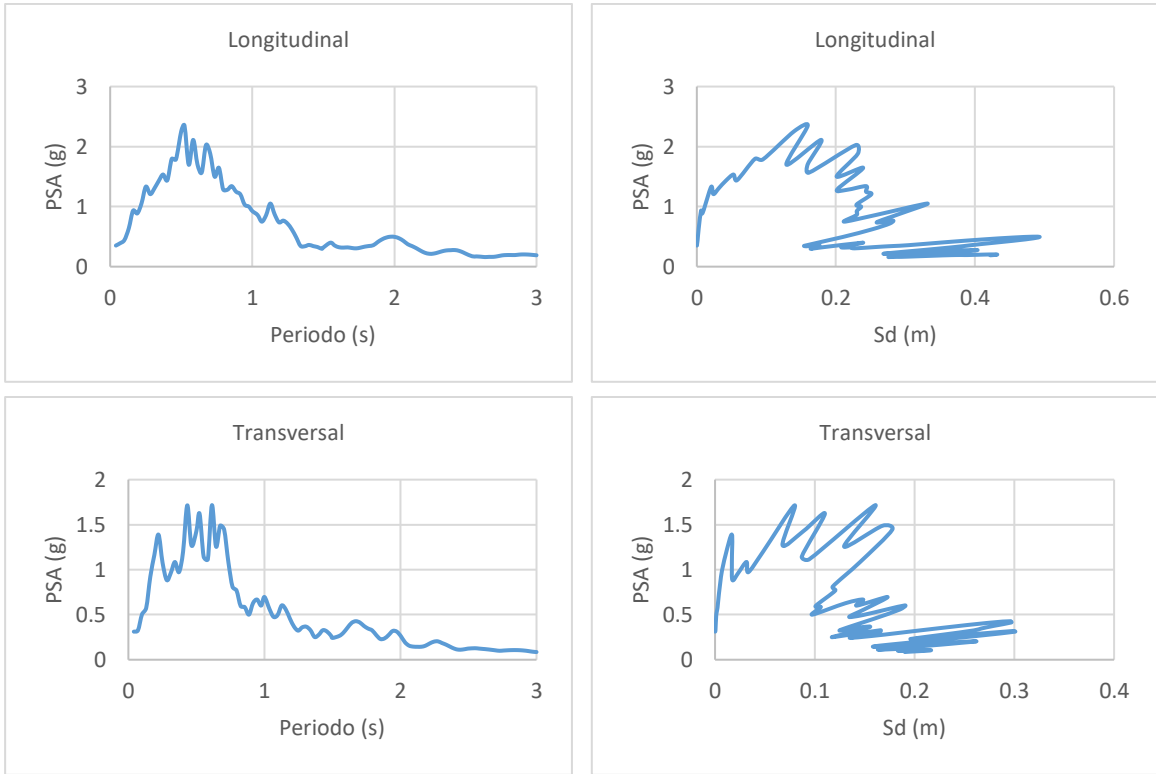


Figura 3-27. Espectros sísmicos para registro sísmico de Matanza

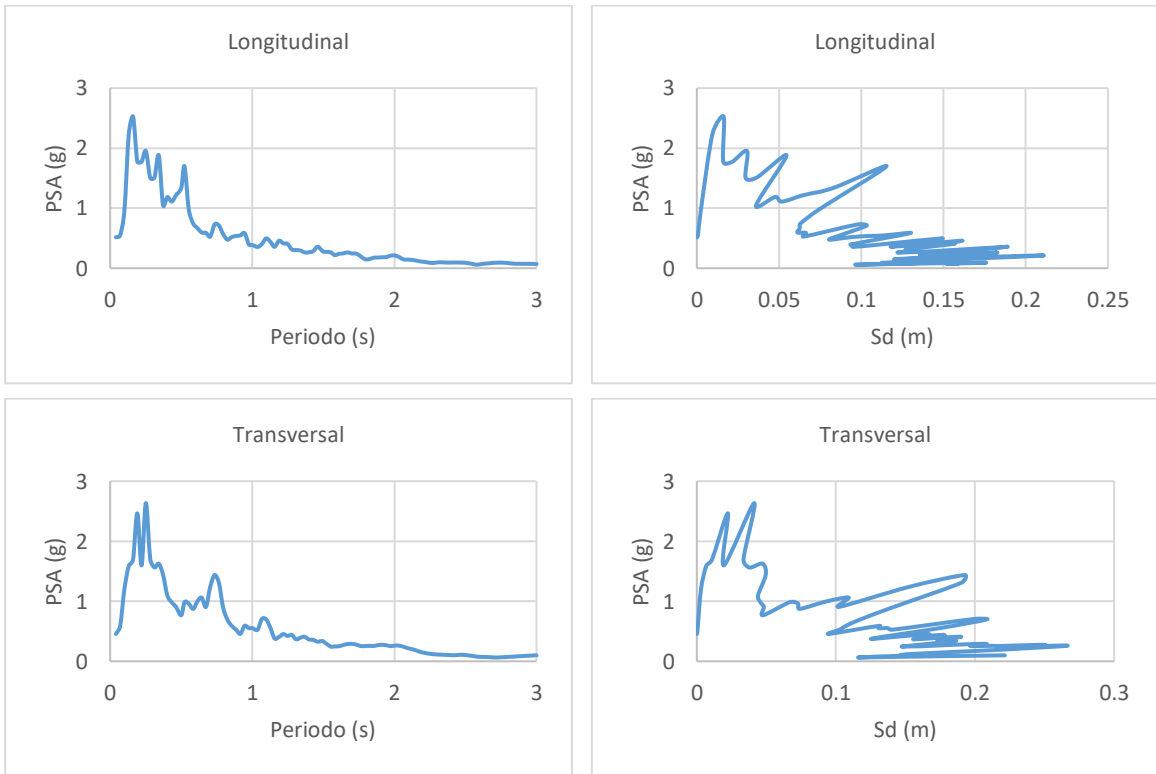


Figura 3-28. Espectros sísmicos para registro sísmico de Talca

La determinación del PGA crítico (aceleración del suelo asociada al punto de desempeño) se realiza en función del PGA máximo del registro sísmico y el factor de ajuste, siguiendo la recomendación sugerida por Virella et al (2008). Los valores máximos de PGA registrados para las estaciones sísmicas consideradas en este estudio de indican en la Tabla 3-10, las cuales se obtienen del informe RENADIC 10/05 (Boroschek, Soto, & Leon, 2010).

*Tabla 3-10. PGA máximo registrado para cada estación sísmica*

Ubicación	Longitudinal/N-S (g)	Transversal/E-O (g)
Constitución	0.552	0.640
Curicó	0.470	0.409
Hualañé	0.389	0.461
Matanza	0.342	0.308
Talca	0.477	0.424

### 3.5. Espectros de capacidad Estanque 25

Para obtener los espectros de capacidad para todos los modelos del Estanque 25, se utilizan los parámetros modales obtenidos del Análisis modal. Los espectros de capacidad se realizan para los tres puntos de análisis (Techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico), por lo que primero se realizan nuevos análisis pushover para obtener las curvas de capacidad para los nuevos puntos de análisis. El procedimiento seguido y la ubicación del nodo crítico se muestran de la Figura 3-29 a la Figura 3-37.

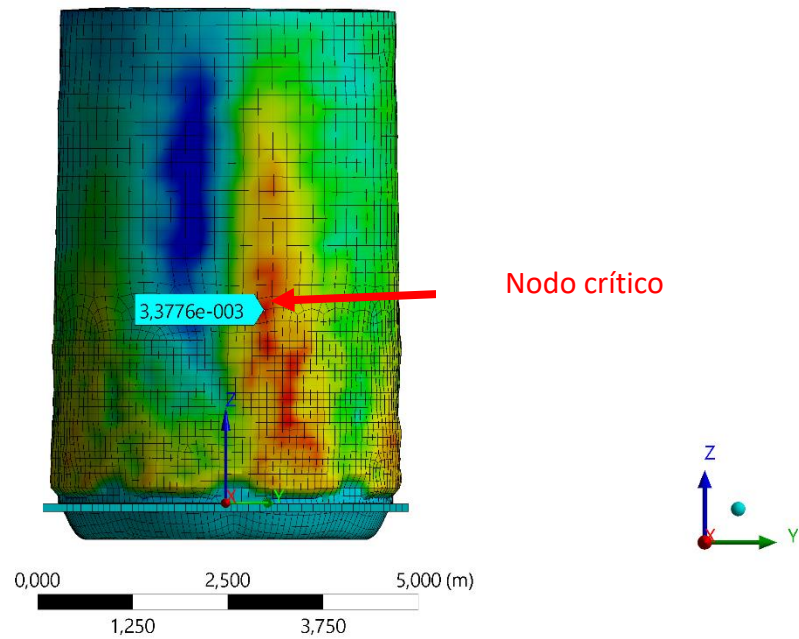


Figura 3-29. Deformaciones de nodo crítico Modelo 11 (Inicio de aplicación de la carga)

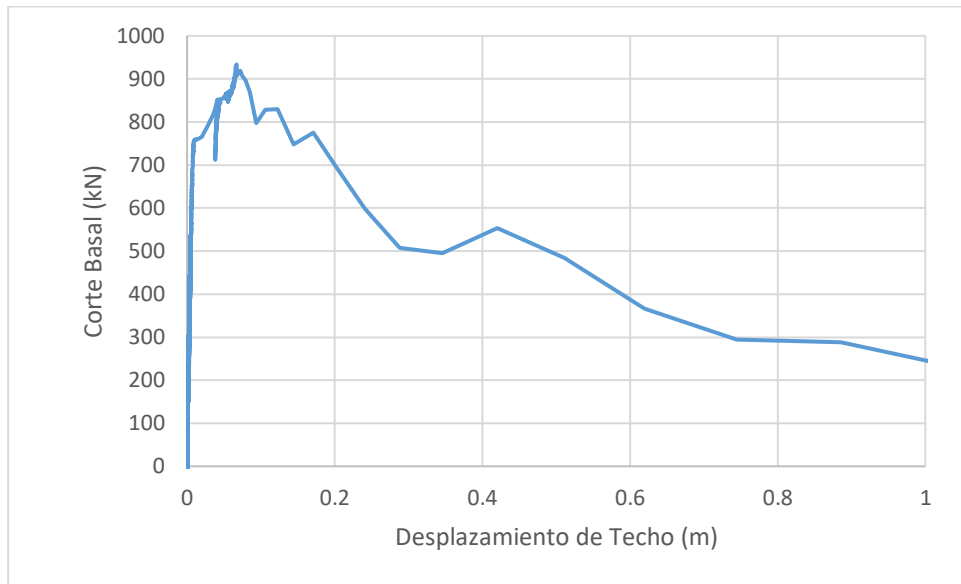


Figura 3-30. Curva de capacidad de techo para Modelo 11

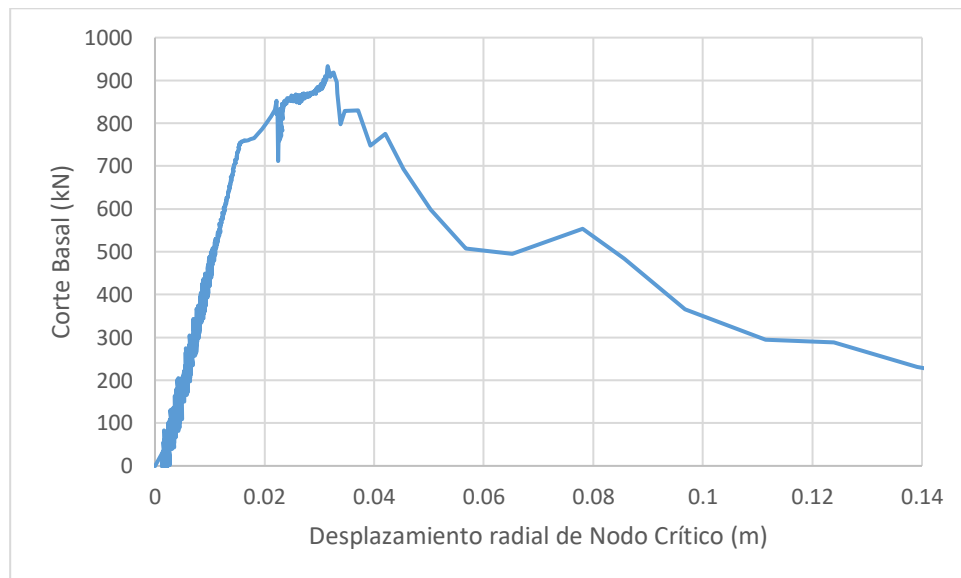


Figura 3-31. Curva de capacidad radial de Nodo Crítico para Modelo 11

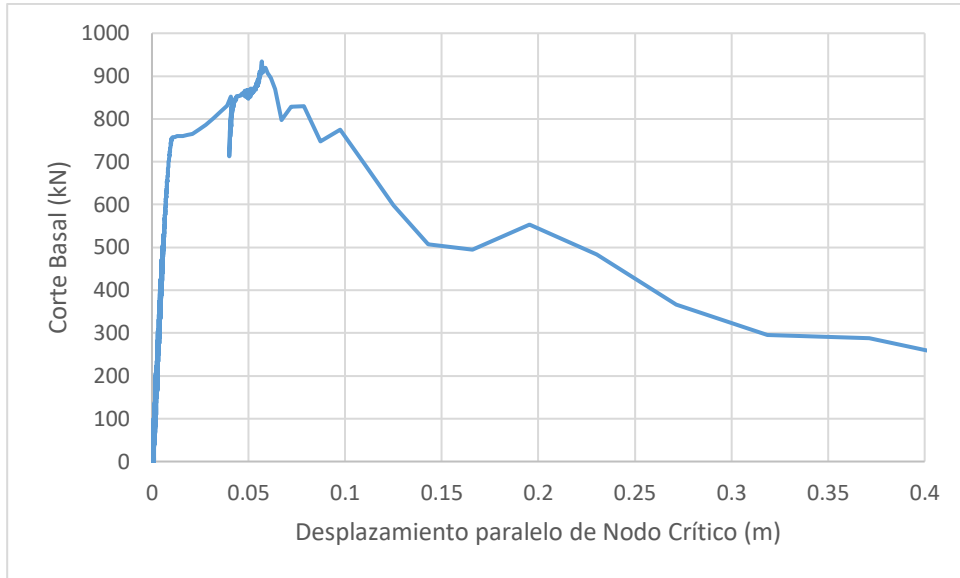


Figura 3-32. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para Modelo 11

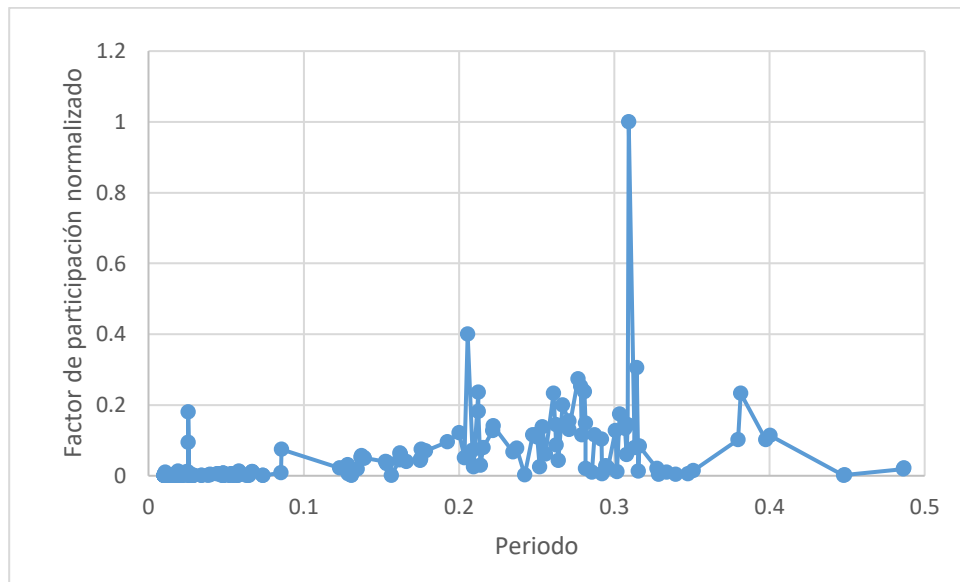


Figura 3-33. Factor de participación normalizado del Modelo 11

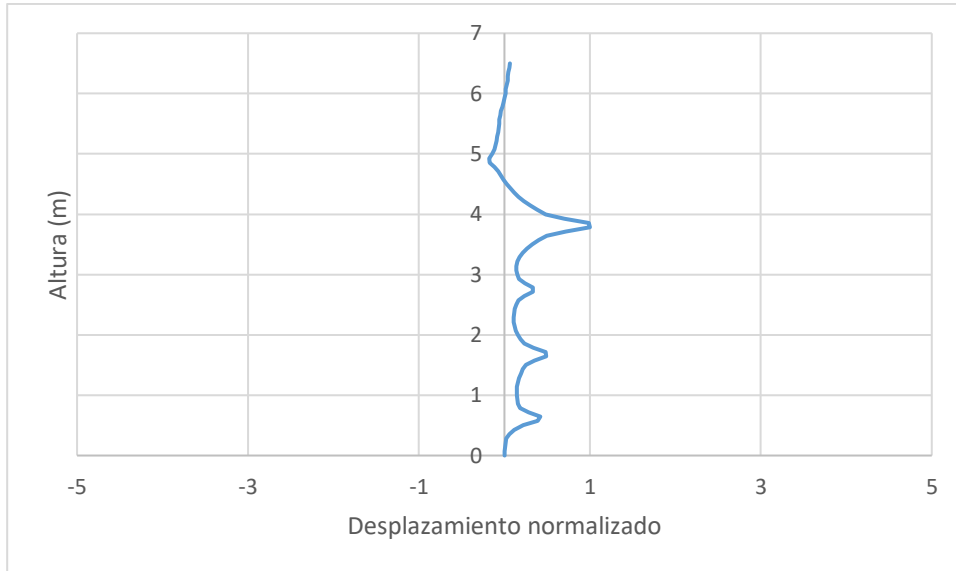


Figura 3-34. Deformada del modo fundamental para el Modelo 11 en el meridiano de mayor desplazamiento

Del análisis modal se obtienen los parámetros mostrados en la Tabla 3-11, lo cuales son utilizados para la construcción de los espectros de capacidad.

Tabla 3-11. Parámetros modales del Modelo 11

Modo Fundamental					
Periodo (s)	F.P.	$\alpha$	$\varphi$ Techo	$\varphi$ N.C.R.	$\varphi$ N.C.P.
0.309	199.343	0.301	0.062	0.045	0.012

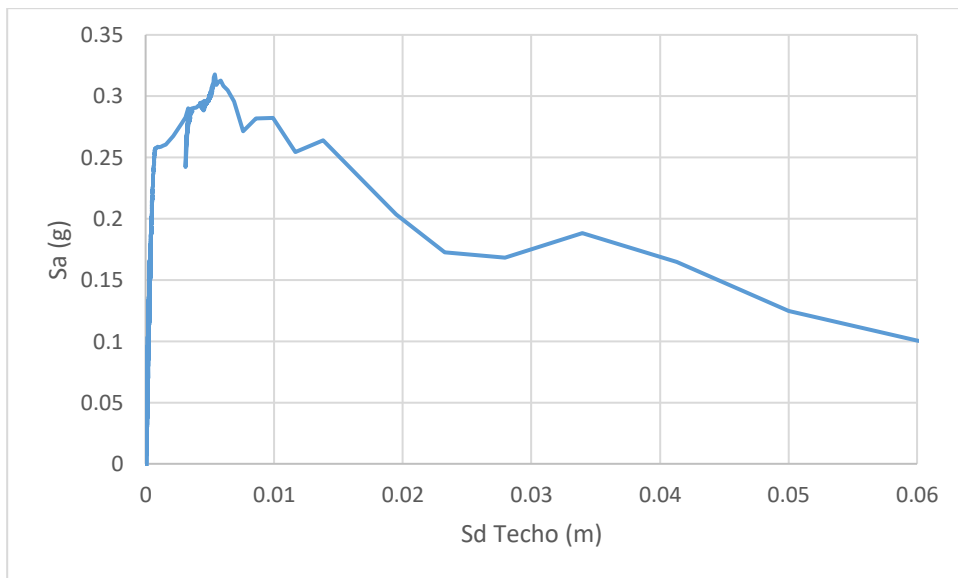


Figura 3-35. Espectro de capacidad de techo para Modelo 11

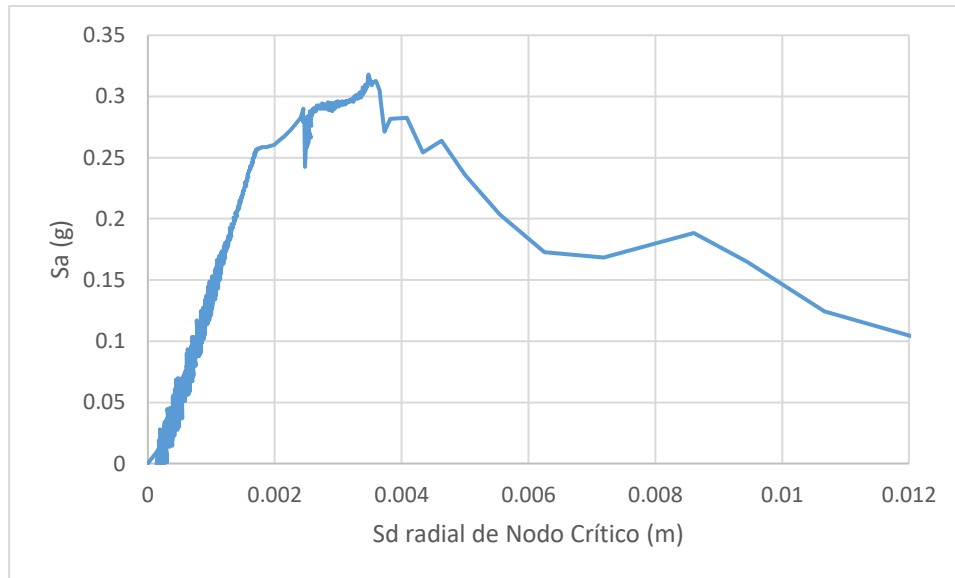


Figura 3-36. Espectro de capacidad radial de Nodo Crítico para Modelo 11

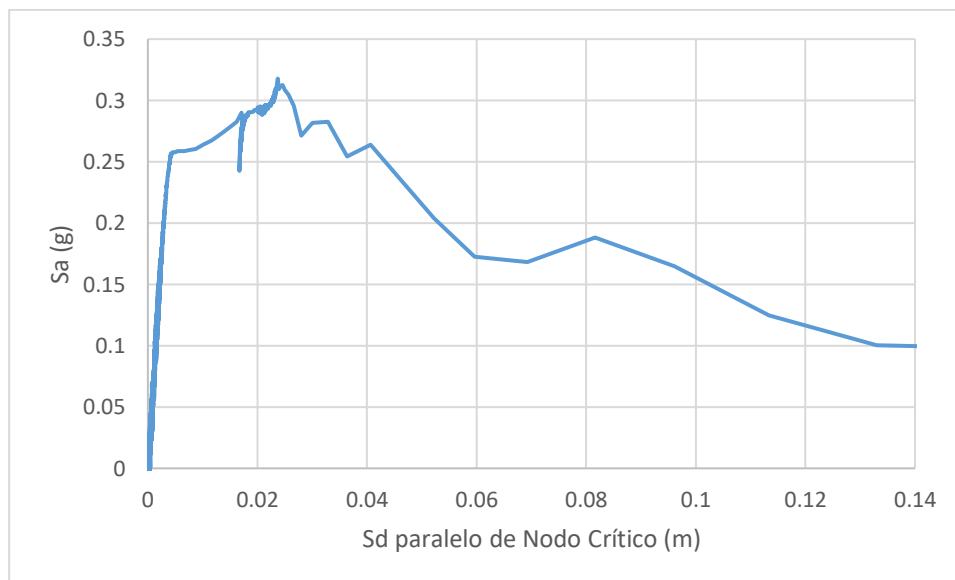


Figura 3-37. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para Modelo 11

La principal diferencia entre los tres espectros de capacidad obtenidos radica en los desplazamientos espectrales para cada punto de medición (techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico), obteniéndose los mayores valores para el nodo crítico medido en la dirección paralela.

Todas las curvas de capacidad y los espectros de capacidad se muestran en la sección Anexo A

### 3.6. Espectros de capacidad Estanque 27

Para obtener los espectros de capacidad para todos los modelos del Estanque 27, se utilizan los parámetros modales obtenidos del Análisis modal. Los espectros de capacidad se realizan para los tres puntos de análisis (Techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico), por lo que primero se realizan nuevos análisis pushover para obtener las curvas de capacidad para los nuevos puntos de análisis. El procedimiento seguido y la ubicación del nodo crítico se muestran de la Figura 3-38 a la Figura 3-46.

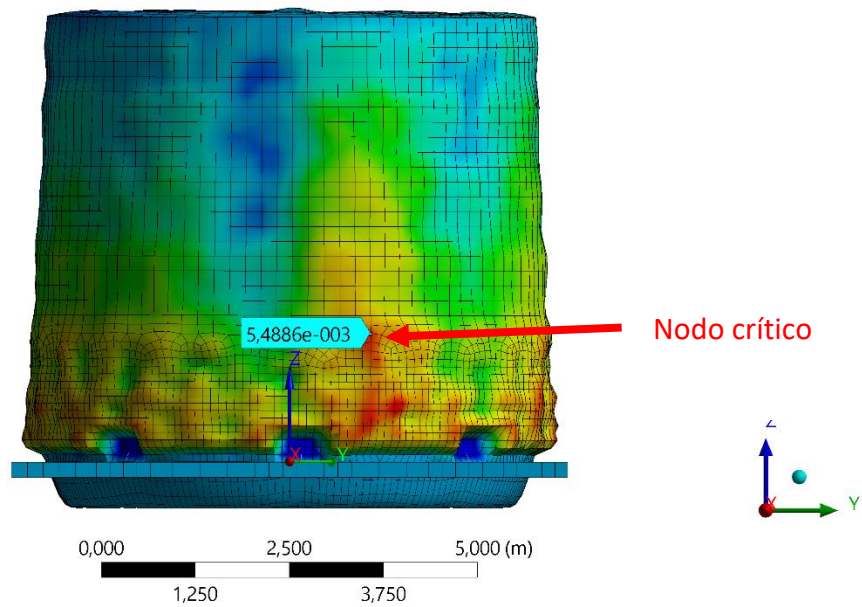


Figura 3-38. Deformaciones de nodo crítico Modelo 12 (Inicio de aplicación de la carga)



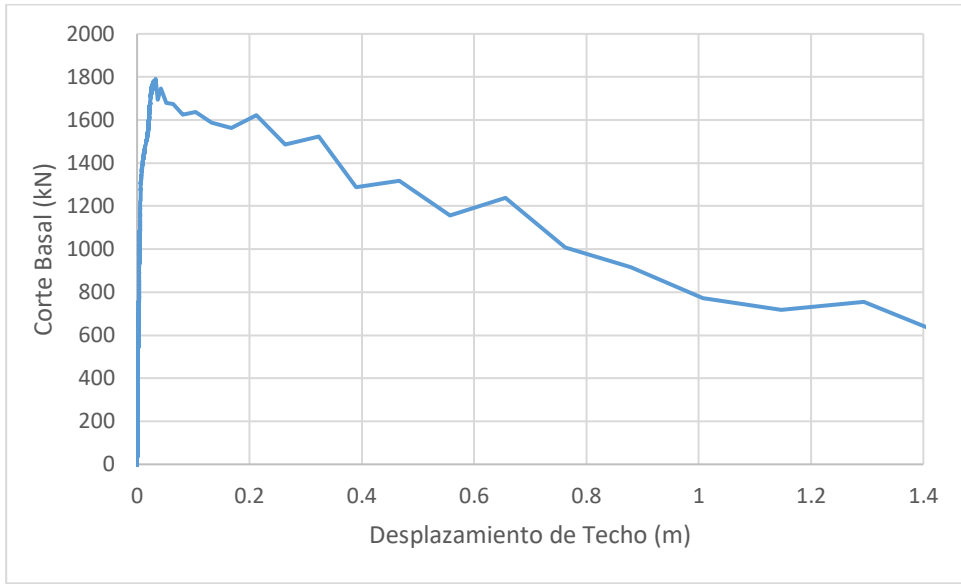


Figura 3-39. Curva de capacidad de techo para Modelo 12

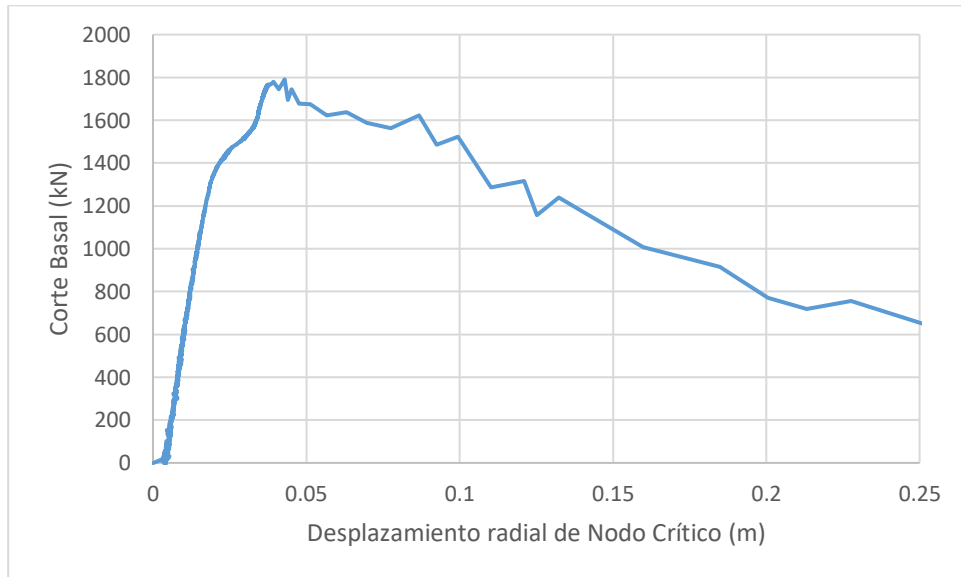


Figura 3-40. Curva de capacidad radial de Nodo Crítico para Modelo 12

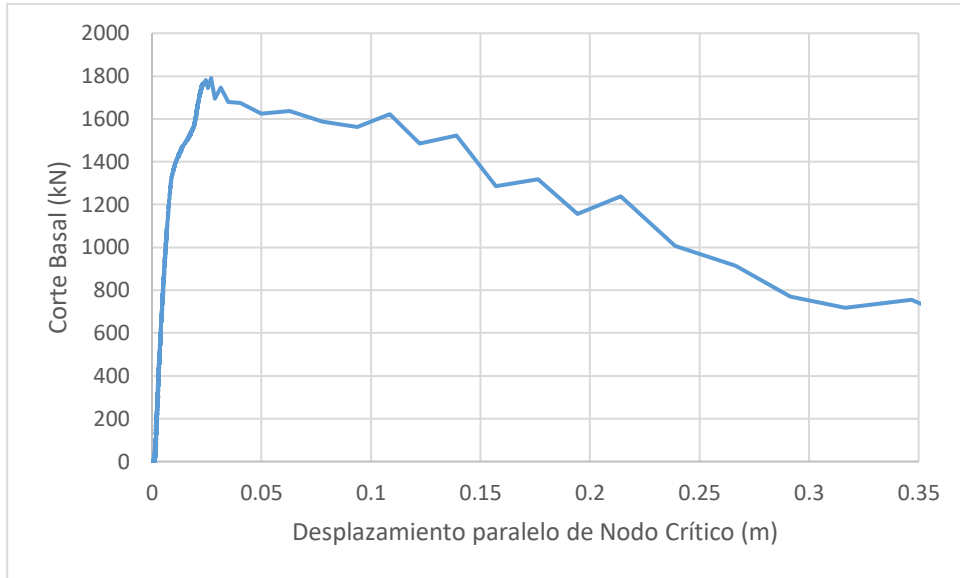


Figura 3-41. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para Modelo 12

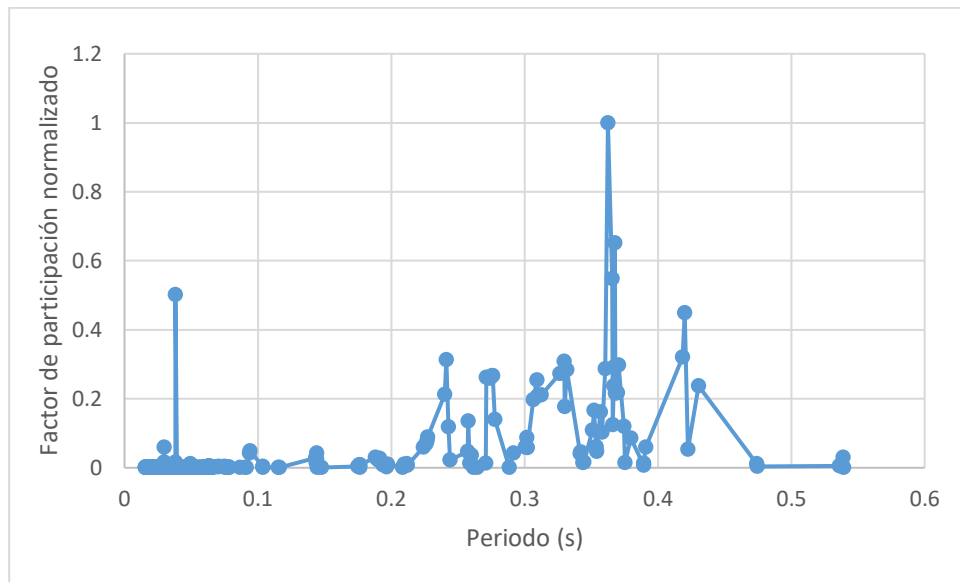


Figura 3-42. Factor de participación normalizado del Modelo 12

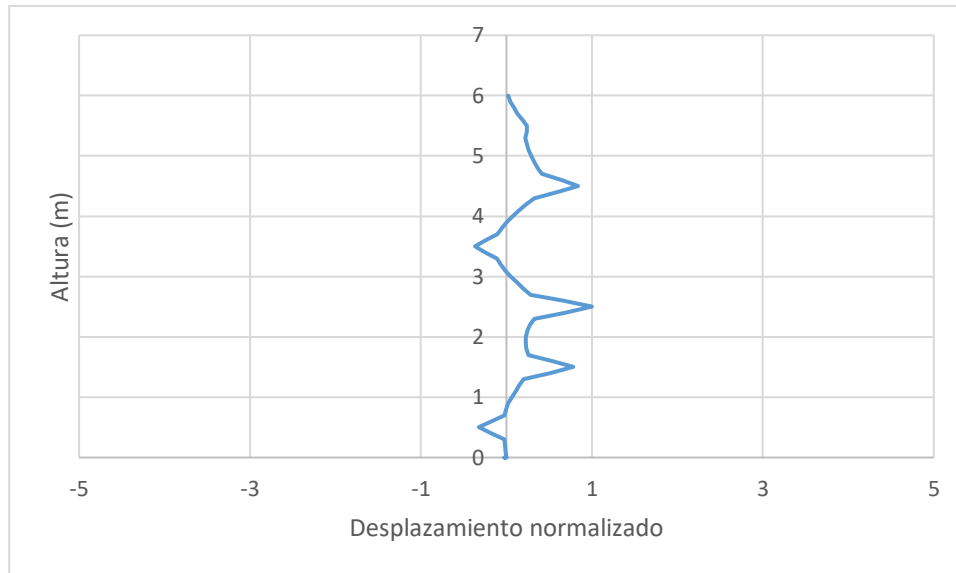


Figura 3-43. Deformada del modo fundamental para el Modelo 12 en el meridiano de mayor desplazamiento

Del análisis modal se obtienen los parámetros mostrados en la Tabla 3-12, lo cuales son utilizados para la construcción de los espectros de capacidad.

Tabla 3-12. Parámetros modales del Modelo 12

Modo Fundamental					
Periodo (s)	F.P.	$\alpha$	$\varphi$ Techo	$\varphi$ N.C.R.	$\varphi$ N.C.P.
0.362	179.755	0.142	0.020	0.023	0.010

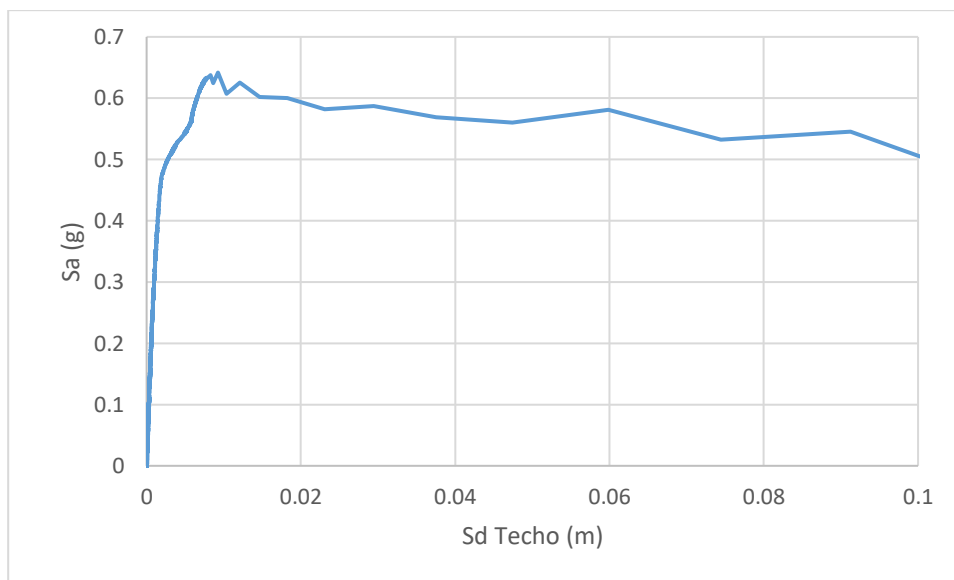


Figura 3-44. Espectro de capacidad de techo para Modelo 12

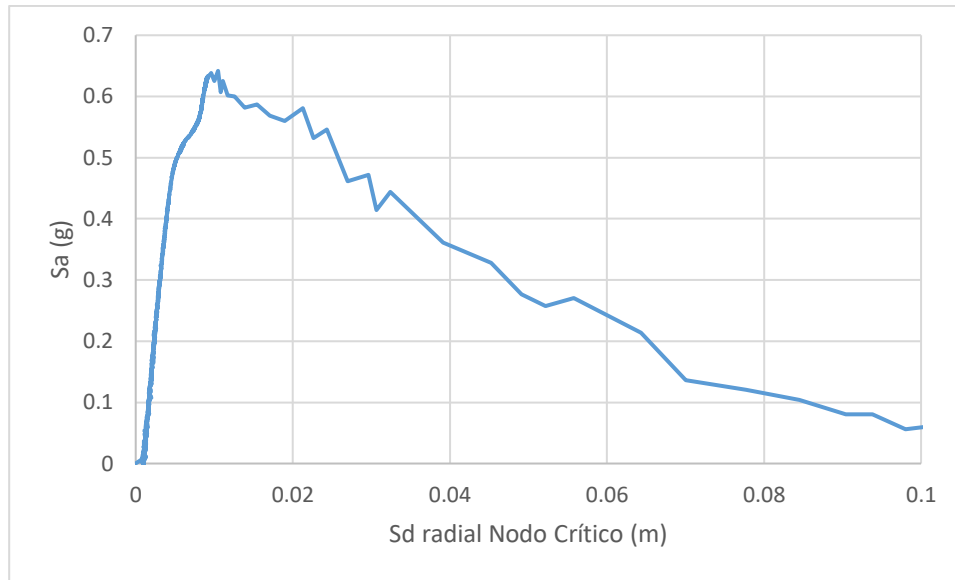


Figura 3-45. Espectro de capacidad radial de Nodo Crítico para Modelo 12

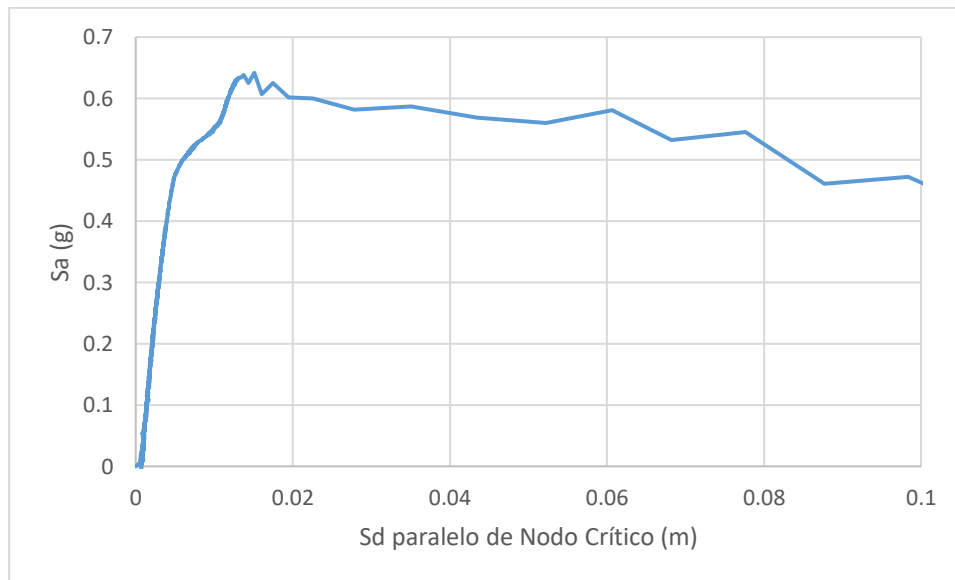


Figura 3-46. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para Modelo 12

La principal diferencia entre los tres espectros de capacidad obtenidos radica en los desplazamientos espectrales para cada punto de medición (techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico), obteniéndose los mayores valores para el nodo crítico medido en la dirección paralela en la mayoría de los modelos.

Todas las curvas de capacidad y los espectros de capacidad se presentan en la sección Anexo B.

## Capítulo 4: Aplicación del Método de Capacidad Espectral

A continuación, se muestra los puntos de desempeños de todos los modelos obtenidos al aplicar el método de capacidad espectral, tanto para espectros de diseño como para registros sísmicos.

### 4.1. Espectros de diseño

#### 4.1.1. Estanque 25

A continuación, se presentan los resultados obtenidos según el análisis con espectros de diseño para el Modelo 11, considerando cada punto de análisis y ambas normas, NCh 2369 y NCh 2745. Las coordenadas de los puntos de desempeño y el valor del PGA crítico se presentan en la Tabla 4-1 y la Tabla 4-2 respectivamente. De la Figura 4-1 a la Figura 4-6 se observan los puntos de desempeño obtenidos para cada zona de análisis (techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico). Los resultados para cada modelo del Estanque 25 se presentan en la sección Anexo A.

Tabla 4-1. Coordenadas de puntos de desempeños para Modelo 11

	Techo	Nodo Crítico radial	Nodo Crítico paralelo
$S_a$ (g)	0.318	0.318	0.318
$S_d$ (m)	0.005	0.003	0.024

Tabla 4-2. Valor de PGA crítico (g) para Modelo 11

NCh 2369			NCh 2745		
Techo	Nodo Crítico radial	Nodo Crítico paralelo	Techo	Nodo Crítico radial	Nodo Crítico paralelo
0.127	0.127	0.127	0.127	0.127	0.129

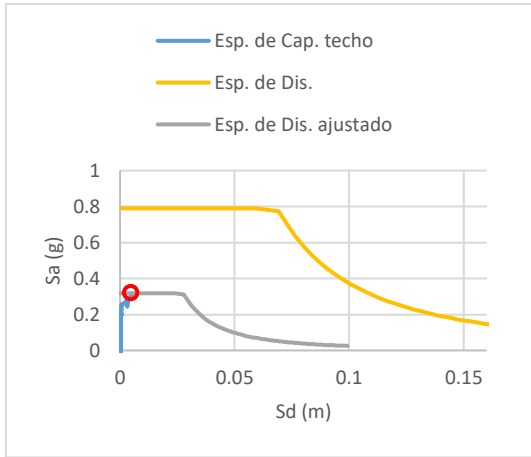


Figura 4-1. Punto de desempeño de techo según NCh 2369 para Modelo 11

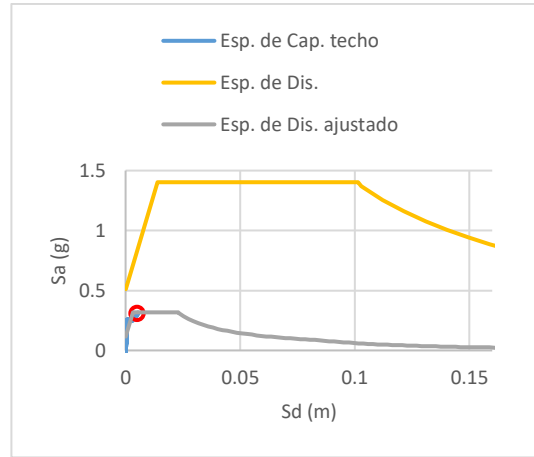


Figura 4-2. Punto de desempeño de techo según NCh 2745 para Modelo 11

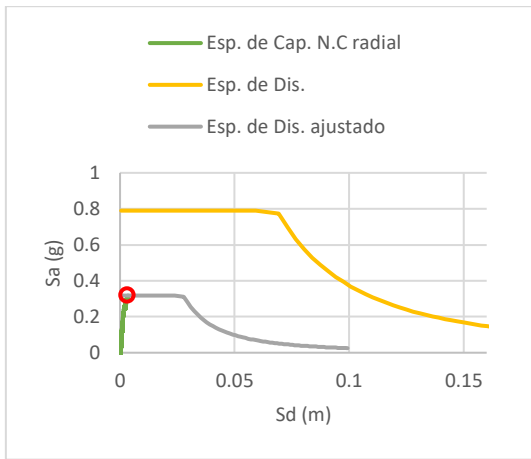


Figura 4-3. Punto de desempeño radial de N.C. según NCh 2369 para Modelo 11

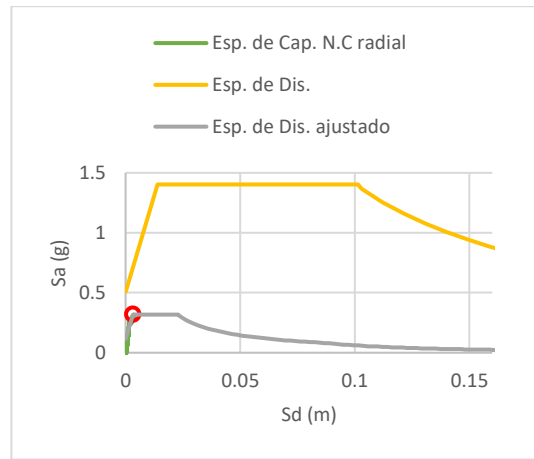


Figura 4-4. Punto de desempeño radial de N.C. según NCh 2745 para Modelo 11

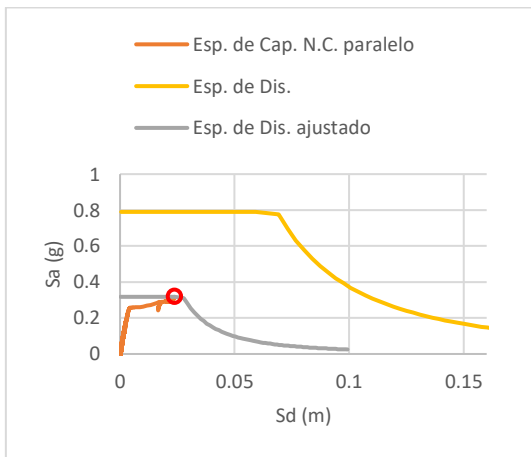


Figura 4-5. Punto de desempeño paralelo de N.C. según NCh 2369 para Modelo 11

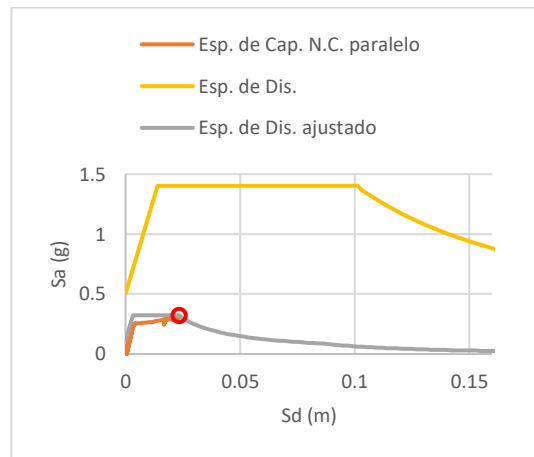


Figura 4-6. Punto de desempeño paralelo de N.C. según NCh 2745 para Modelo 11

#### 4.1.2. Estanque 27

A continuación, se presentan los resultados obtenidos según el análisis con espectros de diseño para el Modelo 12, considerando cada punto de análisis y ambas normas, NCh 2369 y NCh 2745. Las coordenadas de los puntos de desempeño y el valor del PGA crítico se presentan en la Tabla 4-3 y Tabla 4-4 respectivamente. De la Figura 4-7 a la Figura 4-12 se observan los puntos de desempeño obtenidos para cada zona de análisis (techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico). Los resultados para cada modelo del Estanque 27 se presentan en la sección Anexo B.

Tabla 4-3. Coordenadas de puntos de desempeños para Modelo 12

	Techo	Nodo Crítico radial	Nodo Crítico paralelo
$S_a$ (g)	0.642	0.642	0.642
$S_d$ (m)	0.009	0.011	0.015

Tabla 4-4. Valor de PGA crítico (g) para Modelo 12

NCh 2369			NCh 2745		
Techo	Nodo Crítico radial	Nodo Crítico paralelo	Techo	Nodo Crítico radial	Nodo Crítico paralelo
0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257

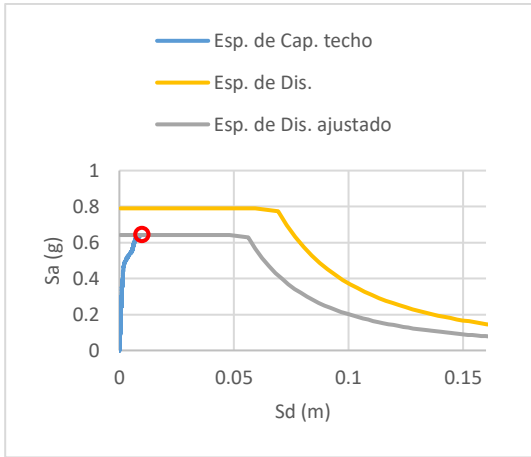


Figura 4-7. Punto de desempeño de techo según NCh 2369 para Modelo 12

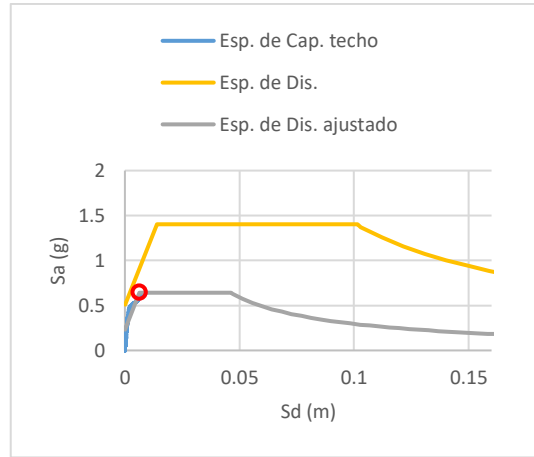


Figura 4-8. Punto de desempeño de techo según NCh 2745 para Modelo 12

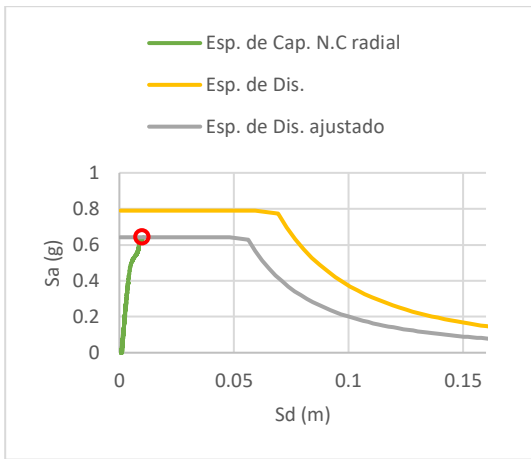


Figura 4-9. Punto de desempeño radial de N.C. según NCh 2369 para Modelo 12

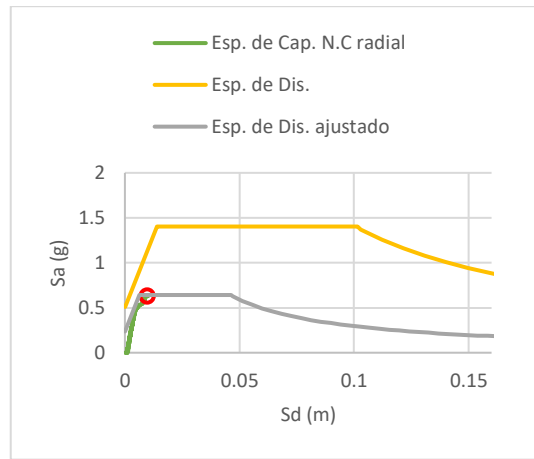


Figura 4-10. Punto de desempeño radial de N.C. según NCh 2745 para Modelo 12

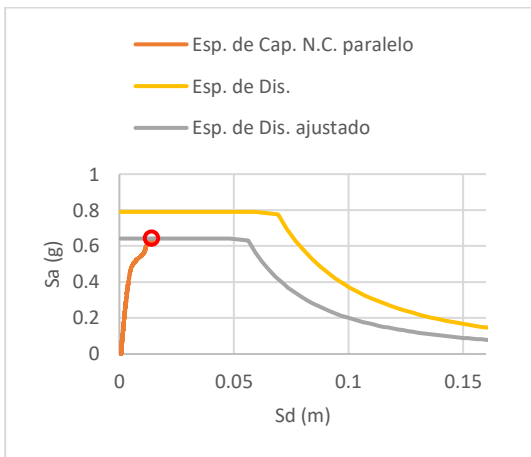


Figura 4-11. Punto de desempeño paralelo de N.C. según NCh 2369 para Modelo 12

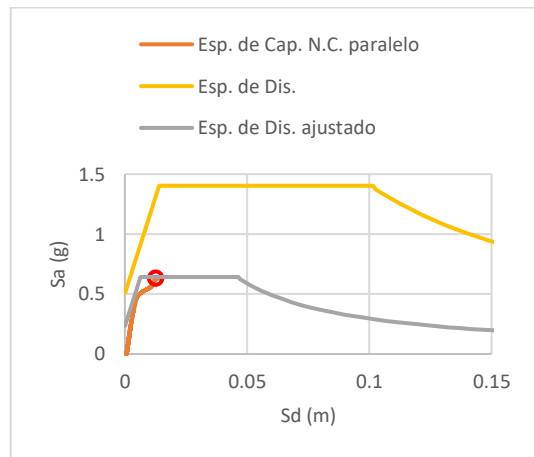


Figura 4-12. Punto de desempeño paralelo de N.C. según NCh 2745 para Modelo 12



## 4.2. Espectros sísmicos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos según el análisis con espectros sísmicos de todas las estaciones para el Modelo 11, considerando cada zona de análisis y el espectro de capacidad del método teórico (4.3). De la Figura 4-13 a la Figura 4-22 se obtienen los puntos de desempeño. La Tabla 4-5 y Tabla 4-6 muestran los factores de ajustes y los valores del PGA crítico respectivamente. Los resultados para cada modelo de los Estanques 25 y 27 se presentan en las secciones Anexo A y Anexo B.

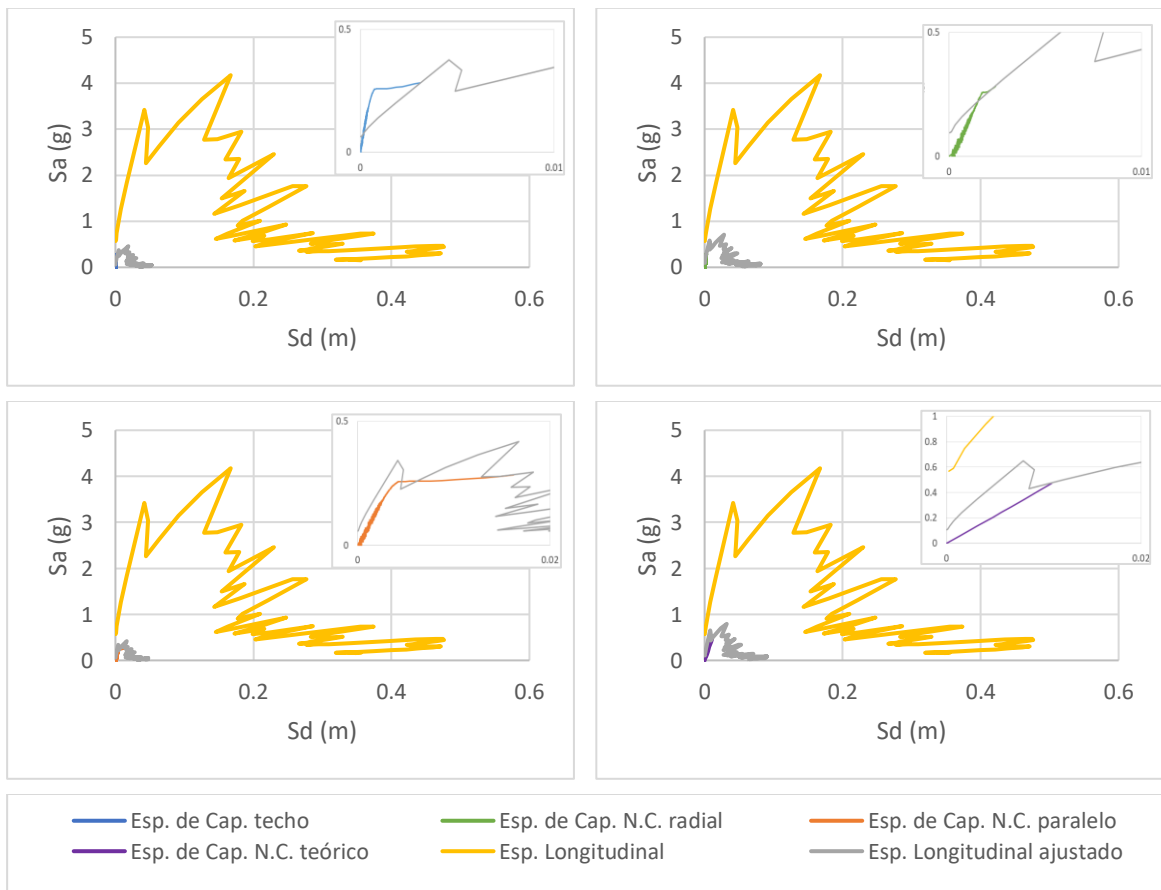


Figura 4-13. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal

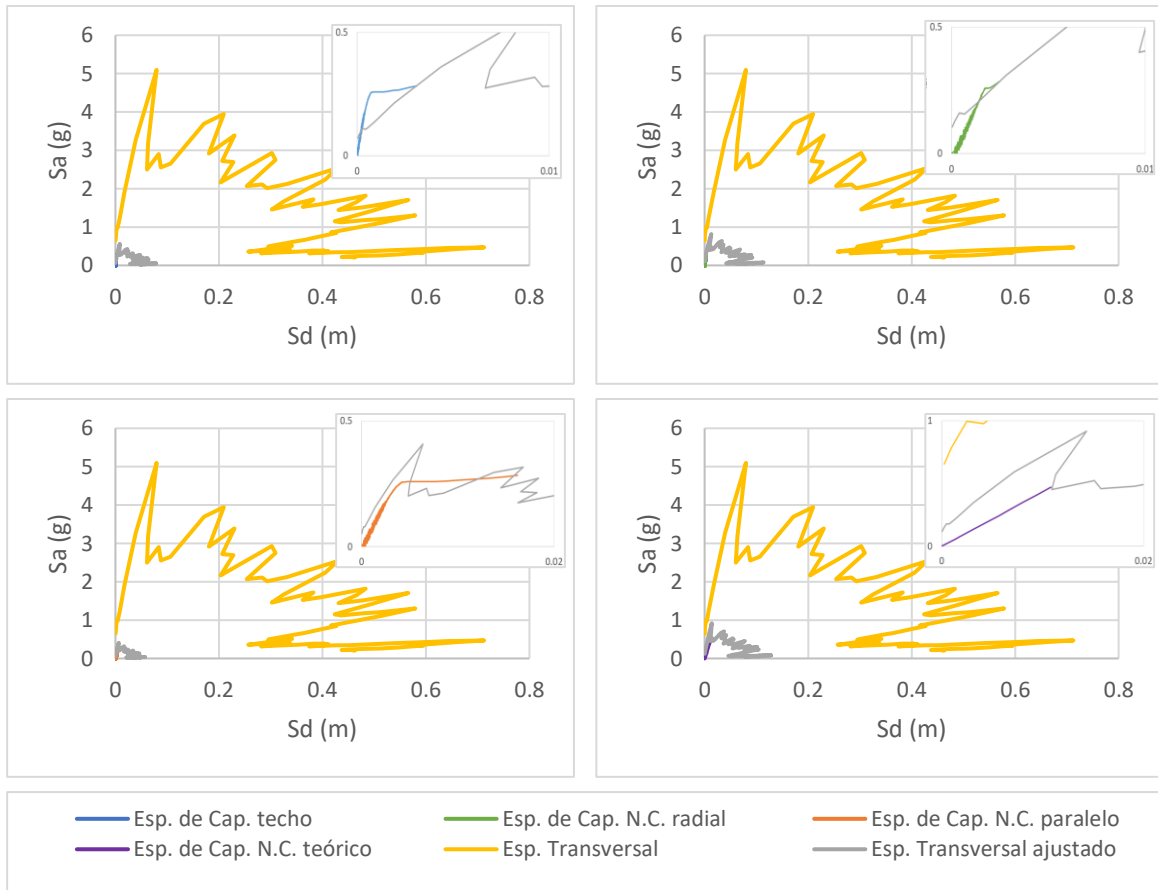


Figura 4-14. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal

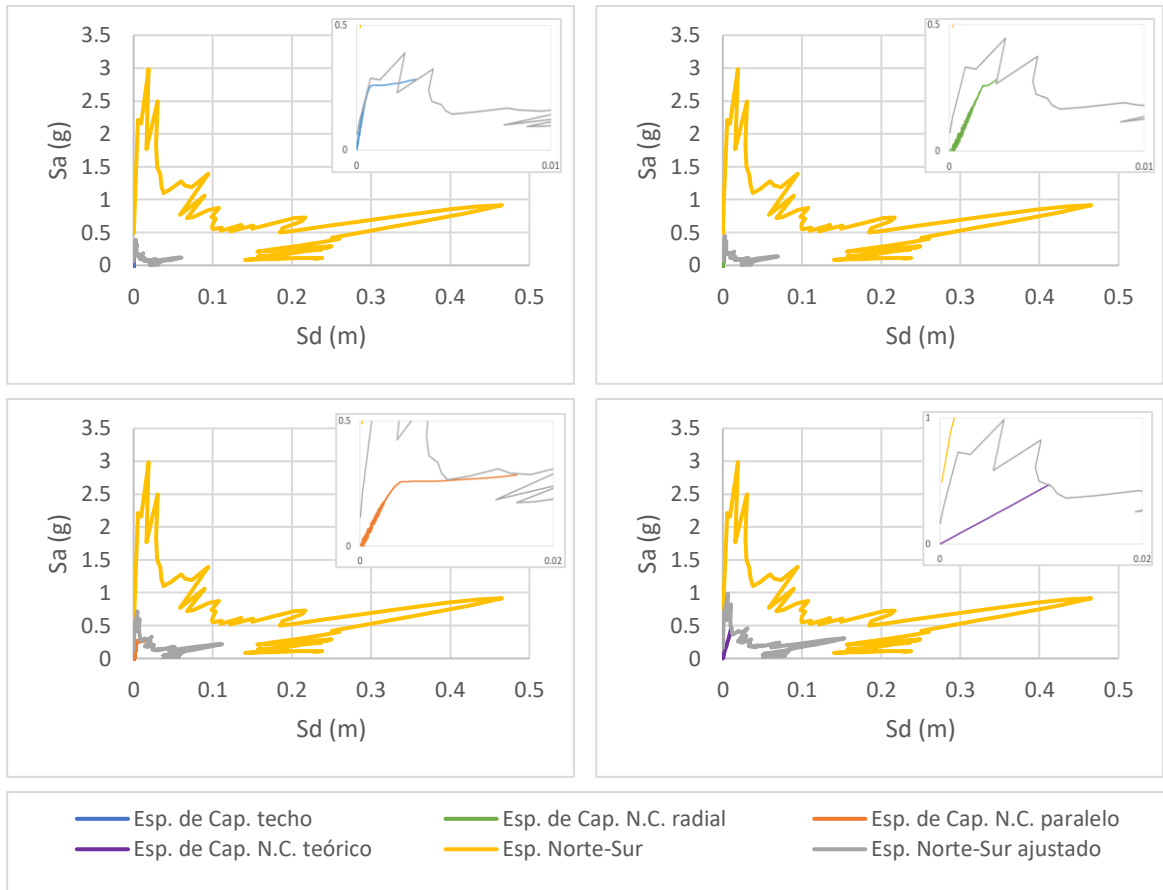


Figura 4-15. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur

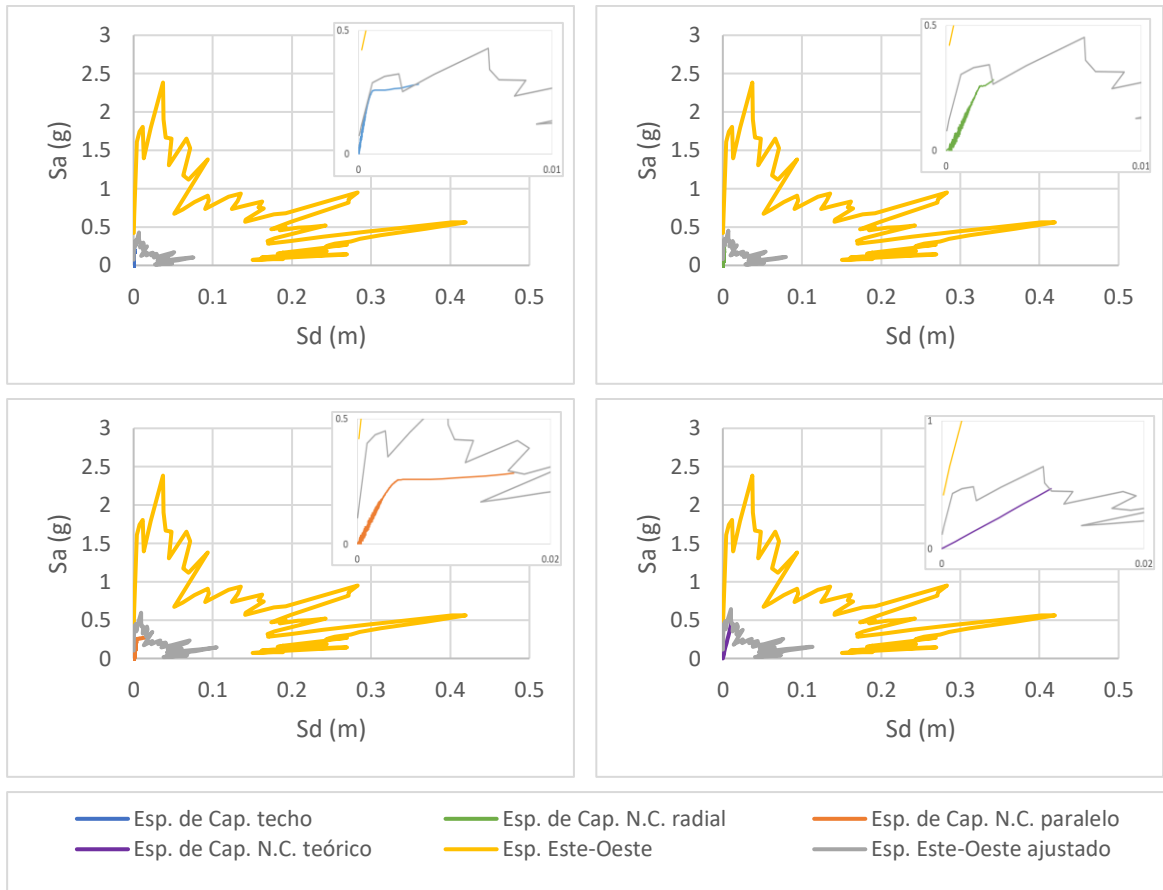


Figura 4-16. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste

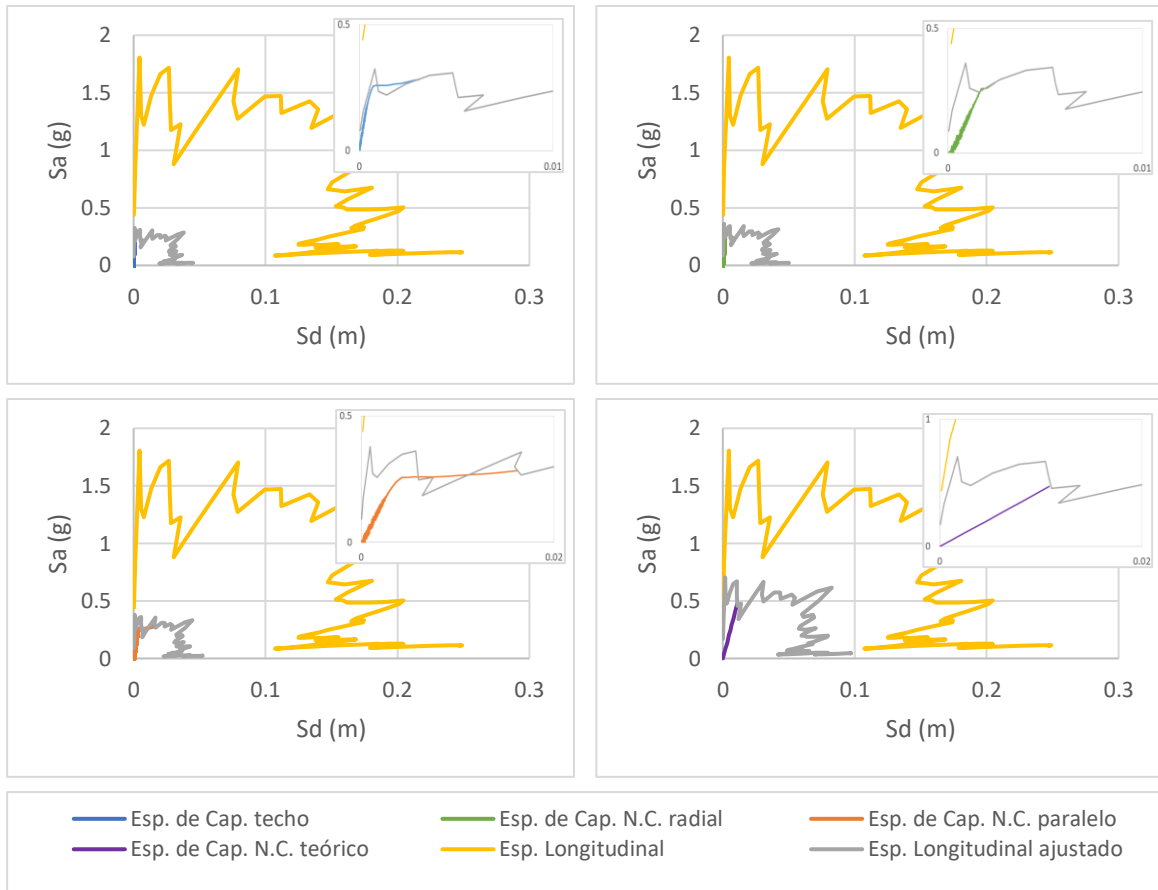


Figura 4-17. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal

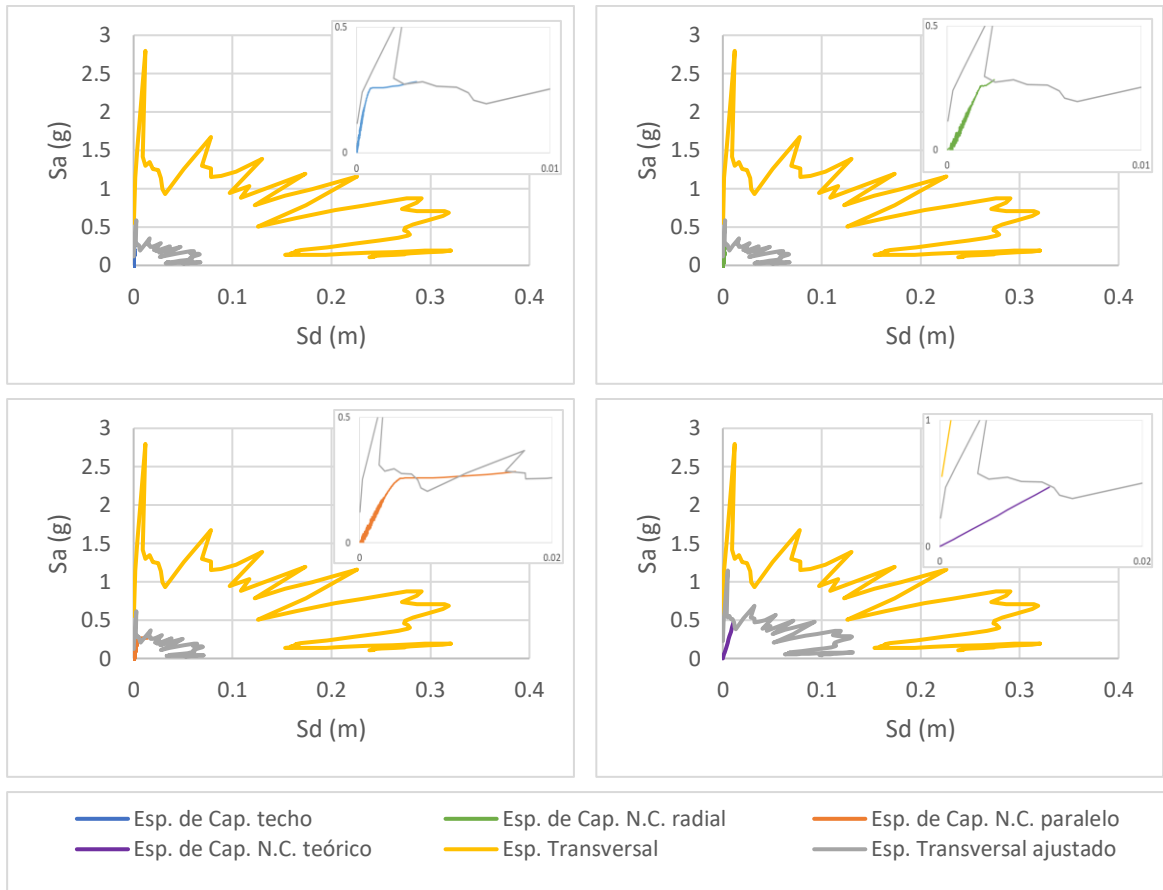


Figura 4-18. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal

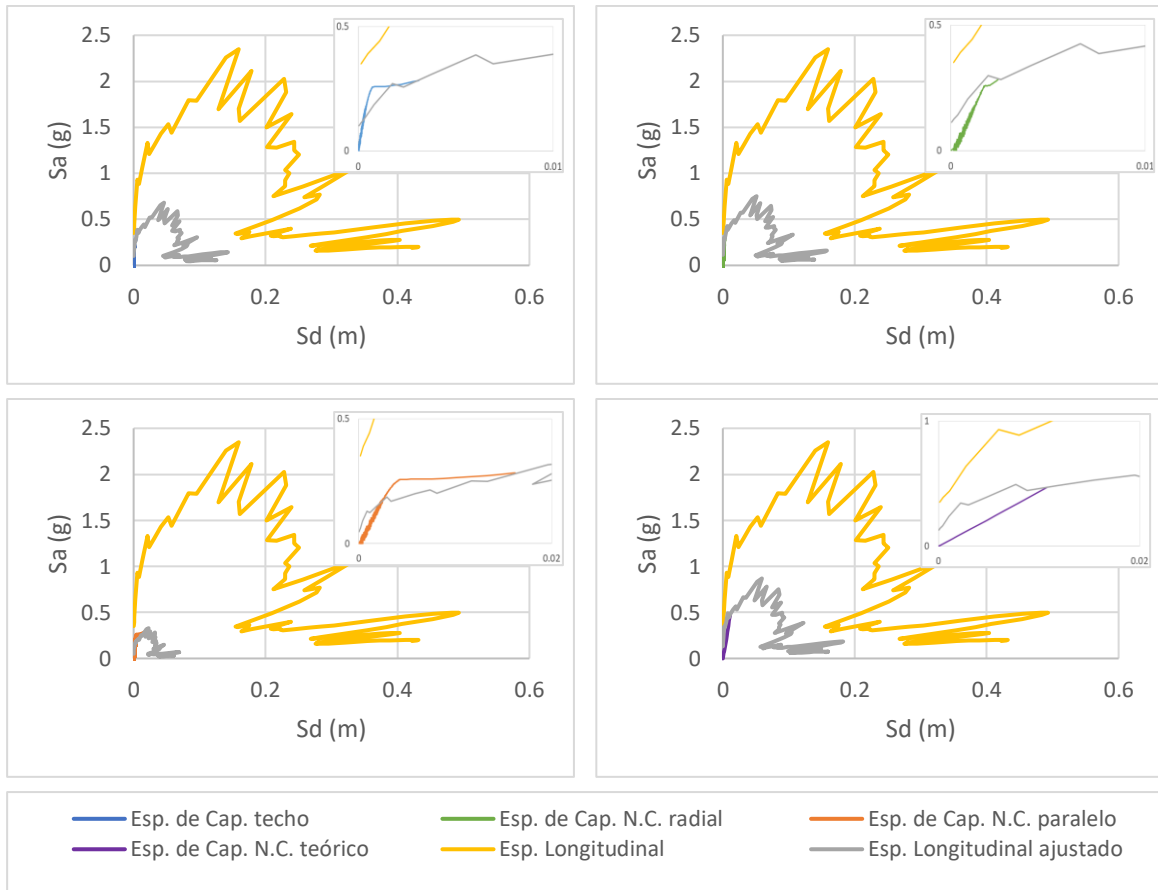


Figura 4-19. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal

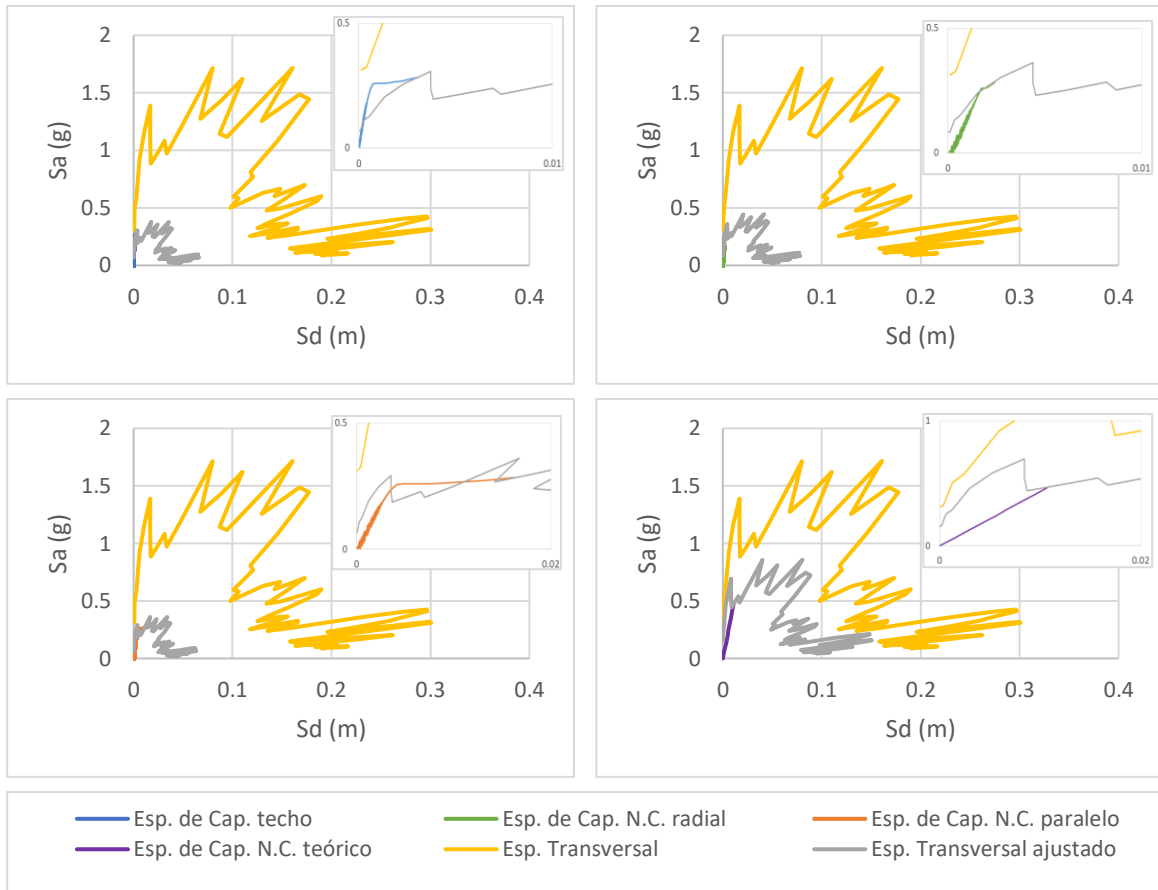


Figura 4-20. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal



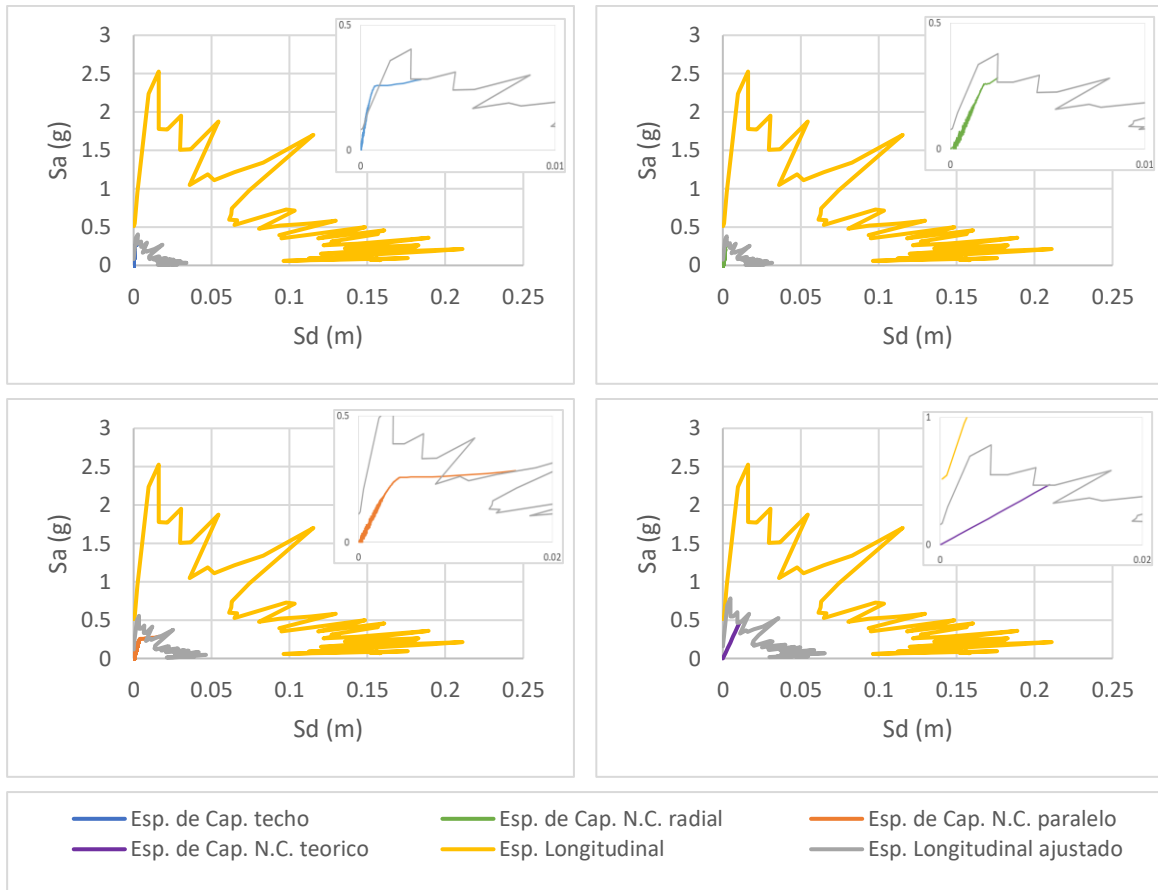


Figura 4-21. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal

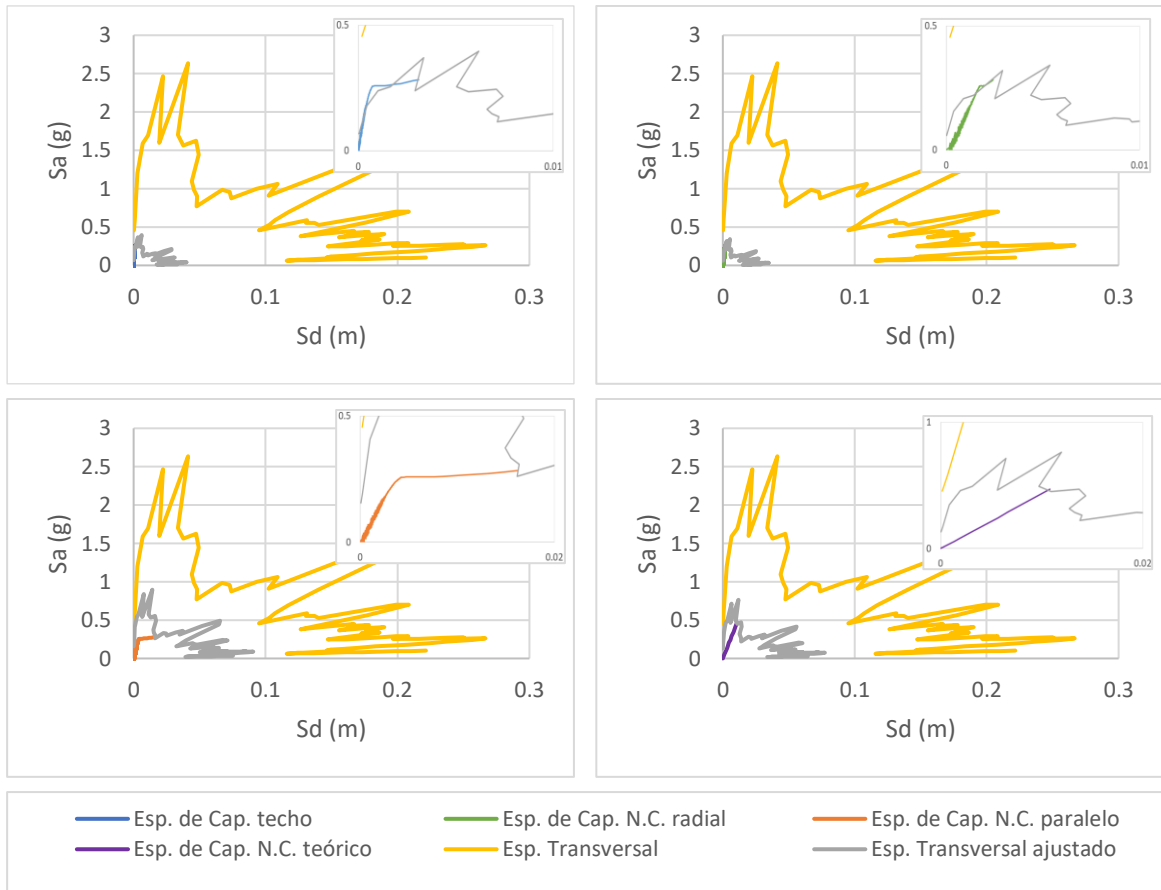


Figura 4-22. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal

Tabla 4-5. Factores de ajustes de espectros sísmicos para el Modelo 11

Modelo	Ubicación	Dirección	Techo	Radial	Paralelo	Teórico
Modelo 11	Constitución	Longitudinal	0.11	0.17	0.10	0.19
		Transversal	0.11	0.16	0.08	0.18
	Curicó	Norte-Sur	0.13	0.15	0.24	0.33
		Este-Oeste	0.18	0.19	0.25	0.27
	Hualañé	Longitudinal	0.18	0.20	0.21	0.39
		Transversal	0.21	0.21	0.22	0.41
	Matanza	Longitudinal	0.29	0.32	0.14	0.37
		Transversal	0.22	0.26	0.21	0.50
Talca	Longitudinal	0.16	0.15	0.22	0.31	
	Transversal	0.15	0.13	0.34	0.29	

Tabla 4-6. PGA crítico (g) para Modelo 11 según espectros sísmicos

Modelo	Ubicación	Dirección	Techo	Radial	Paralelo	Periodo
Modelo 11	Constitución	Longitudinal	0.061	0.094	0.055	0.105
		Transversal	0.070	0.102	0.051	0.115
	Curicó	Norte-Sur	0.061	0.071	0.113	0.155
		Este-Oeste	0.074	0.078	0.102	0.110
	Hualañé	Longitudinal	0.070	0.078	0.082	0.152
		Transversal	0.097	0.097	0.101	0.189
	Matanza	Longitudinal	0.099	0.109	0.048	0.127
		Transversal	0.068	0.080	0.065	0.154
	Talca	Longitudinal	0.076	0.072	0.105	0.148
		Transversal	0.064	0.055	0.144	0.123

### 4.3. Método teórico

Además de realizar los estudios de desempeño siguiendo las indicaciones del ATC-40 (1996) y del estudio de Virella et al (2008), se realiza un análisis siguiendo un procedimiento teórico. Este procedimiento alternativo consiste en construir el espectro de capacidad considerando la frecuencia natural del estanque en lugar de un desplazamiento.

Para obtener las frecuencias naturales del estanque para cada nivel de aceleración, se realiza una serie de análisis modales considerando el estado tensional del estanque para cada aceleración. Los estados de pretensado se realizan mediante la aplicación de una presión hidrostática. Luego, mediante la ecuación ( 15 ) se obtiene el desplazamiento espectral para cada punto. La aceleración espectral se obtiene mediante la ecuación ( 4 ) utilizando el coeficiente de masa ( $\alpha$ ) modal obtenido según este nuevo análisis modal. La curva del espectro de capacidad se construye considerando niveles de aceleración hasta alcanzar el punto del corte basal máximo, o sea, hasta alcanzar el punto de desempeño.

$$S_d = \frac{S_a}{w_n^2} \quad (15)$$

Donde:

- $S_d$  = Desplazamiento espectral.
- $S_a$  = Aceleración espectral.
- $w_n$  = Frecuencia natural angular.

A partir de este procedimiento teórico se determinan los puntos de desempeño del Modelo 5 para los espectros de diseños y los espectros sísmicos. La Tabla 4-7 y de la Figura 4-23 a la Figura 4-25 muestran los resultados obtenidos de aplicar este procedimiento. La Tabla 4-8 muestra los resultados finales.

Tabla 4-7. Análisis teórico del Modelo 5

Aceleración (g)	Periodo (s)	$\alpha$	$S_a$ (g)	$S_d$ (m)
0	-	-	0	0
0.2	0.211	0.114	0.062	0.001
0.4	0.206	0.109	0.133	0.001
0.6	0.214	0.089	0.363	0.004
0.8	0.197	0.082	0.451	0.004
1	0.213	0.080	0.612	0.007
1.2	0.191	0.112	0.507	0.005

1.4	0.188	0.125	0.529	0.005
1.6	0.185	0.134	0.568	0.005
1.8	0.183	0.138	0.624	0.005
2	0.181	0.130	0.732	0.006
2.2	0.178	0.140	0.750	0.006
2.4	0.177	0.169	0.676	0.005
2.6	0.175	0.176	0.702	0.005
2.8	0.174	0.145	0.916	0.007
3	0.172	0.101	1.405	0.010
3.2	0.171	0.115	1.319	0.010
3.4	0.175	0.067	2.394	0.018

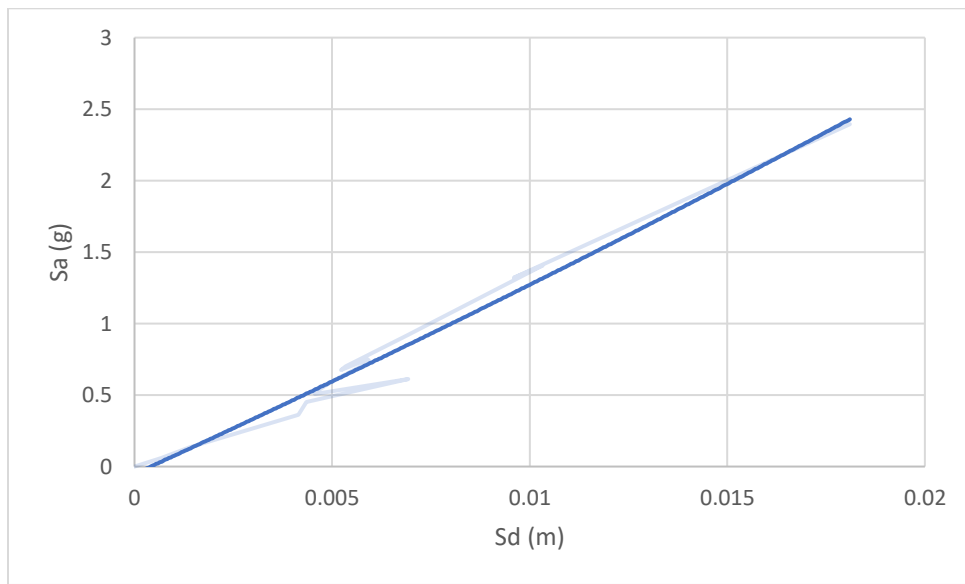


Figura 4-23. Espectro de capacidad según análisis teórico del Modelo 5

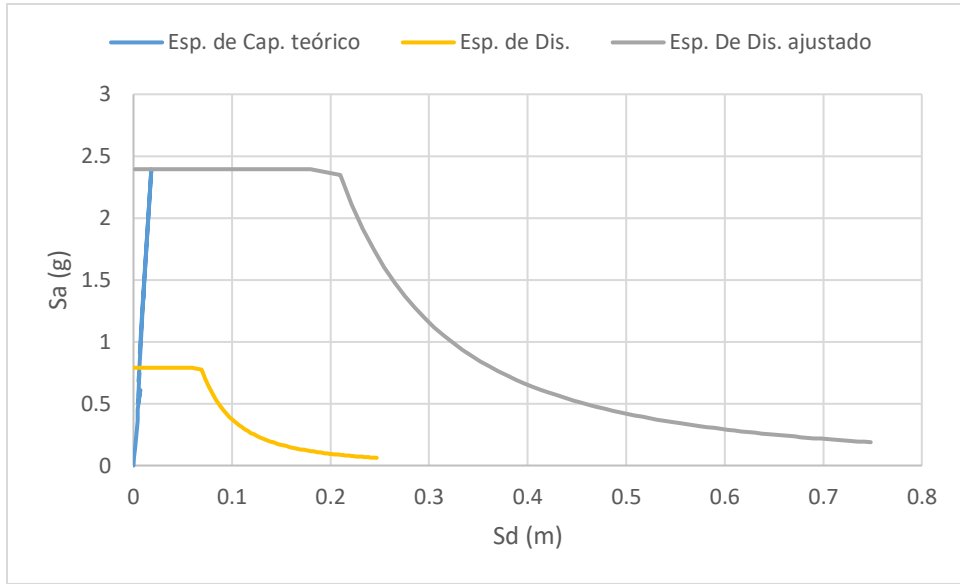


Figura 4-24. Punto de desempeño según análisis teórico para NCh 2369 del Modelo 5

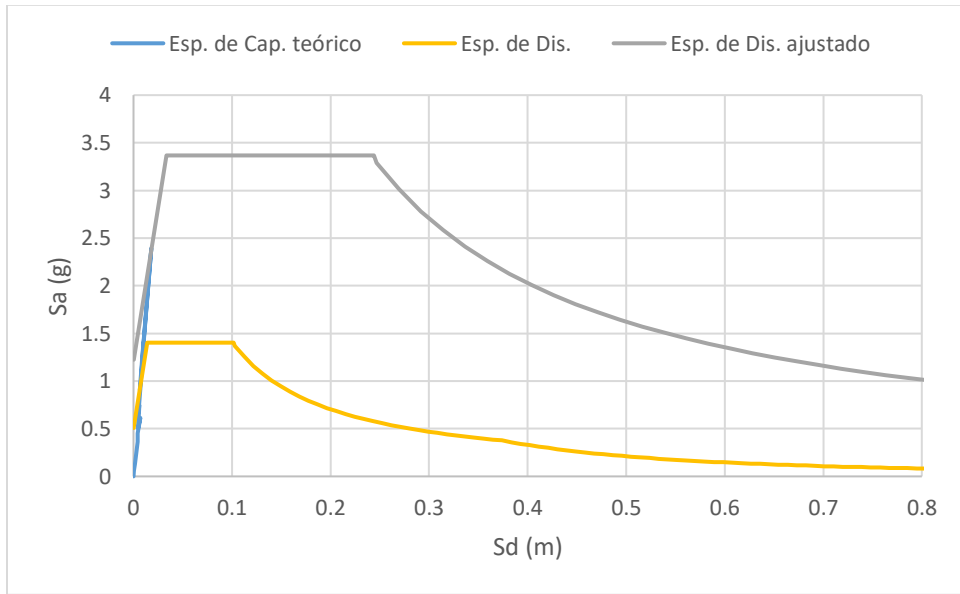


Figura 4-25. Punto de desempeño según análisis teórico para NCh 2745 del Modelo 5

Tabla 4-8. Punto de desempeño y PGA crítico según análisis teórico del Modelo 5

$S_a$ (g)	$S_d$ (m)	PGA NCh 2369 (g)	PGA NCh 2745 (g)
2.394	0.018	0.958	1.347

## Capítulo 5: Análisis de resultados

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos para cada caso de estudio.

### 5.1. Análisis modal

Con los resultados del análisis modal tanto para el Estanque 25 como para el Estanque 27, se valida la decisión tomada por Virella et al (2008) de trabajar con el modo fundamental en vez del primer modo, ya que, para todos los modelos, el modo fundamental está alejado de los primeros modos, como muestra la Figura 5-1.

De los gráficos de factor de participación normalizado vs periodo, se observa que, si bien hay un modo que predomina por sobre todos los demás, existen otros modos con una participación modal importante como muestra la Figura 5-1, en la cual se observan cinco modos con un valor de participación modal mayor al 40% del factor de participación modal del modo fundamental.

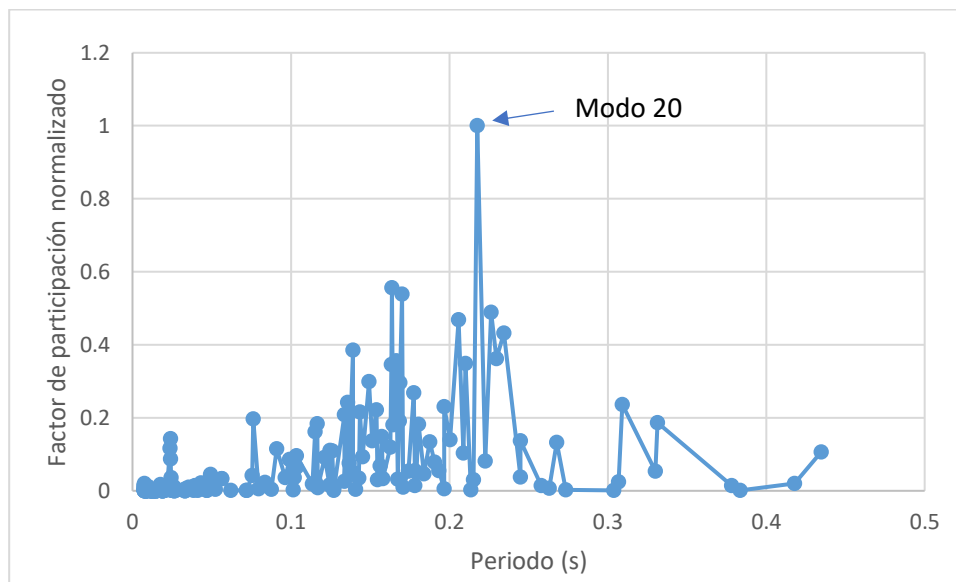


Figura 5-1. Factor de participación normalizado del Modelo 5

La forma modal de los estanques varía según su condición de borde. Para los modelos anclados se observa una forma modal más cercana a la deformada de una viga en voladizo. Para los modelos simplemente apoyado, las formas modales son diferentes para cada Estanque, ya que para el Estanque 25 la deformada se asemeja a una viga simplemente apoyada, mientras que en la deformada para el Estanque 27 se pueden observar la influencia de las masas puntuales sobre el manto. Por último, en las formas modales de los

modelos anclados mediante resortes, para ambos estanques, se pueden observar claramente la influencia de cada masa puntual sobre el manto. La Figura 5-2 muestra las formas modales para cada tipo de condición de borde consideradas en ambos estanques.

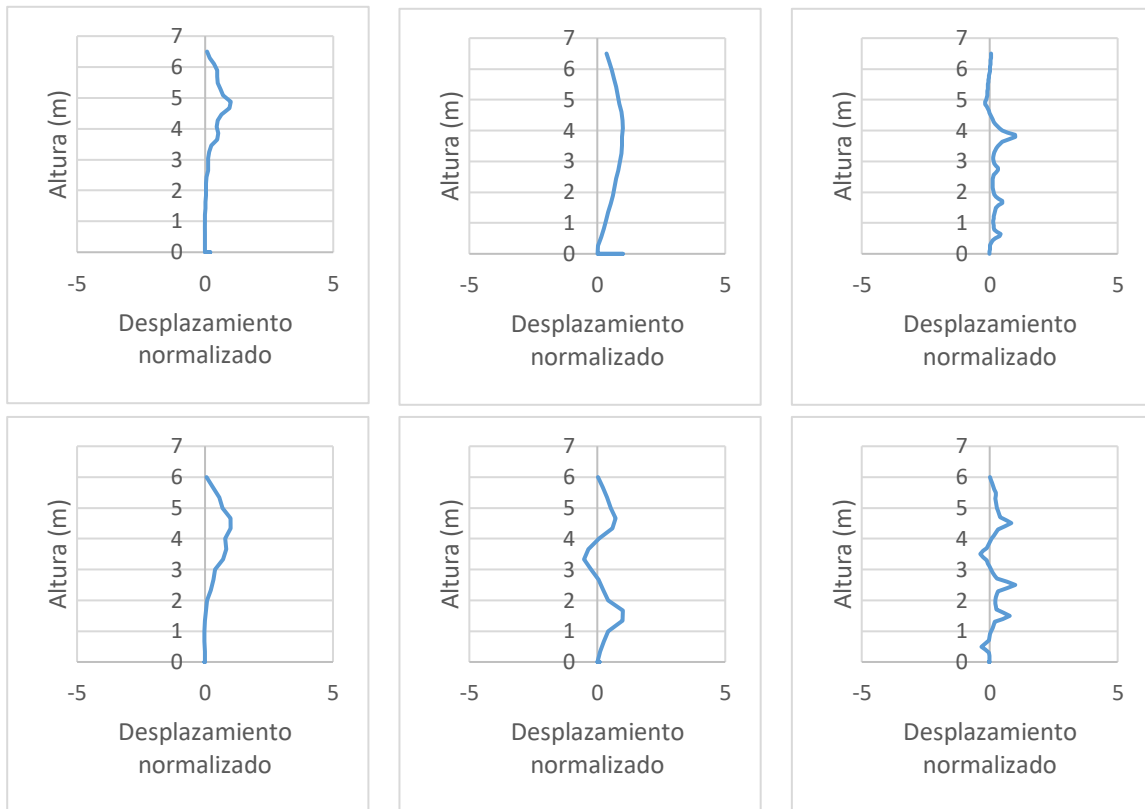


Figura 5-2. Formas modales modelos del estanque 25 (5, 9 y 11) y el estanque 27 (7, 10 y 12) respectivamente

Por otra parte, los parámetros modales obtenidos entregan evidencia de que el modo fundamental del estanque no es un modo global, sino un modo local. Los valores de  $\alpha_f$  (coeficiente de masa modal) muestra que la masa asociada al modo fundamental no es superior al 30%. Además, al calcular el factor de amplificación dinámica ( $F.P. \cdot \varphi_{techo}$ ) se obtienen valores mucho mayores a lo normalmente obtenido para edificios, del orden de diez veces mayor. Por lo tanto, lo anterior nos da indicios de que los modelos de los estanques son gobernados por modos locales y por singularidades.

Para poder comprender la causa de este comportamiento local de los modelos, se realiza un nuevo análisis modal. Este nuevo análisis considera el modelo 5, y modifica dos aspectos de este modelo. Una primera modificación consiste en aumentar el espesor del manto del estanque a 2 cm, para de esta forma comprender el efecto que tienen las masas puntuales sobre el manto. Los parámetros y la forma modal del modo fundamental de esta primera modificación se muestran en la Tabla 5-1 y en la Figura 5-3 respectivamente



Tabla 5-1. Parámetros modales del modelo 5 modificado (espesor de manto de 2 cm)

Modo	Periodo (s)	$F.P$	$\alpha_f$	$\varphi_{techo}$	$F.P \cdot \varphi_{techo}$
37	0.0365	188.08	0.2748	0.0046	0.8820

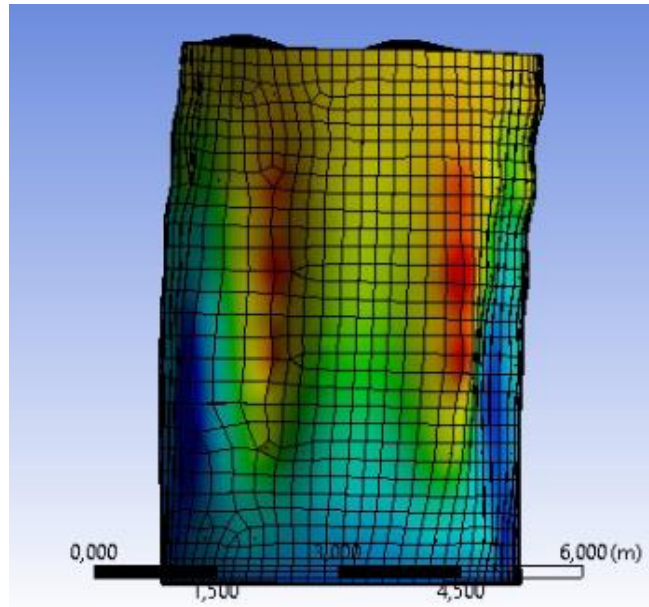


Figura 5-3. Forma modal del modo fundamental del modelo 5 modificado (espesor de manto de 2 cm)

Una segunda modificación del modelo 5 consiste en aumentar el espesor del manto del estanque a 2 cm y, además, quitar las masas puntuales del modelo. Los parámetros y la forma modal del modo fundamental de esta segunda modificación se muestran en la Tabla 5-2 y en la Figura 5-4 respectivamente.

Tabla 5-2. Parámetros modales del modelo 5 modificado (sin masas puntuales)

Modo	Periodo (s)	$F.P$	$\alpha_f$	$\varphi_{techo}$	$F.P \cdot \varphi_{techo}$
23	0.0214	103.14	0.6956	0.0120	1.2438

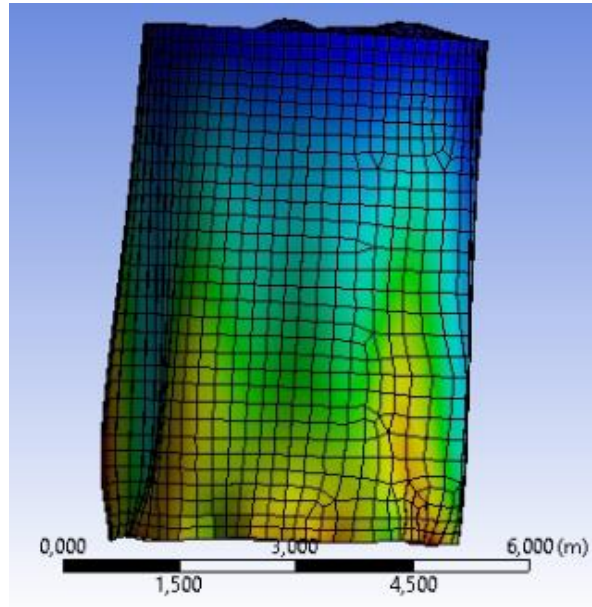


Figura 5-4. Forma modal del modo fundamental del modelo 5 modificado (sin masas puntuales)

De estos nuevos análisis modales se pueden realizar dos conclusiones. Por un lado, se concluye que el espesor del manto de los estanques tiene una gran influencia en los resultados del análisis modal ya que, al ser tan delgado, las masas puntuales determinan en gran medida la deforma de la forma modal, lo cual se evidencia al observar que en la Figura 5-3 la influencia de las masas puntuales es casi imperceptibles, a diferencia de lo que se observa en la Figura 5-2, ya que se tiene un espesor de manto casi diez veces mayor. Por otro lado, se concluye que las masas puntuales tienen una gran influencia en los parámetros modales. Lo anterior se evidencia en que al analizar el modelo 5 sin estas masas puntuales, se pasa de un modo fundamental local a un modo fundamental global, el cual tiene asociado una masa de casi 70%.

## 5.2. Espectros de diseño

De los resultados para el Estanque 25 se observa que, a una condición de borde más restrictiva, la capacidad de este aumenta, ya que soporta aceleraciones basales mayores (PGA crítico). Sin embargo, esto no es cierto para el Estanque 27, ya que los mayores valores de PGA crítico no se dan para la condición de borde más restrictiva (anclado), sino que para el desplazamiento de techo y el desplazamiento paralelo del nodo crítico se obtienen los menores valores. Para el desplazamiento radial de nodo crítico se obtienen resultados similares a los obtenidos para el estanque 25.

En cuanto al valor de PGA crítico obtenido para las normas NCh 2369 y NCh 2745, mostrados en la Tabla 5-3 y la Tabla 5-4, se observa que según la Norma NCh 2745 se obtienen valores mayores o similares a la norma NCh 2369, y excepcionalmente menor. Lo anterior muestra que al usar el espectro de diseño de la norma NCh 2745 se obtienen mejores resultados, ya que considera una zona inicial de aumento de aceleración, siendo más cercano a la realidad al estar basado en el fenómeno natural, mientras que el espectro de la norma NCh 2369 resulta ser una opción más conservadora dado que no está basado en el movimiento del suelo.

Tabla 5-3. Resumen de PGA crítico (g) para modelos del Estanque 25

Modelo	NCh 2369			NCh 2745		
	Techo	N.C. Radial	N.C. Paralelo	Techo	N.C. Radial	N.C. Paralelo
Modelo 5 (Anclado)	0.385	0.385	1.078	0.385	0.920	0.920
Modelo 9 (Simplemente apoyado)	0.090	0.090	0.090	0.152	0.241	0.090
Modelo 11 (Resorte 25t)	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127	0.129
Modelo 16 (Resorte 30t)	0.126	0.126	0.126	0.126	0.129	0.126
Modelo 17 (Resorte 35t)	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.140
Modelo 18 (Resorte 45t)	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.144

Tabla 5-4. Resumen de factor PGA crítico (g) para modelos del Estanque 27

Modelo	NCh 2369			NCh 2745		
	Techo	N.C. Radial	N.C. Paralelo	Techo	N.C. Radial	N.C. Paralelo
Modelo 7 (Anclado)	0.126	0.243	0.136	0.126	0.230	0.146
Modelo 10 (Simplemente apoyado)	0.237	0.153	1.485	0.236	0.153	1.094
Modelo 12 (Resorte 25t)	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
Modelo 13 (Resorte 12t)	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197
Modelo 14 (Resorte 6t)	0.151	0.151	0.151	0.151	0.151	0.151
Modelo 15 (Resorte 3t)	0.221	0.154	0.164	0.224	0.154	0.180

Con respecto a los puntos de desempeño del Estanque 25, mostrados en la Tabla 5-5, se observa que las aceleraciones espectrales son mayores para el modelo anclado, y menores para el modelo simplemente apoyado, lo que indica que, al aumentar las restricciones en las condiciones de borde, aumenta el valor de las aceleraciones que es capaz de soportar el estanque. En cuanto a los desplazamientos espectrales, se observa que los mayores valores se obtienen al medir el desplazamiento del nodo crítico en la dirección paralela a la aplicación de la carga, y los menores valores se obtienen de los desplazamientos del nodo crítico medido en la dirección radial del estanque. Esto nos muestra el gran efecto que tiene el pandeo de manto sobre el comportamiento del estanque, ya que en el punto de desempeño el estanque soporta mayores desplazamientos en la dirección de aplicación de la carga que en la dirección radial.

Tabla 5-5. Resumen de puntos de desempeño para modelos del Estanque 25

Modelo	$S_d$ Techo (m)	$S_d$ N.C. Radial (m)	$S_d$ N.C. Paralelo (m)	$S_a$ (g)
Modelo 5 (Anclado)	0.013	0.002	0.394	0.961
Modelo 9 (Simplemente apoyado)	0.001	0.0002	0.015	0.225
Modelo 11 (Resorte 25t)	0.005	0.003	0.024	0.318

Modelo 16 (Resorte 30t)	0.004	0.003	0.023	0.314
Modelo 17 (Resorte 35t)	0.005	0.004	0.026	0.335
Modelo 18 (Resorte 45t)	0.005	0.004	0.027	0.345

De los puntos de desempeño del Estanque 27, mostrados en la Tabla 5-6, se observa que existe una relación entre la condición de borde y el valor de la aceleración espectral, ya que en los modelos anclados mediante resorte disminuye el valor de  $S_a$  al disminuir la rigidez del resorte de anclaje, llegando a un valor cercano al del modelo simplemente apoyado. Por otro lado, en el modelo anclado se obtiene el menor valor de  $S_a$ , lo que muestra que el comportamiento del estanque varía según la tipología geométrica del estanque, ya que en el estanque 25 el valor de  $S_a$  para el modelo anclado es el mayor. En cuanto a los desplazamientos espectrales, al igual que para el caso del Estanque 25, se observa la importancia del efecto del pandeo de manto, ya que los valores de los desplazamientos medidos en el nodo crítico en la dirección radial, son casi siempre menor que los desplazamientos de las otras zonas de interés.

Tabla 5-6. Resumen de puntos de desempeño para modelos del Estanque 27

Modelo	$S_a$ Techo (m)	$S_a$ N.C. Radial (m)	$S_a$ N.C. Paralelo (m)	$S_a$ (g)
Modelo 7 (Anclado)	0.009	0.012	0.030	0.316
Modelo 10 (Simplemente apoyado)	0.064	0.004	1.008	0.383
Modelo 12 (Resorte 25t)	0.009	0.011	0.015	0.642
Modelo 13 (Resorte 12t)	0.012	0.006	0.011	0.492
Modelo 14 (Resorte 6t)	0.021	0.005	0.015	0.378
Modelo 15 (Resorte 3t)	0.057	0.012	0.037	0.384

De los factores de ajustes (definido en la sección 2.3) para el Estanque 25, mostrados en la Tabla 5-7, se observa que solo para el modelo anclado el valor de este factor es mayor a uno o, en otras palabras, el punto de desempeño se encuentra por sobre el espectro de diseño, lo que indica que el Estanque 25 es capaz de soportar tal demanda al contar con

una condición de borde anclada en su base. Para el Estanque 27, la mayoría de los factores de ajuste, mostrados en la Tabla 5-8, son menores a uno, indicando que el estanque no es capaz de desarrollar las aceleraciones de los espectros de diseños sin pandearse y experimentar daño.

Tabla 5-7. Resumen de factor de ajuste de espectros de diseño para modelos del Estanque 25

Modelo	NCh 2369			NCh 2745		
	Techo	N.C. Radial	N.C. Paralelo	Techo	N.C. Radial	N.C. Paralelo
Modelo 5 (Anclado)	1.217	1.217	3.410	0.685	1.640	1.640
Modelo 9 (Simplemente apoyado)	0.285	0.285	0.285	0.270	0.430	0.161
Modelo 11 (Resorte 25t)	0.358	0.358	0.358	0.202	0.202	0.202
Modelo 16 (Resorte 30t)	0.398	0.398	0.398	0.224	0.230	0.224
Modelo 17 (Resorte 35t)	0.398	0.398	0.398	0.224	0.224	0.224
Modelo 18 (Resorte 45t)	0.399	0.399	0.399	0.224	0.224	0.224

Tabla 5-8. Resumen de factor de ajuste de espectros de diseño para modelos del Estanque 27

Modelo	NCh 2369			NCh 2745		
	Techo	N.C. Radial	N.C. Paralelo	Techo	N.C. Radial	N.C. Paralelo
Modelo 7 (Anclado)	0.400	0.770	0.430	0.225	0.410	0.260
Modelo 10 (Simplemente apoyado)	0.750	0.485	4.700	0.420	0.273	1.950
Modelo 12 (Resorte 25t)	0.812	0.812	0.812	0.457	0.457	0.457
Modelo 13 (Resorte 12t)	0.623	0.623	0.623	0.351	0.351	0.351
Modelo 14 (Resorte 6t)	0.479	0.479	0.479	0.270	0.270	0.270
Modelo 15 (Resorte 3t)	0.700	0.486	0.520	0.400	0.274	0.320

### 5.3. Espectros sísmicos

El análisis de las curvas de capacidades y sus respectivos puntos de desempeño obtenidos utilizando espectros sísmicos, entrega información de gran importancia, ya que estos espectros sísmicos corresponden a la demanda efectiva a la que se vieron sometidos los estanques y, al conocer los resultados de tal demanda (graves daños en estanques), se puede determinar si el punto de desempeño obtenido es consistente con el comportamiento observado.

La Tabla 5-9 y la Tabla 5-10 muestran los factores de ajuste que se obtuvieron en la obtención los puntos de desempeño para cada espectro sísmico. El valor de este factor indica cómo se ajusta la demanda para que esta se intercepte con la curva de capacidad en el punto en el que la capacidad del estanque comienza a disminuir, punto considerado como punto de desempeño, lo cual es la metodología propuesta por Virella et al (2008). Por lo anterior, se concluye que un valor de este factor menor a uno indica que el estanque alcanzó su capacidad máxima para una aceleración menor al peak del espectro sísmico, mientras que un valor mayor a uno indica que las sollicitaciones que se generan en el estanque debido a la excitación sísmica no alcanzan el máximo de la curva de capacidad del estanque.

Tabla 5-9. Resumen de factor de ajuste para modelos del Estanque 25 (se resaltan valores mayores a 1)

Modelo	Ubicación	Dirección	Techo	Radial	Paralelo	Teórico
Modelo 5	Constitución	Longitudinal	0.30	1.30	1.76	1.63
		Transversal	0.24	0.98	0.81	1.62
	Curicó	Norte-Sur	0.46	0.49	1.52	1.04
		Este-Oeste	0.47	0.65	2.07	1.50
	Hualañé	Longitudinal	0.57	0.56	1.94	1.81
		Transversal	0.75	0.65	1.34	1.76
	Matanza	Longitudinal	0.82	2.18	1.59	2.64
		Transversal	0.79	1.95	2.68	2.36
	Talca	Longitudinal	0.52	1.07	2.91	1.12
		Transversal	0.48	0.86	2.23	1.22
Modelo 9	Constitución	Longitudinal	0.18	0.38	0.09	0.40
		Transversal	0.18	0.27	0.08	0.39
	Curicó	Norte-Sur	0.08	0.28	0.18	0.17
		Este-Oeste	0.13	0.38	0.18	0.24
	Hualañé	Longitudinal	0.18	0.30	0.17	0.34
		Transversal	0.16	0.22	0.19	0.23
	Matanza	Longitudinal	0.24	0.59	0.10	0.58
		Transversal	0.25	0.69	0.15	0.61
	Talca	Longitudinal	0.09	0.42	0.16	0.18
		Transversal	0.13	0.40	0.25	0.26

Modelo 11	Constitución	Longitudinal	0.11	0.17	0.10	0.19
		Transversal	0.11	0.16	0.08	0.18
	Curicó	Norte-Sur	0.13	0.15	0.24	0.33
		Este-Oeste	0.18	0.19	0.25	0.27
	Hualañé	Longitudinal	0.18	0.20	0.21	0.39
		Transversal	0.21	0.21	0.22	0.41
	Matanza	Longitudinal	0.29	0.32	0.14	0.37
		Transversal	0.22	0.26	0.21	0.50
Talca	Longitudinal	0.16	0.15	0.22	0.31	
	Transversal	0.15	0.13	0.34	0.29	
Modelo 16	Constitución	Longitudinal	0.10	0.15	0.13	0.22
		Transversal	0.08	0.15	0.11	0.21
	Curicó	Norte-Sur	0.15	0.16	0.35	0.39
		Este-Oeste	0.15	0.21	0.39	0.32
	Hualañé	Longitudinal	0.18	0.20	0.21	0.45
		Transversal	0.24	0.24	0.27	0.48
	Matanza	Longitudinal	0.26	0.34	0.16	0.44
		Transversal	0.26	0.26	0.24	0.59
Talca	Longitudinal	0.17	0.18	0.27	0.37	
	Transversal	0.15	0.15	0.32	0.35	
Modelo 17	Constitución	Longitudinal	0.10	0.15	0.14	0.22
		Transversal	0.08	0.15	0.10	0.21
	Curicó	Norte-Sur	0.15	0.17	0.31	0.39
		Este-Oeste	0.16	0.21	0.34	0.32
	Hualañé	Longitudinal	0.19	0.21	0.22	0.45
		Transversal	0.24	0.24	0.27	0.48
	Matanza	Longitudinal	0.27	0.34	0.16	0.44
		Transversal	0.26	0.26	0.23	0.60
Talca	Longitudinal	0.17	0.18	0.25	0.37	
	Transversal	0.16	0.15	0.32	0.35	
Modelo 18	Constitución	Longitudinal	0.10	0.15	0.14	0.23
		Transversal	0.08	0.15	0.11	0.21
	Curicó	Norte-Sur	0.15	0.17	0.31	0.39
		Este-Oeste	0.16	0.21	0.34	0.32
	Hualañé	Longitudinal	0.19	0.21	0.22	0.45
		Transversal	0.24	0.24	0.27	0.48
	Matanza	Longitudinal	0.27	0.34	0.16	0.44
		Transversal	0.26	0.26	0.23	0.60
Talca	Longitudinal	0.17	0.18	0.25	0.37	
	Transversal	0.17	0.15	0.32	0.35	



Tabla 5-10- Resumen de factor de ajuste para modelos del Estanque 27 (se resaltan valores mayores a 1)

	Ubicación	Dirección	Techo	Radial	Paralelo	Teórico
Modelo 7	Constitución	Longitudinal	0.10	0.48	0.14	0.18
		Transversal	0.11	0.20	0.14	0.15
	Curicó	Norte-sur	0.26	0.57	0.44	0.27
		Este-Oeste	0.19	0.49	0.38	0.29
	Hualañé	Longitudinal	0.26	0.48	0.23	0.35
		Transversal	0.31	0.48	0.24	0.45
	Matanza	Longitudinal	0.23	0.31	0.19	0.51
		Transversal	0.30	0.50	0.19	0.47
Talca	Longitudinal	0.17	0.67	0.48	0.32	
	Transversal	0.20	0.55	0.32	0.31	
Modelo 10	Constitución	Longitudinal	0.27	0.16	2.80	0.36
		Transversal	0.16	0.16	2.20	0.35
	Curicó	Norte-sur	0.64	0.19	4.20	0.36
		Este-Oeste	0.51	0.25	5.30	0.46
	Hualañé	Longitudinal	0.41	0.25	4.00	0.44
		Transversal	0.44	0.29	4.20	0.50
	Matanza	Longitudinal	0.30	0.40	2.30	0.73
		Transversal	0.61	0.31	4.70	0.56
Talca	Longitudinal	0.77	0.22	5.70	0.36	
	Transversal	0.52	0.20	4.50	0.27	
Modelo 12	Constitución	Longitudinal	0.20	0.22	0.25	0.43
		Transversal	0.15	0.14	0.25	0.68
	Curicó	Norte-sur	0.32	0.37	0.46	1.54
		Este-Oeste	0.30	0.28	0.38	1.13
	Hualañé	Longitudinal	0.38	0.39	0.54	1.60
		Transversal	0.50	0.51	0.56	1.50
	Matanza	Longitudinal	0.53	0.49	0.50	1.22
		Transversal	0.55	0.62	0.68	1.55
Talca	Longitudinal	0.34	0.35	0.42	1.52	
	Transversal	0.31	0.27	0.41	1.54	
Modelo 13	Constitución	Longitudinal	0.19	0.17	0.21	0.23
		Transversal	0.19	0.18	0.17	0.29
	Curicó	Norte-Sur	0.35	0.22	0.34	0.68
		Este-Oeste	0.29	0.29	0.28	0.54
	Hualañé	Longitudinal	0.41	0.30	0.38	0.77
		Transversal	0.43	0.37	0.41	0.82
	Matanza	Longitudinal	0.38	0.48	0.39	0.53
		Transversal	0.52	0.37	0.54	0.77
Talca	Longitudinal	0.33	0.28	0.33	0.58	
	Transversal	0.31	0.28	0.30	0.51	

Modelo 14	Constitución	Longitudinal	0.14	0.12	0.10	0.23
		Transversal	0.11	0.09	0.14	0.29
	Curicó	Norte-Sur	0.31	0.19	0.33	0.68
		Este-Oeste	0.33	0.18	0.24	0.53
	Hualañé	Longitudinal	0.27	0.22	0.32	0.76
		Transversal	0.30	0.29	0.31	0.81
	Matanza	Longitudinal	0.21	0.32	0.26	0.53
		Transversal	0.30	0.33	0.32	0.76
	Talca	Longitudinal	0.31	0.20	0.32	0.58
		Transversal	0.44	0.18	0.35	0.51
Modelo 15	Constitución	Longitudinal	0.22	0.11	0.18	0.22
		Transversal	0.19	0.14	0.17	0.27
	Curicó	Norte-Sur	0.55	0.33	0.54	0.63
		Este-Oeste	0.42	0.26	0.46	0.50
	Hualañé	Longitudinal	0.33	0.37	0.28	0.71
		Transversal	0.38	0.40	0.31	0.76
	Matanza	Longitudinal	0.25	0.26	0.23	0.50
		Transversal	0.48	0.38	0.24	0.71
	Talca	Longitudinal	0.58	0.29	0.59	0.53
		Transversal	0.35	0.25	0.38	0.48

Dado que se conoce el estado en el que quedaron los estanques luego del terremoto del Maule de 2010, lo correcto es obtener un valor del factor de ajuste menor a uno en los modelos que representan al estanque real, los cuales son los modelos anclados mediante resorte para el estanque 25 y el modelo simplemente apoyado para el estanque 27. Al comparar los factores de ajuste para cada zona de medición de deformaciones, se observa que, para el estanque 25, en general lo menores valores se obtienen al considerar el desplazamiento de techo, y para el estanque 27, en general los menores valores se obtienen al considerar el desplazamiento radial del nodo crítico.

La Tabla 5-11 y la Tabla 5-12 muestran los valores del PGA obtenido para cada zona de medición, cada método y para cada espectro sísmico. Siguiendo el método propuesto por Virella et al (2008), estos valores de PGA representan la aceleración de suelo que genera el pandeo elástico del manto del estanque.

Tabla 5-11. Resumen de PGA para modelos del Estanque 25

Modelo	Ubicación	Dirección	Techo	Radial	Paralelo	Teórico	Registro
Modelo 5	Constitución	Longitudinal	0.166	0.718	0.972	0.900	0.166
		Transversal	0.154	0.627	0.518	1.037	0.154
	Curicó	Norte-Sur	0.216	0.230	0.714	0.489	0.216

		Este-Oeste	0.192	0.266	0.847	0.614	0.192
		Hualañé	Longitudinal	0.222	0.218	0.755	0.704
	Transversal		0.346	0.300	0.618	0.811	0.346
	Matanza	Longitudinal	0.280	0.746	0.544	0.903	0.280
		Transversal	0.243	0.601	0.825	0.727	0.243
	Talca	Longitudinal	0.248	0.510	1.388	0.534	0.248
Transversal		0.204	0.365	0.946	0.517	0.204	
Modelo 9	Constitución	Longitudinal	0.099	0.210	0.050	0.221	0.099
		Transversal	0.115	0.173	0.051	0.250	0.115
	Curicó	Norte-Sur	0.038	0.132	0.085	0.080	0.038
		Este-Oeste	0.053	0.155	0.074	0.098	0.053
	Hualañé	Longitudinal	0.070	0.117	0.066	0.132	0.070
		Transversal	0.074	0.101	0.088	0.106	0.074
	Matanza	Longitudinal	0.082	0.202	0.034	0.198	0.082
		Transversal	0.077	0.213	0.046	0.188	0.077
Talca	Longitudinal	0.043	0.200	0.076	0.086	0.043	
	Transversal	0.055	0.170	0.106	0.110	0.055	
Modelo 11	Constitución	Longitudinal	0.061	0.094	0.055	0.105	0.061
		Transversal	0.070	0.102	0.051	0.115	0.070
	Curicó	Norte-Sur	0.061	0.071	0.113	0.155	0.061
		Este-Oeste	0.074	0.078	0.102	0.110	0.074
	Hualañé	Longitudinal	0.070	0.078	0.082	0.152	0.070
		Transversal	0.097	0.097	0.101	0.189	0.097
	Matanza	Longitudinal	0.099	0.109	0.048	0.127	0.099
		Transversal	0.068	0.080	0.065	0.154	0.068
Talca	Longitudinal	0.076	0.072	0.105	0.148	0.076	
	Transversal	0.064	0.055	0.144	0.123	0.064	
Modelo 16	Constitución	Longitudinal	0.055	0.083	0.072	0.121	0.055
		Transversal	0.051	0.096	0.070	0.134	0.051
	Curicó	Norte-Sur	0.071	0.075	0.165	0.183	0.071
		Este-Oeste	0.061	0.086	0.160	0.131	0.061
	Hualañé	Longitudinal	0.070	0.078	0.082	0.175	0.070
		Transversal	0.111	0.111	0.124	0.221	0.111
	Matanza	Longitudinal	0.089	0.116	0.055	0.150	0.089
		Transversal	0.080	0.080	0.074	0.182	0.080
Talca	Longitudinal	0.081	0.086	0.129	0.176	0.081	
	Transversal	0.064	0.064	0.136	0.148	0.064	
Modelo 17	Constitución	Longitudinal	0.055	0.083	0.077	0.121	0.055
		Transversal	0.051	0.096	0.064	0.134	0.051
	Curicó	Norte-Sur	0.071	0.080	0.146	0.183	0.071
		Este-Oeste	0.065	0.086	0.139	0.131	0.065
	Hualañé	Longitudinal	0.074	0.082	0.086	0.175	0.074

	Matanza	Transversal	0.111	0.111	0.124	0.221	0.111
		Longitudinal	0.092	0.116	0.055	0.150	0.092
	Talca	Transversal	0.080	0.080	0.071	0.185	0.080
		Longitudinal	0.081	0.086	0.119	0.176	0.081
Modelo 18	Constitución	Longitudinal	0.055	0.083	0.077	0.127	0.055
		Transversal	0.051	0.096	0.070	0.134	0.051
	Curicó	Norte-Sur	0.071	0.080	0.146	0.183	0.071
		Este-Oeste	0.065	0.086	0.139	0.131	0.065
	Hualañé	Longitudinal	0.074	0.082	0.086	0.175	0.074
		Transversal	0.111	0.111	0.124	0.221	0.111
	Matanza	Longitudinal	0.092	0.116	0.055	0.150	0.092
		Transversal	0.080	0.080	0.071	0.185	0.080
	Talca	Longitudinal	0.081	0.086	0.119	0.176	0.081
		Transversal	0.072	0.064	0.136	0.148	0.072

Tabla 5-12. Resumen de PGA para modelos del Estanque 27

	Ubicación	Dirección	Techo	Radial	Paralelo	Teórico	Registro
Modelo 7	Constitución	Longitudinal	0.055	0.265	0.077	0.099	0.055
		Transversal	0.070	0.128	0.090	0.096	0.070
	Curicó	Norte-sur	0.122	0.268	0.207	0.127	0.122
		Este-Oeste	0.078	0.200	0.155	0.119	0.078
	Hualañé	Longitudinal	0.101	0.187	0.089	0.136	0.101
		Transversal	0.143	0.221	0.111	0.207	0.143
	Matanza	Longitudinal	0.079	0.106	0.065	0.174	0.079
		Transversal	0.092	0.154	0.059	0.145	0.092
Talca	Longitudinal	0.081	0.320	0.229	0.153	0.081	
	Transversal	0.085	0.233	0.136	0.131	0.085	
Modelo 10	Constitución	Longitudinal	0.149	0.088	1.546	0.199	0.149
		Transversal	0.102	0.102	1.408	0.224	0.102
	Curicó	Norte-sur	0.301	0.089	1.974	0.169	0.301
		Este-Oeste	0.209	0.102	2.168	0.188	0.209
	Hualañé	Longitudinal	0.159	0.097	1.556	0.171	0.159
		Transversal	0.203	0.134	1.936	0.231	0.203
	Matanza	Longitudinal	0.103	0.137	0.787	0.250	0.103
		Transversal	0.188	0.095	1.448	0.172	0.188
Talca	Longitudinal	0.367	0.105	2.719	0.172	0.367	
	Transversal	0.220	0.085	1.908	0.114	0.220	
Modelo 12	Constitución	Longitudinal	0.110	0.121	0.138	0.237	0.110
		Transversal	0.096	0.090	0.160	0.435	0.096
	Curicó	Norte-sur	0.150	0.174	0.216	0.724	0.150

		Este-Oeste	0.123	0.115	0.155	0.462	0.123
		Hualañé	Longitudinal	0.148	0.152	0.210	0.622
	Transversal		0.231	0.235	0.258	0.692	0.231
	Matanza	Longitudinal	0.181	0.168	0.171	0.417	0.181
		Transversal	0.169	0.191	0.209	0.477	0.169
	Talca	Longitudinal	0.162	0.167	0.200	0.725	0.162
Transversal		0.131	0.114	0.174	0.653	0.131	
Modelo 13	Constitución	Longitudinal	0.105	0.094	0.116	0.127	0.105
		Transversal	0.122	0.115	0.109	0.186	0.122
	Curicó	Norte-Sur	0.165	0.103	0.160	0.320	0.165
		Este-Oeste	0.119	0.119	0.115	0.221	0.119
	Hualañé	Longitudinal	0.159	0.117	0.148	0.300	0.159
		Transversal	0.198	0.171	0.189	0.378	0.198
	Matanza	Longitudinal	0.130	0.164	0.133	0.181	0.130
		Transversal	0.160	0.114	0.166	0.237	0.160
Talca	Longitudinal	0.157	0.134	0.157	0.277	0.157	
	Transversal	0.131	0.119	0.127	0.216	0.131	
Modelo 14	Constitución	Longitudinal	0.077	0.066	0.055	0.127	0.077
		Transversal	0.070	0.058	0.090	0.186	0.070
	Curicó	Norte-Sur	0.146	0.089	0.155	0.320	0.146
		Este-Oeste	0.135	0.074	0.098	0.217	0.135
	Hualañé	Longitudinal	0.105	0.086	0.124	0.296	0.105
		Transversal	0.138	0.134	0.143	0.373	0.138
	Matanza	Longitudinal	0.072	0.109	0.089	0.181	0.072
		Transversal	0.092	0.102	0.099	0.234	0.092
Talca	Longitudinal	0.148	0.095	0.153	0.277	0.148	
	Transversal	0.187	0.076	0.148	0.216	0.187	
Modelo 15	Constitución	Longitudinal	0.121	0.061	0.099	0.121	0.121
		Transversal	0.122	0.090	0.109	0.173	0.122
	Curicó	Norte-Sur	0.259	0.155	0.254	0.296	0.259
		Este-Oeste	0.172	0.106	0.188	0.205	0.172
	Hualañé	Longitudinal	0.128	0.144	0.109	0.276	0.128
		Transversal	0.175	0.184	0.143	0.350	0.175
	Matanza	Longitudinal	0.086	0.089	0.079	0.171	0.086
		Transversal	0.148	0.117	0.074	0.219	0.148
Talca	Longitudinal	0.277	0.138	0.281	0.253	0.277	
	Transversal	0.148	0.106	0.161	0.204	0.148	

Con los espectros sísmicos se realiza una comparación con los espectros de diseño de las normas NCh 2369 (2003) y NCh 2745 (2003). La comparación muestra que las normas de diseño no alcanzan a replicar las sollicitaciones reales que genera un sismo

principalmente en la zona de periodos bajos, zona en la que se encuentran los estanques analizados en este estudio (Figura 5-5).

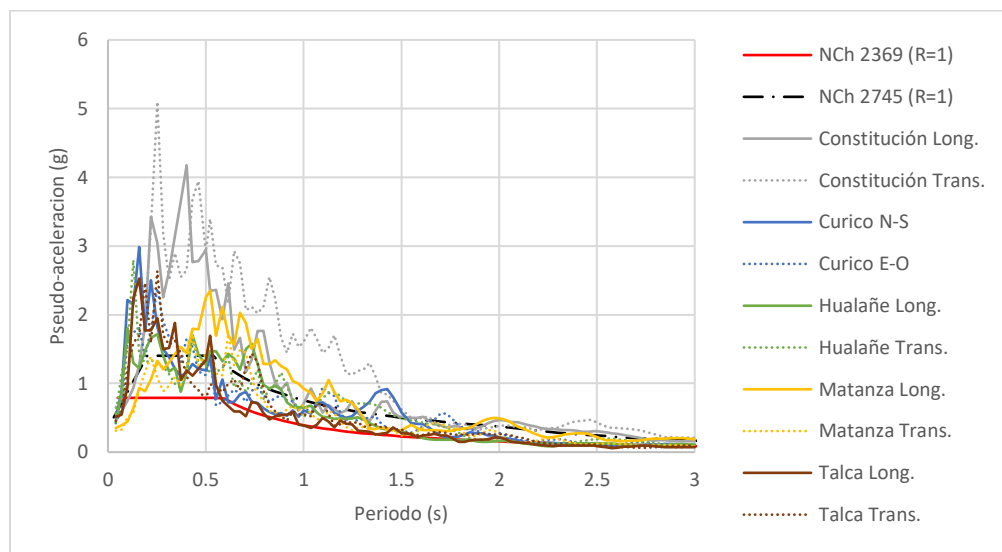


Figura 5-5. Comparación de espectros sísmicos con espectros de diseño

Por otro lado, al comparar los PGA críticos promedios obtenidos utilizando registros sísmicos (Tabla 5-13 y Tabla 5-14) con los obtenidos a través de espectros de diseños (Tabla 5-3 y Tabla 5-4), se observa que tanto para el estanque 25 como para el estanque 27 se obtienen valores mayores al considerar espectros de diseño.

Tabla 5-13. PGA crítico (g) promedio para el Estanque 25 obtenido según registros sísmicos

Modelo	Techo	Radial	Paralelo	Teórico	Registros
Modelo 5 (Anclado)	0.227	0.458	0.813	0.724	0.447
Modelo 9 (Simplemente apoyado)	0.071	0.167	0.068	0.147	
Modelo 11 (Resorte 25t)	0.074	0.084	0.087	0.138	
Modelo 16 (Resorte 30t)	0.073	0.088	0.107	0.162	
Modelo 17 (Resorte 35t)	0.075	0.088	0.102	0.162	
Modelo 18 (Resorte 45t)	0.075	0.088	0.102	0.163	

Tabla 5-14. PGA crítico (g) promedio para el Estanque 27 obtenido según registros sísmicos

Modelo	Techo	Radial	Paralelo	Teórico	Registros
Modelo 7 (Anclado)	0.091	0.208	0.122	0.139	0.447
Modelo 10 (Simplemente apoyado)	0.200	0.103	1.745	0.189	
Modelo 12 (Resorte 25t)	0.150	0.153	0.189	0.544	
Modelo 13 (Resorte 12t)	0.145	0.125	0.142	0.244	
Modelo 14 (Resorte 6t)	0.117	0.089	0.115	0.243	
Modelo 15 (Resorte 3t)	0.164	0.119	0.150	0.227	

## 5.4. Método teórico

Los espectros de capacidad de los modelos de ambos estanques obtenidos mediante el método teórico son en su mayoría lineales, es decir, el espectro de capacidad es lineal hasta alcanzar la carga crítica. Sin embargo, se puede observar una diferencia entre los espectros de capacidad de los modelos anclados mediante resortes, ya que mientras los modelos del Estanque 25 son cercanos a rectas, en los modelos del Estanque 27 se observa una distorsión a la mitad de la curva, como muestra la Figura 5-6.

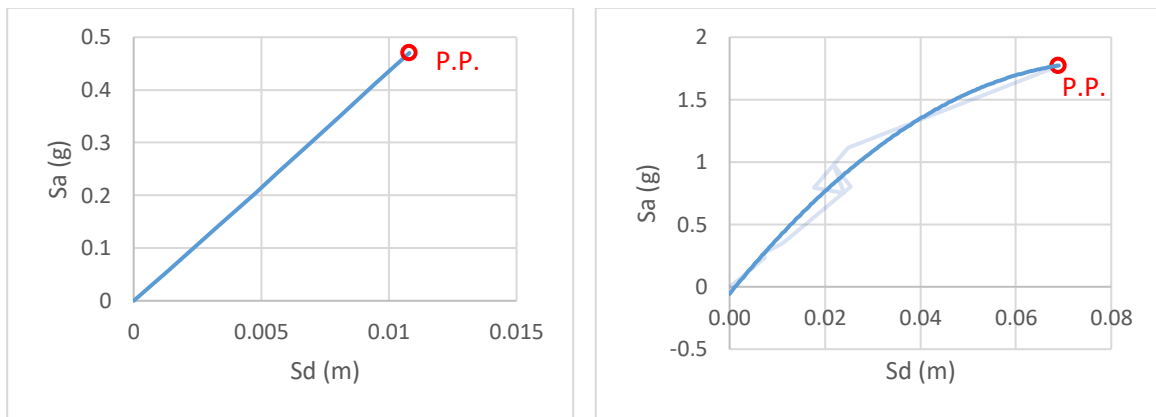


Figura 5-6. Espectro de capacidad de modelo 11 y 12 según método teórico

De los resultados obtenidos para el estanque 25, se observa que las aceleraciones basales (PGA crítico) siguen el mismo patrón que los valores obtenidos para los espectros de diseño, el cual indica que el valor de PGA crítico crece al aumentar la restricción de la condición de borde. Por otro lado, para el Estanque 27, se logra observar una tendencia similar a la observada para el Estanque 25, obteniendo valores de PGA crítico que disminuyen al tener condiciones de bordes menos restrictivas. Sin embargo, el modelo anclado no sigue esta regla, ya que, a pesar de tener la condición de borde más restrictiva, tiene los menores valores de PGA crítico, de forma similar a lo que se obtiene del análisis con espectros de diseño.

En cuanto a la comparación de los resultados obtenidos para las normas NCh 2369 y NCh 2745, se observa que los valores de PGA crítico son en su mayoría iguales, siendo las excepciones los modelos 5 y 9 del Estanque 25, donde este valor es mayor para la norma NCh 2745.



Tabla 5-15. Resumen de factor PGA crítico (g) para modelos del Estanque 25 según método teórico

Modelo	NCh 2369	NCh 2745
Modelo 5 (Anclado)	0.958	1.347
Modelo 9 (Simplemente apoyado)	0.174	0.314
Modelo 11 (Resorte 25t)	0.188	0.188
Modelo 16 (Resorte 30t)	0.222	0.222
Modelo 17 (Resorte 35t)	0.223	0.223
Modelo 18 (Resorte 45t)	0.225	0.225

Tabla 5-16. Resumen de factor PGA crítico (g) para modelos del Estanque 27 según método teórico

Modelo	NCh 2369	NCh 2745
Modelo 7 (Anclado)	0.234	0.234
Modelo 10 (Simplemente apoyado)	0.259	0.259
Modelo 12 (Resorte 25t)	0.708	0.708
Modelo 13 (Resorte 12t)	0.314	0.314
Modelo 14 (Resorte 6t)	0.312	0.312
Modelo 15 (Resorte 3t)	0.293	0.293

Los puntos de desempeño del estanque 25 siguen la misma tendencia que la de los valores de PGA crítico obtenidos para este estanque, observándose que tanto la aceleración como el desplazamiento espectral aumentan al tener condiciones de borde más restrictivas. Para el Estanque 27 también se repite la tendencia observada en los valores de PGA crítico para este estanque, ya que la aceleración y desplazamiento espectral disminuyen al tener condiciones de borde menos restrictivas, con la excepción del modelo anclado, donde se tienen los menores valores de aceleración y desplazamiento, de forma similar a lo que se obtiene con el método de Virella et al (2008) considerando desplazamiento de techo.

Tabla 5-17. Resumen de puntos de desempeño para modelos del Estanque 25 según el método teórico

Modelo	$S_a$ (g)	$S_d$ (m)
Modelo 5 (Anclado)	2.394	0.018
Modelo 9 (Simplemente apoyado)	0.428	0.002
Modelo 11 (Resorte 25t)	0.470	0.011
Modelo 16 (Resorte 30t)	0.555	0.013
Modelo 17 (Resorte 35t)	0.558	0.013
Modelo 18 (Resorte 45t)	0.562	0.013

Tabla 5-18. Resumen de puntos de desempeño para modelos del Estanque 27 según el método teórico

Modelo	$S_a$ (g)	$S_d$ (m)
Modelo 7 (Anclado)	0.585	0.008
Modelo 10 (Simplemente apoyado)	0.648	0.006
Modelo 12 (Resorte 25t)	1.770	0.069
Modelo 13 (Resorte 12t)	0.785	0.025
Modelo 14 (Resorte 6t)	0.780	0.025
Modelo 15 (Resorte 3t)	0.733	0.023

Los factores de ajuste en el caso del Estanque 25, solo para el modelo anclado son mayores a uno, y para los demás modelos, su valor aumenta para ambas normas al tener condiciones de borde más restrictivas. Para el Estanque 27, se obtiene valores mayores a uno para el modelo anclado mediante resorte con un valor de rigidez igual a 25 toneladas. Para los demás modelos del Estanque 27, el valor de este factor disminuye para ambas normas al tener condiciones de borde menos restrictivas.

Tabla 5-19. Resumen de factor de ajuste para modelos del Estanque 25 según método teórico

Modelo	NCh 2369	NCh 2745
Modelo 5 (Anclado)	3.031	2.400
Modelo 9 (Simplemente apoyado)	0.550	0.560
Modelo 11 (Resorte 25t)	0.595	0.335
Modelo 16 (Resorte 30t)	0.702	0.395
Modelo 17 (Resorte 35t)	0.706	0.398
Modelo 18 (Resorte 45t)	0.711	0.400

Tabla 5-20. Resumen de factor de ajuste para modelos del Estanque 27 según método teórico

Modelo	NCh 2369	NCh 2745
Modelo 7 (Anclado)	0.741	0.417
Modelo 10 (Simplemente apoyado)	0.820	0.462
Modelo 12 (Resorte 25t)	2.241	1.262
Modelo 13 (Resorte 12t)	0.994	0.560
Modelo 14 (Resorte 6t)	0.988	0.556
Modelo 15 (Resorte 3t)	0.928	0.523

## 5.5. Análisis puntos de desempeño

Los puntos de desempeño se determinan como el punto en el cual la capacidad estructural del estanque comienza a disminuir, por lo cual, se analizan las tensiones principales en el manto de los estanques para poder determinar la causa de la pérdida de capacidad.

De la Figura 5-7 a la Figura 5-18 se observan las tensiones principales en el manto que se generan en el punto de desempeño para cada modelo. Basándose en las indicaciones de la norma NCh 2369, en el estudio realizado por Ruiz S. (2016), se determinan las tensiones admisibles mostradas en la Tabla 5-21.

Tabla 5-21. Tensiones admisibles según NCh 2369

Estanque	Tensión admisible (MPa)
25	24
27	16

De las figuras se puede observar que, el Estanque 25 alcanza las tensiones admisibles solo para el modelo anclado. Por otro lado, el Estanque 27 alcanza las tensiones admisibles tanto en el modelo anclado como en el modelo simplemente apoyado y el modelo anclado mediante resorte con menor rigidez.

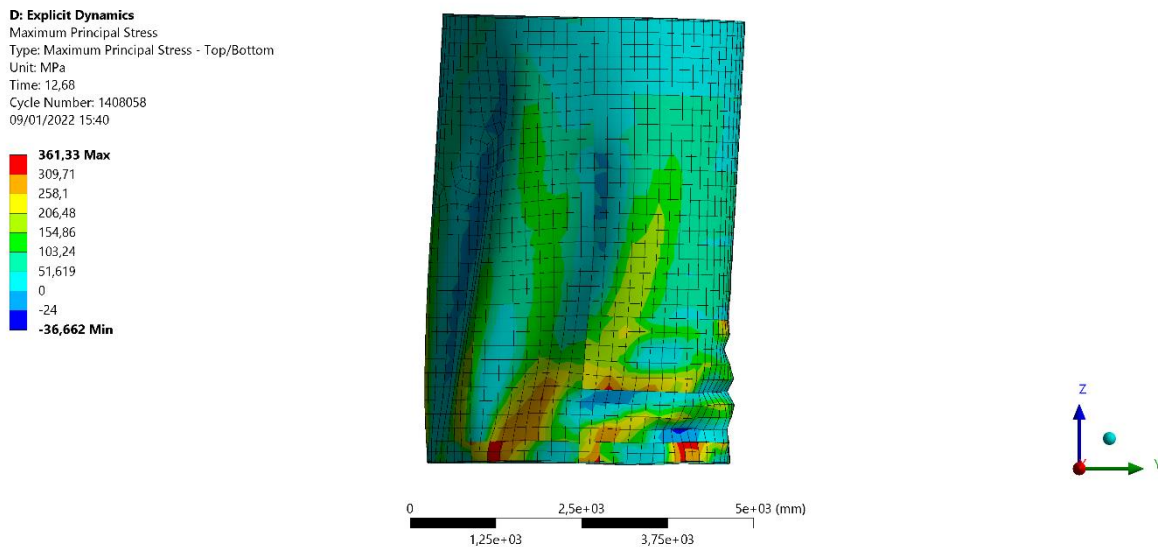


Figura 5-7. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 5

**D: Explicit Dynamics**  
 Maximum Principal Stress  
 Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom  
 Unit: MPa  
 Time: 1,91  
 Cycle Number: 249581  
 09/01/2022 16:21

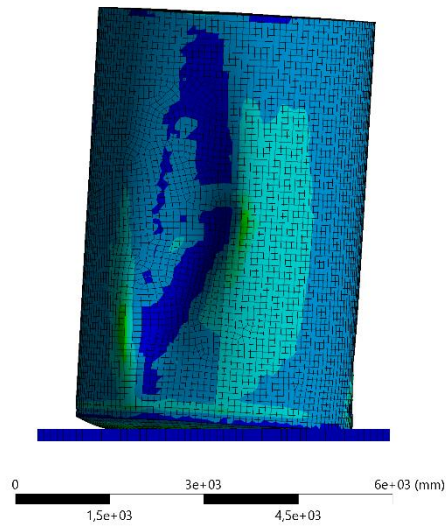
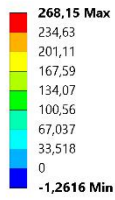


Figura 5-8. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 9

**A: Copy of Explicit Dynamics**  
 Maximum Principal Stress  
 Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom  
 Unit: MPa  
 Time: 5,67  
 Cycle Number: 1417892  
 09/01/2022 16:54

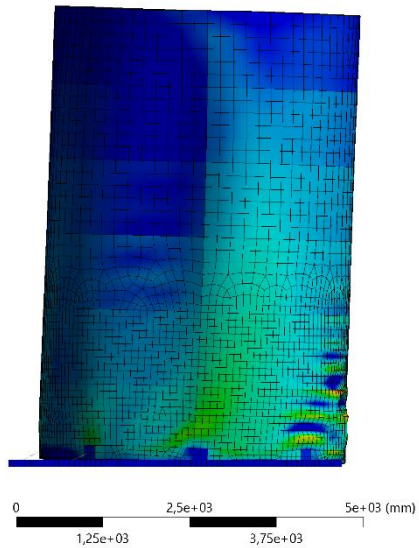
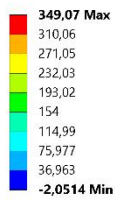


Figura 5-9. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 11

**A: Copy of Explicit Dynamics**  
Maximum Principal Stress  
Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom  
Unit: MPa  
Time: 5,1  
Cycle Number: 1275358  
09/01/2022 17:07

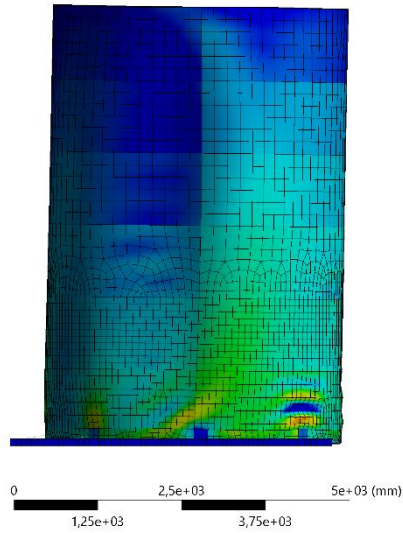
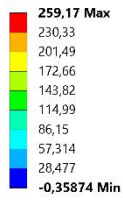


Figura 5-10. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 16

**A: Copy of Explicit Dynamics**  
Maximum Principal Stress  
Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom  
Unit: MPa  
Time: 5,14  
Cycle Number: 1285363  
09/01/2022 17:16

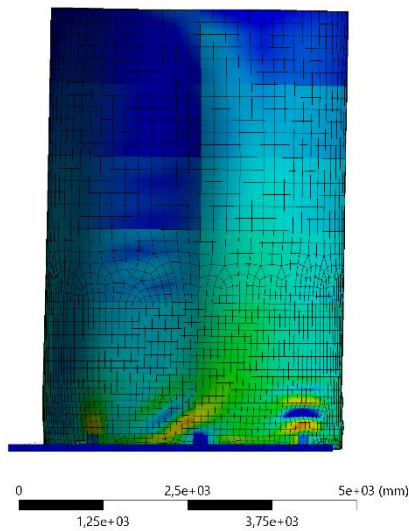
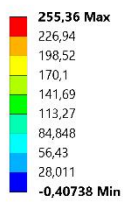


Figura 5-11. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 17

**A: Copy of Explicit Dynamics**  
 Maximum Principal Stress  
 Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom  
 Unit: MPa  
 Time: 7,58  
 Cycle Number: 1895529  
 09/01/2022 17:42

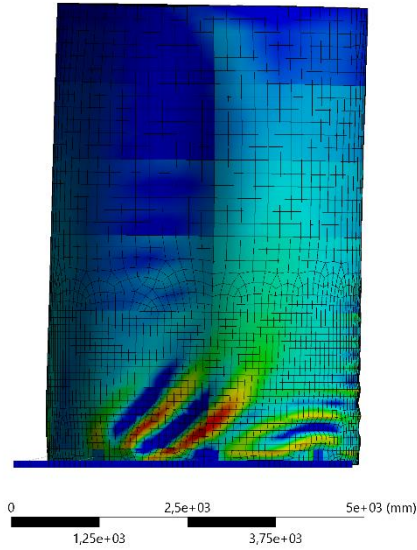
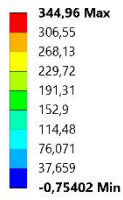


Figura 5-12. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 18

**D: Explicit Dynamics**  
 Maximum Principal Stress  
 Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom  
 Unit: MPa  
 Time: 7,99  
 Cycle Number: 791049  
 10/01/2022 19:55

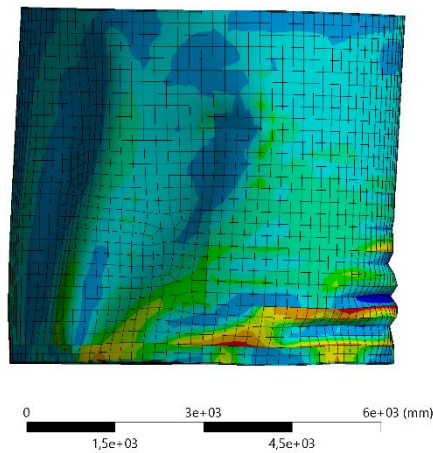
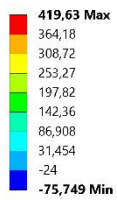


Figura 5-13. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 7

**D: Explicit Dynamics**

Maximum Principal Stress  
Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom  
Unit: MPa  
Time: 4,49  
Cycle Number: 1117185  
10/01/2022 20:08

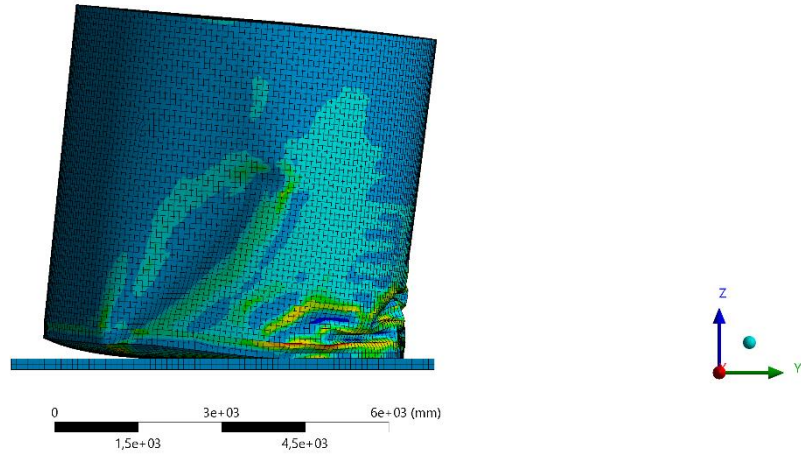
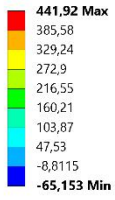


Figura 5-14. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 10

**A: Copy of Explicit Dynamics**

Maximum Principal Stress  
Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom  
Unit: MPa  
Time: 7,36  
Cycle Number: 2565065  
10/01/2022 20:20

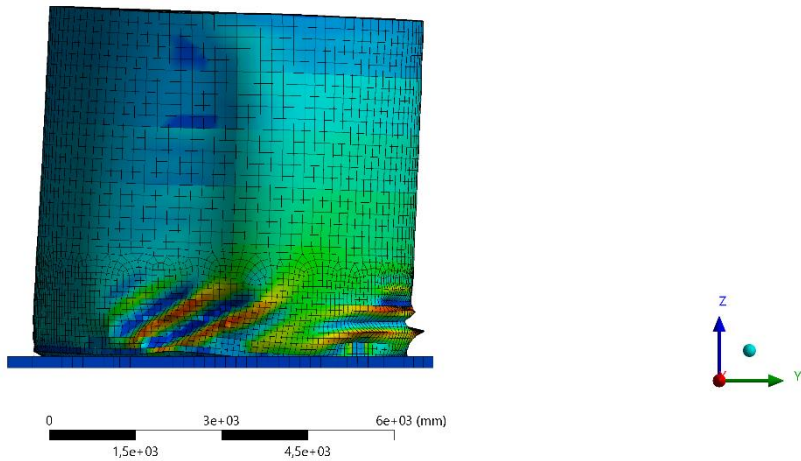
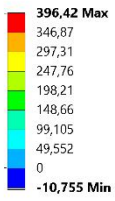


Figura 5-15. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 12



**A: Copy of Explicit Dynamics**

Maximum Principal Stress  
Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom  
Unit: MPa  
Time: 5,56  
Cycle Number: 1937755  
10/01/2022 20:32

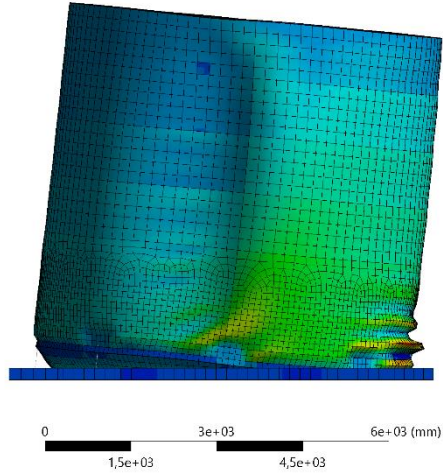
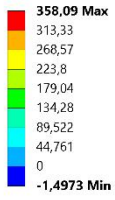


Figura 5-16. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 13

**A: Copy of Explicit Dynamics**

Maximum Principal Stress  
Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom  
Unit: MPa  
Time: 4,37  
Cycle Number: 1523019  
10/01/2022 20:45

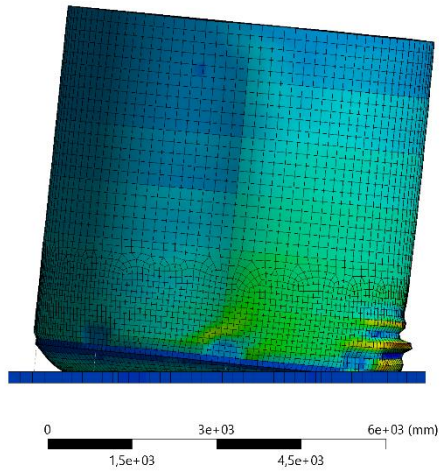
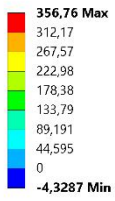


Figura 5-17. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 14



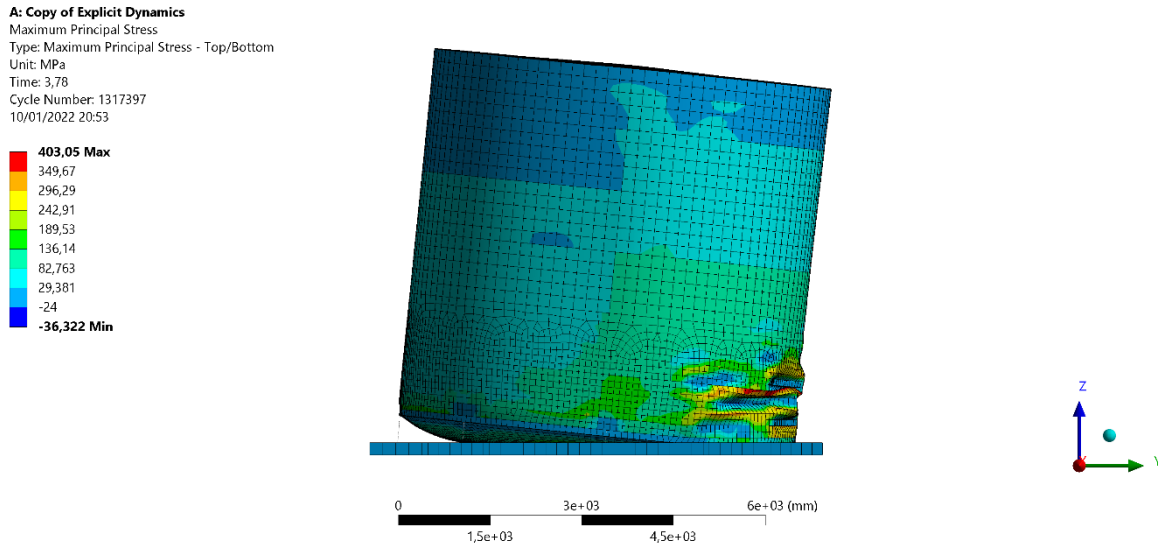


Figura 5-18. Tensiones principales en el punto de desempeño para el modelo 15

Con los valores de las tensiones principales obtenidas para el estanque 25, se determina que la causa de la pérdida de la capacidad estructural se debe a una falla de manto para el modelo anclado, y a una falla en el sistema de anclaje para los otros modelos. Los resultados indican, para los modelos anclados mediante resortes, que al no contar con un anclaje lo suficientemente rígido, la falla no alcanza a producirse en el manto, por lo que la pérdida de integridad estructural se produce en otra zona del estanque, como puede ser en las zonas de anclajes.

En el caso del estanque 27, se determina que la causa de la pérdida de la capacidad estructural se debe a una falla de manto para los modelos anclados, simplemente apoyado y anclado mediante resorte con la menor rigidez. Sin embargo, para los otros modelos, la pérdida de capacidad se produce en una zona distinta al manto, como lo puede ser las zonas de anclajes. La diferencia entre lo obtenido para el estanque 25 y el estanque 27 se podría atribuir a la gran superficie de contacto que tiene el estanque 27 con la plataforma de apoyo, generando tal fuerza de roce que permite que se desarrolle una falla en el manto antes que en otra zona.

## 5.6. Estados de daños

Para poder comprender el estado de daño que se tiene en los estanques para el punto de desempeño, se realiza un análisis de estados de daños, en el que se definen ocho estados de daños, basados en las categorías definidas en Yazdanian et al (2021), los cuales se definen de menos a más severo:

0. Deformación radial (de 2 cm)
1. Fluencia resorte principal
2. Tensión de fluencia de Von-Mises (310 MPa)
3. Tensiones admisibles (NCh 2369)
4. Rotura resorte principal
5. Punta de diamante
6. Pata de elefante
7. Colapso

Para determinar el estado “Deformación radial” de forma estándar para todos los estanques, se define como el momento en el que se genera una deformación de dos centímetros en el manto (se consideran una deformación de dos centímetros dado que esta deformación genera un cambio de pendiente en la curva de capacidad en los modelos del Estanque 25 anclado mediante resortes). El estado de daño de “Tensiones admisibles” considera una tensión de 24 MPa para el Estanque 25 y 16 MPa para el Estanque 27, según los cálculos realizados por Ruiz S. (2016). Los estados de daños “Punta de diamante” y “Pata de elefante” se determinan visualmente. De la Figura 5-19 a la Figura 5-30 se presentan los puntos de daños para cada modelo.

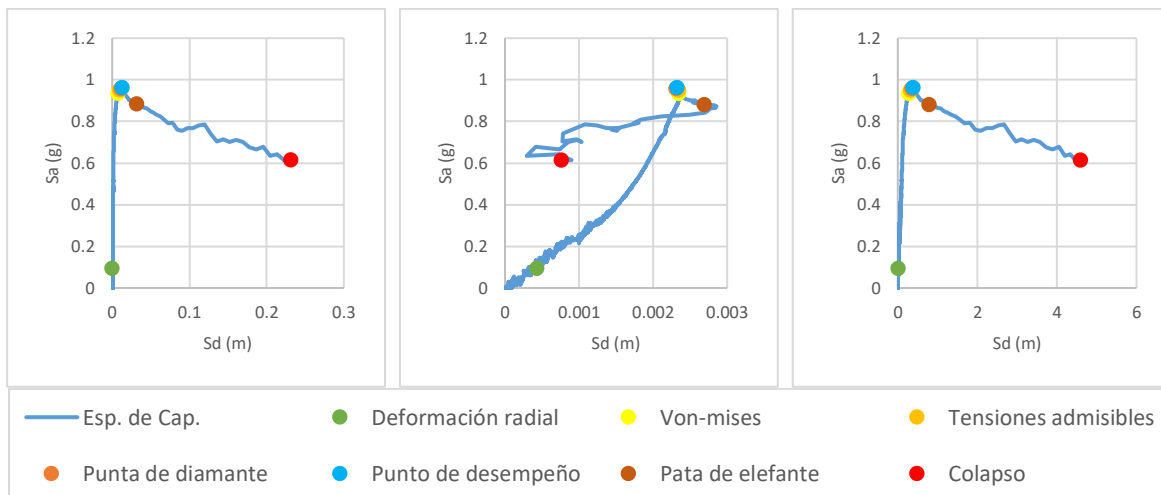


Figura 5-19. Puntos de daño del modelo 5, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

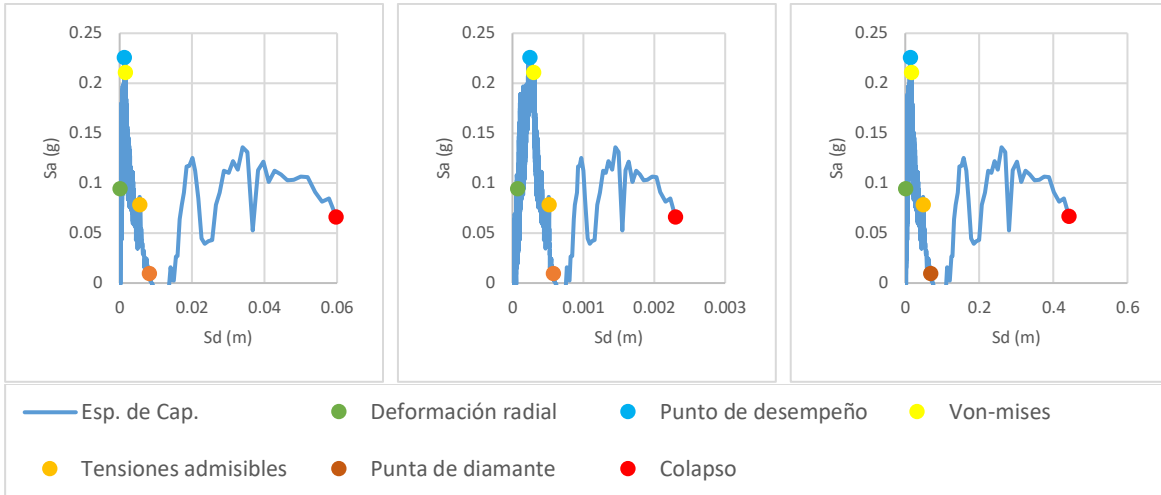


Figura 5-20. Puntos de daño del modelo 9, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

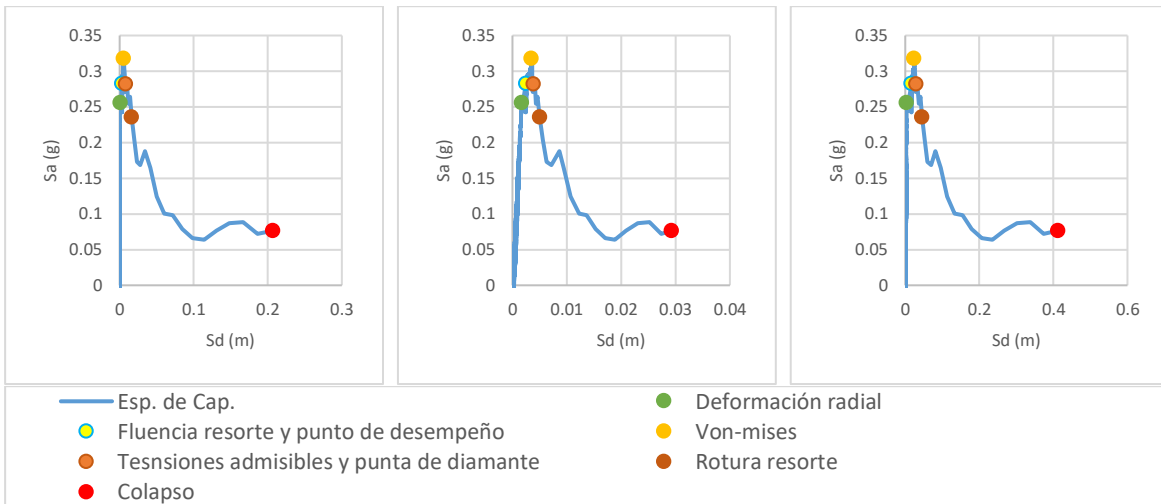


Figura 5-21. Puntos de daño del modelo 11, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

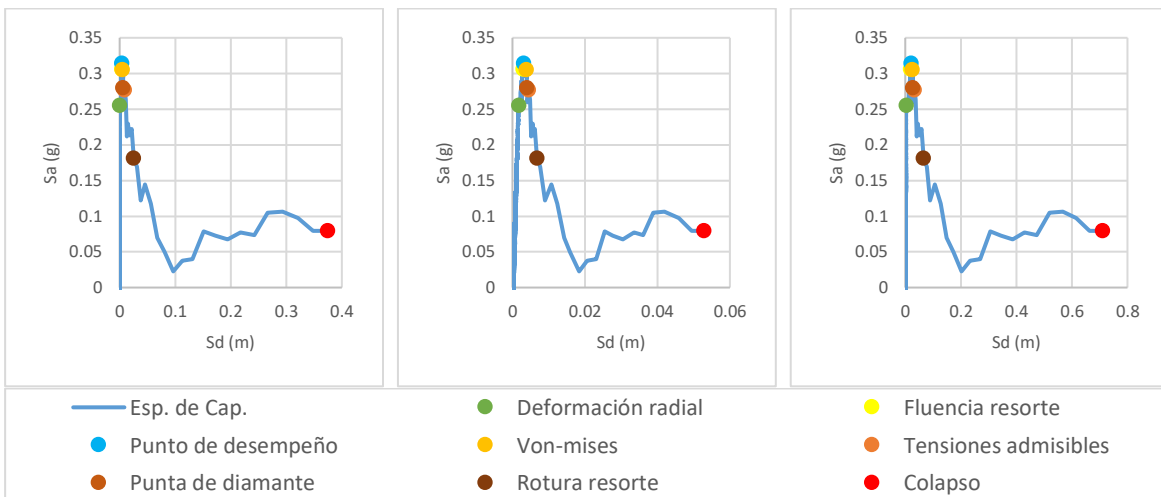


Figura 5-22. Puntos de daño del modelo 16, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

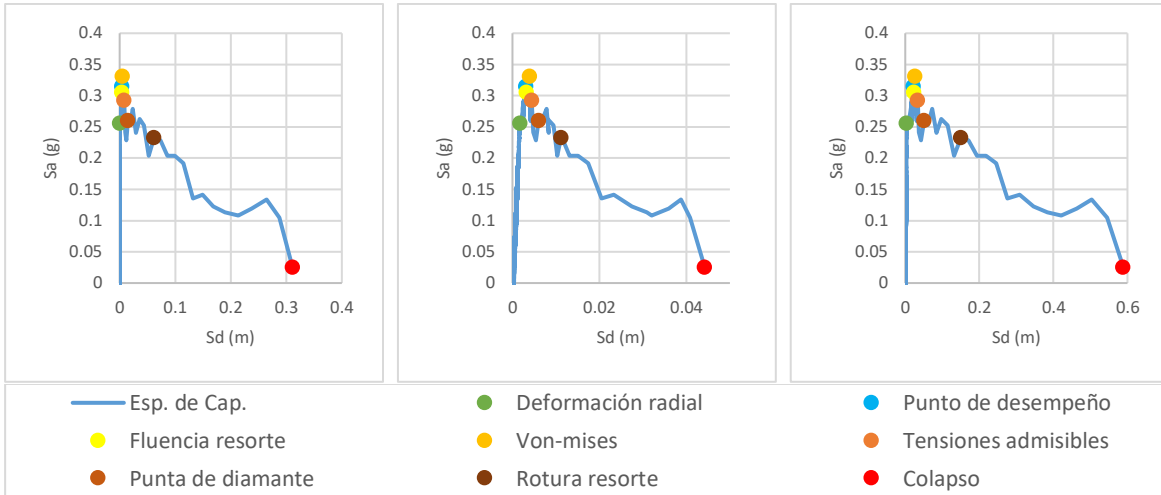


Figura 5-23. Puntos de daño del modelo 17, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

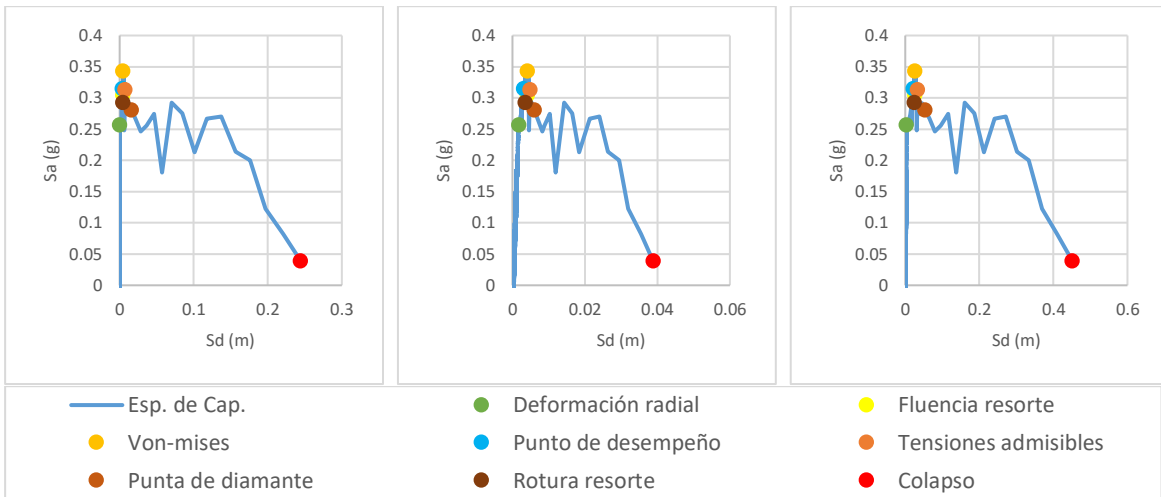


Figura 5-24. Puntos de daño del modelo 18, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

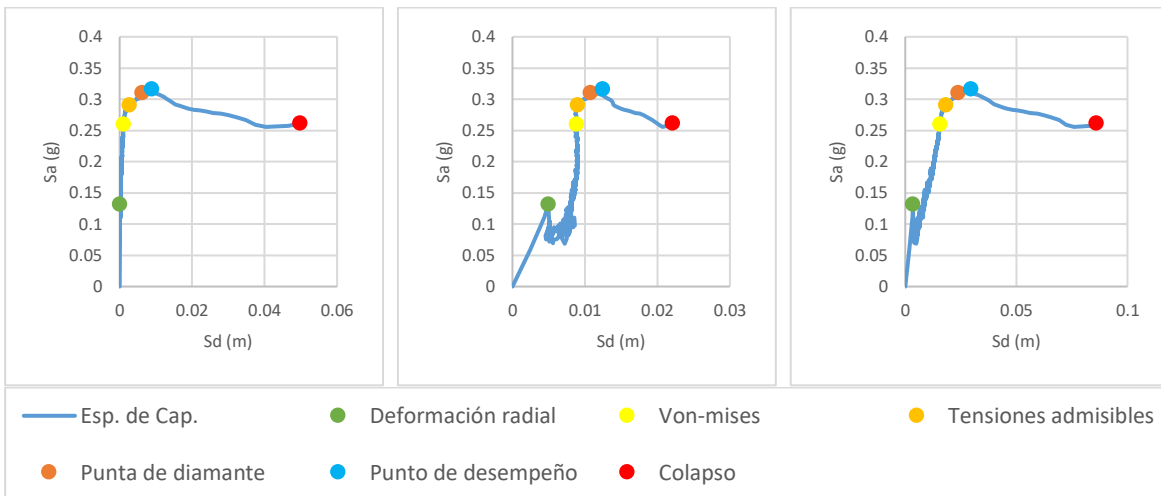


Figura 5-25. Puntos de daño del modelo 7, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

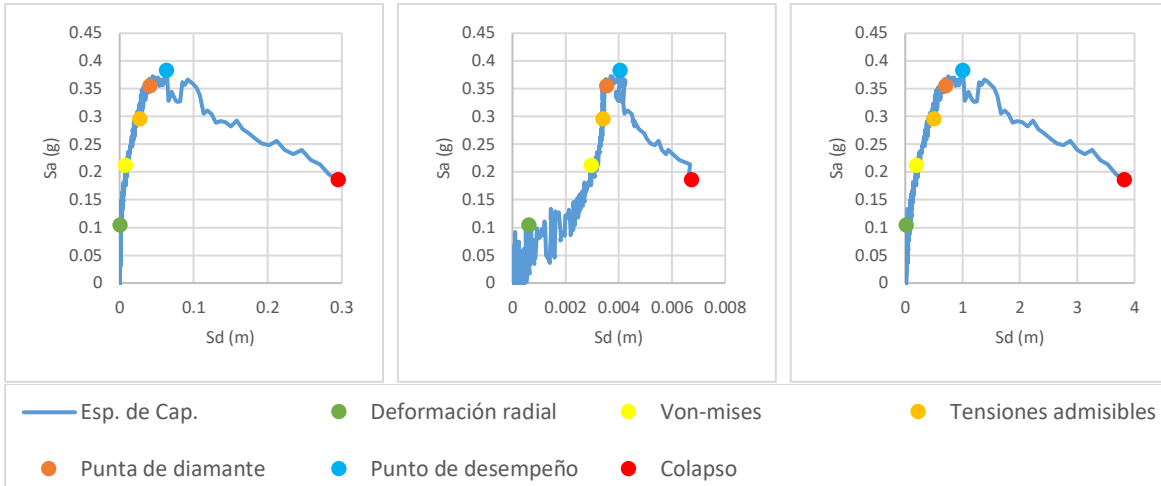


Figura 5-26. Puntos de daño del modelo 10, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

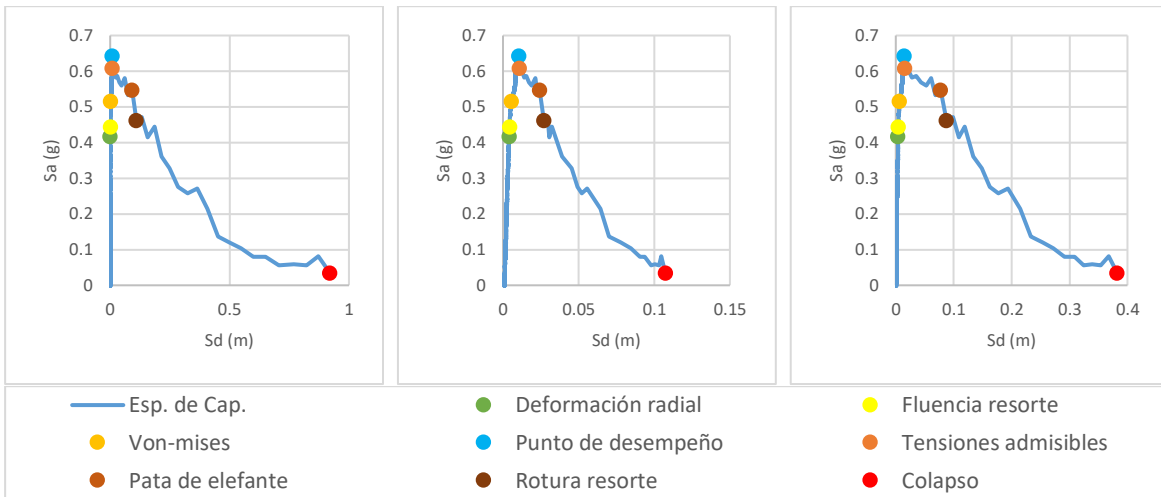


Figura 5-27. Puntos de daño del modelo 12, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

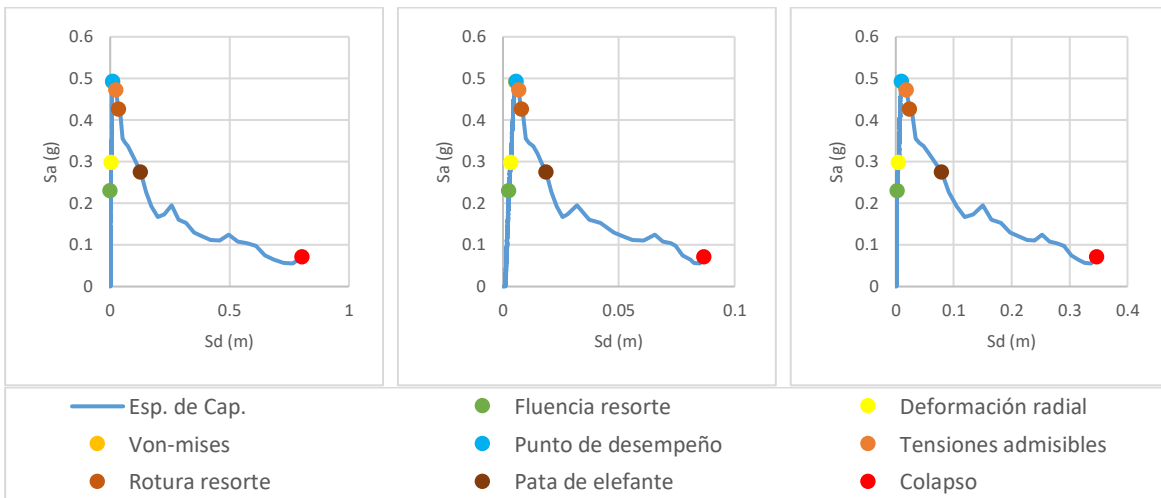


Figura 5-28. Puntos de daño del modelo 13, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

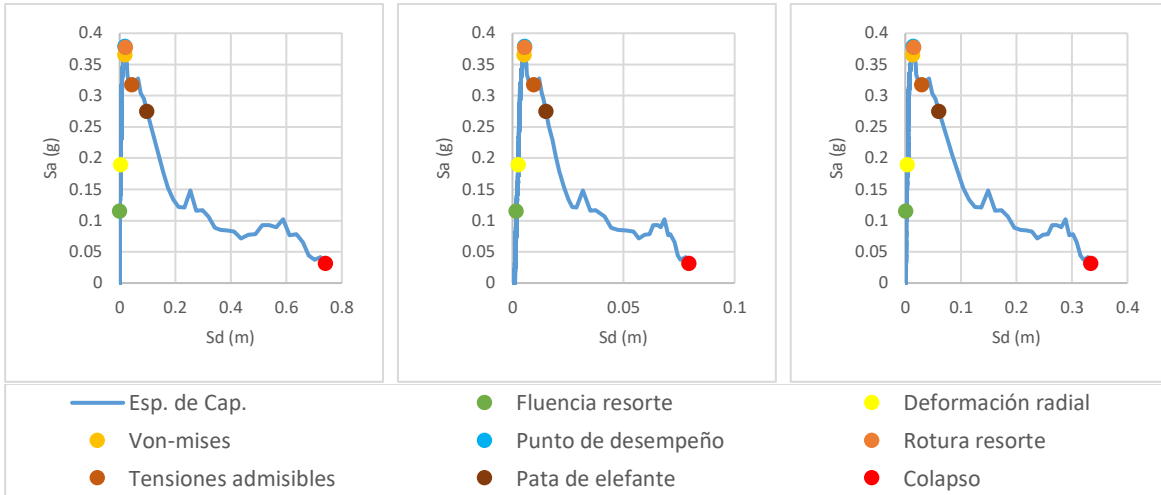


Figura 5-29. Puntos de daño del modelo 14, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

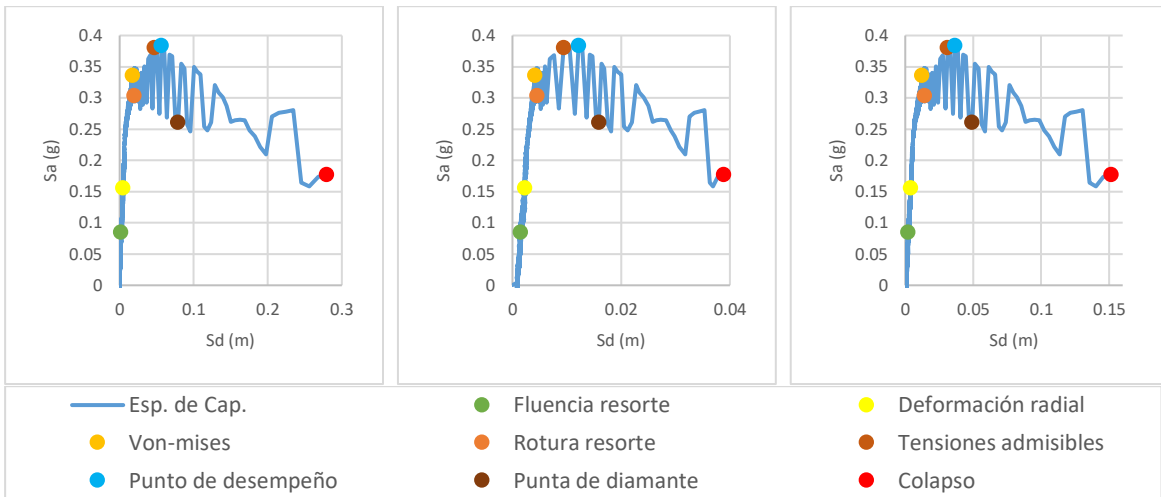


Figura 5-30. Puntos de daño del modelo 15, para desplazamiento de techo, radial de nodo crítico y paralelo de nodo crítico

Para comprender el estado de tensiones de los estanques en cada estado de daño, se presentan de la Figura 5-31 a la Figura 5-36 las tensiones principales del modelo 11 para cada nivel de daño como ejemplo.

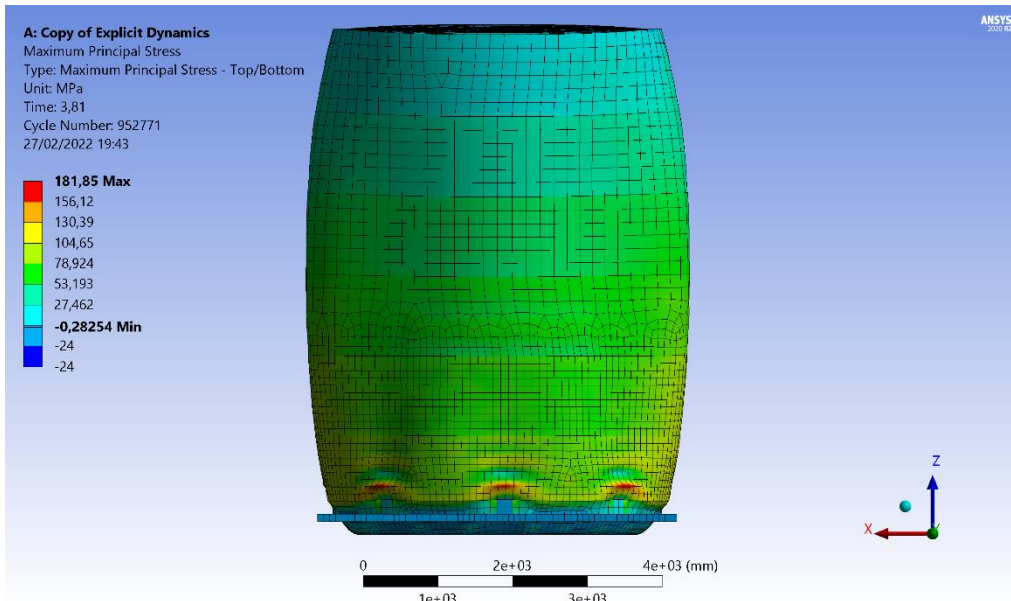


Figura 5-31. Tensiones principales del modelo 11 para el estado Pandeo

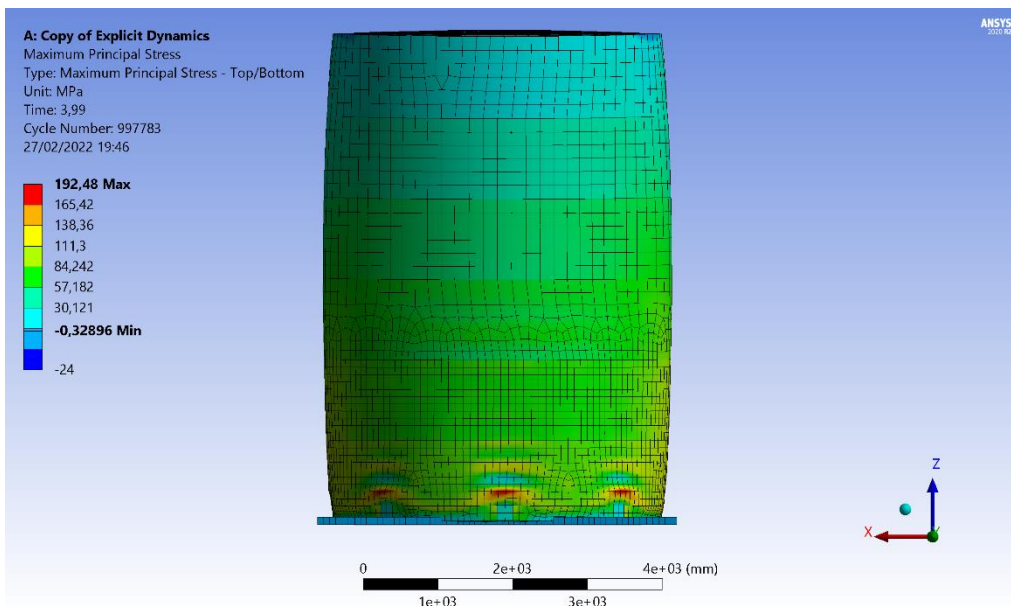


Figura 5-32 Tensiones principales del modelo 11 para el estado Fluencia resorte y Punto de desempeño

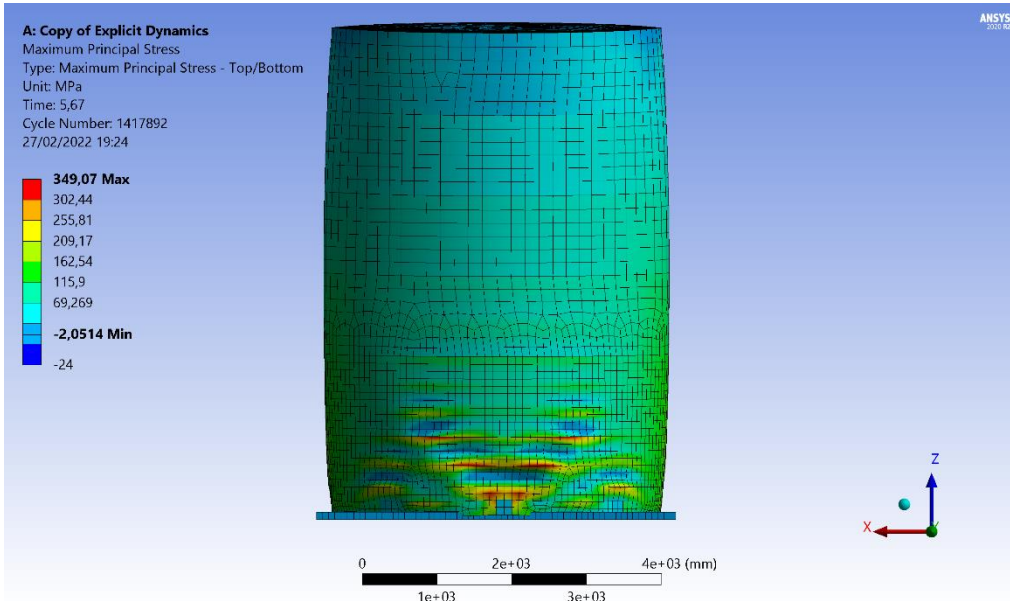


Figura 5-33. Tensiones principales del modelo 11 para el estado Von-mises

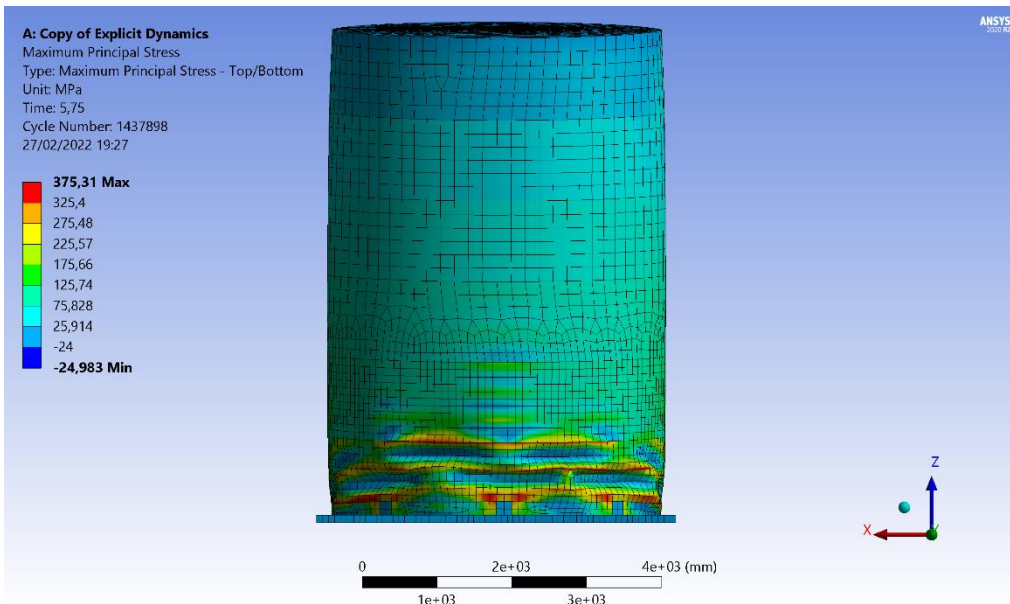


Figura 5-34. Tensiones principales del modelo 11 para el estado Tensiones admisibles y Punta de diamante



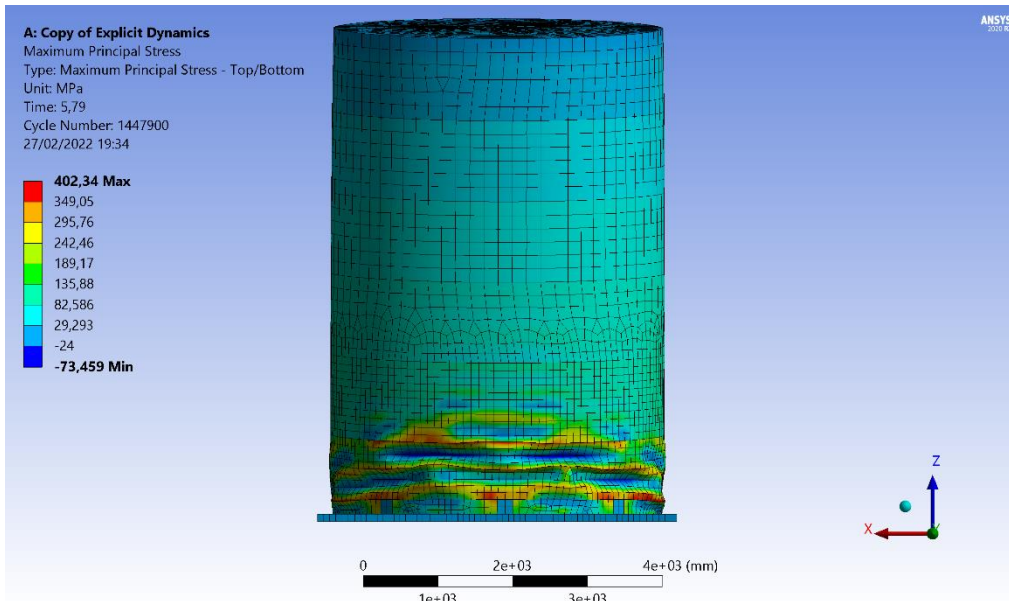


Figura 5-35. Tensiones principales del modelo 11 para el estado Rotura resorte

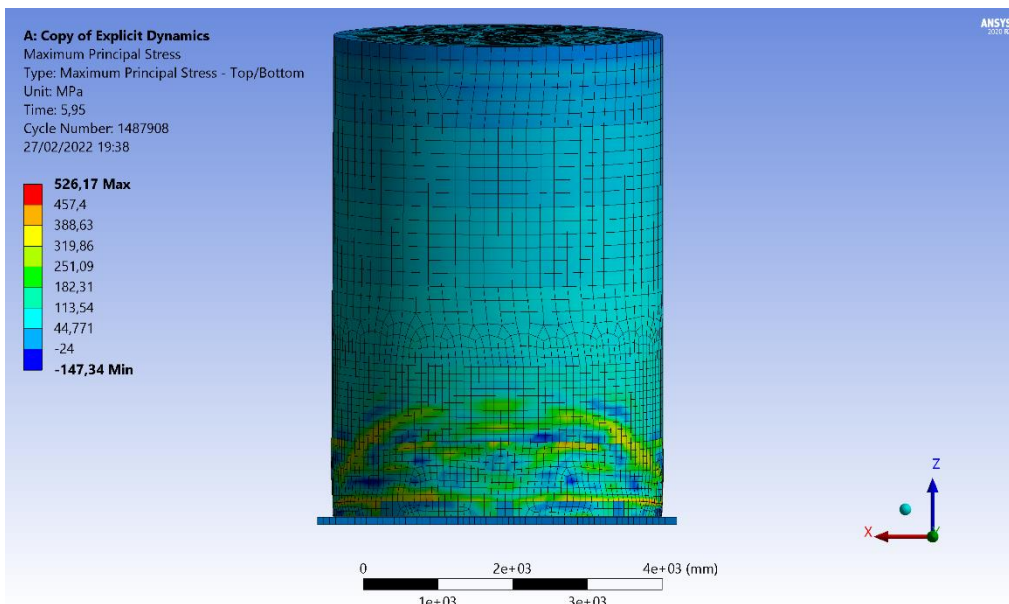


Figura 5-36. Tensiones principales del modelo 11 para el estado Colapso

El método de capacidad espectral propuesto por Virella (2008) tiene como base el considerar el punto de desempeño como el instante en que se genera un pandeo elástico en la zona del manto en el que se sitúa el nodo crítico, lo cual se cumple en ambos estanques, sin embargo, en este análisis se observa que, en la mayoría de los modelos, para el instante del punto de desempeño, ya se generó la fluencia en la zona inferior del manto.

De la Figura 5-37 a la Figura 5-42 se muestran las tensiones equivalentes de Von-mises para el modelo 11, unos de los pocos modelos en que las tensiones de Von-mises se alcanzan después del punto de desempeño.

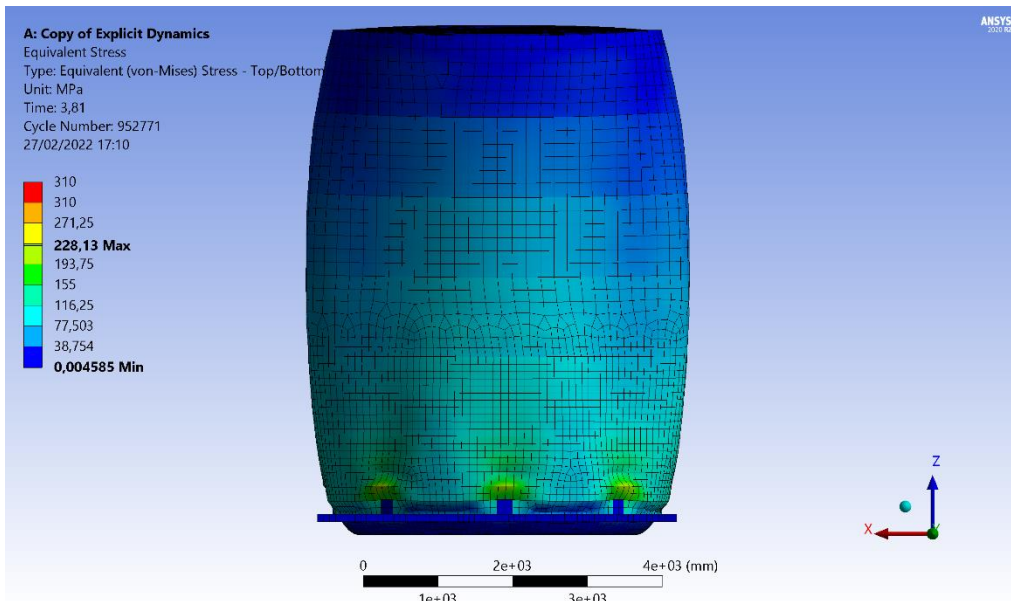


Figura 5-37. Tensiones de fluencia de Von-mises del modelo 11 para el estado Pandeo

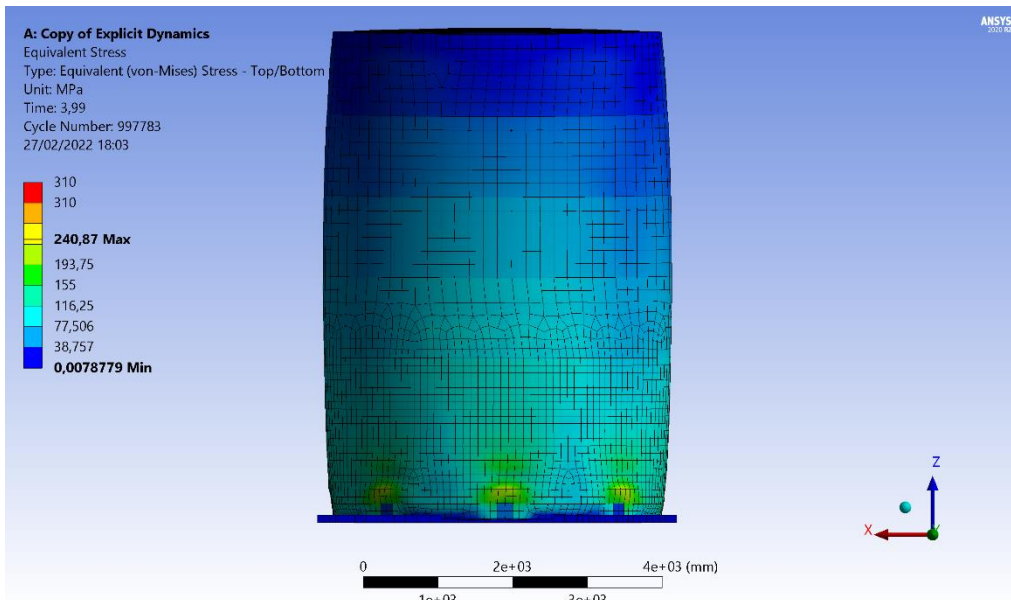


Figura 5-38. Tensiones de fluencia de Von-mises del modelo 11 para el estado Fluencia resorte y Punto de desempeño

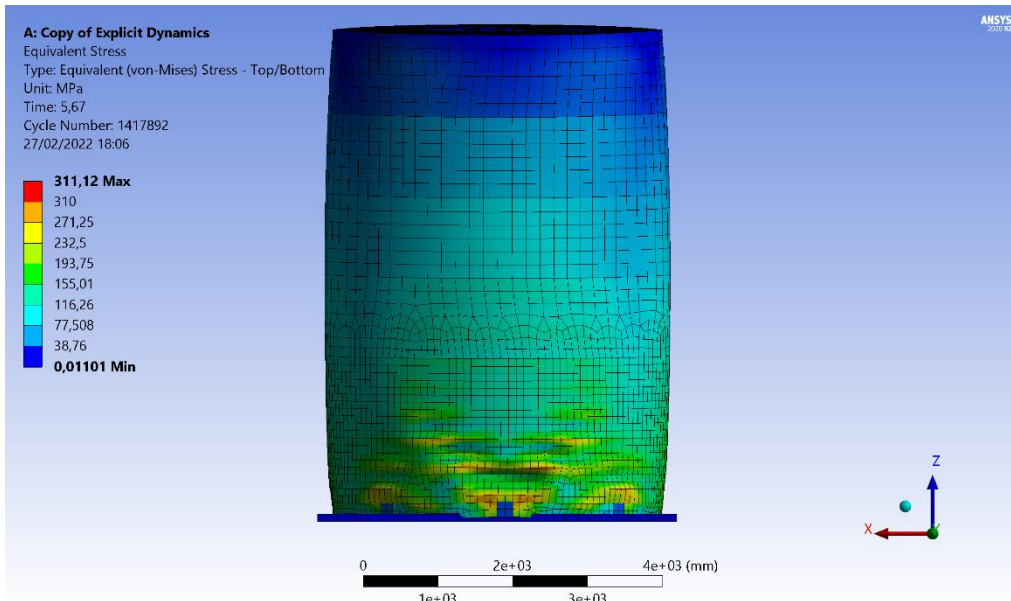


Figura 5-39. Tensiones de fluencia de Von-mises del modelo 11 para el estado Von-mises

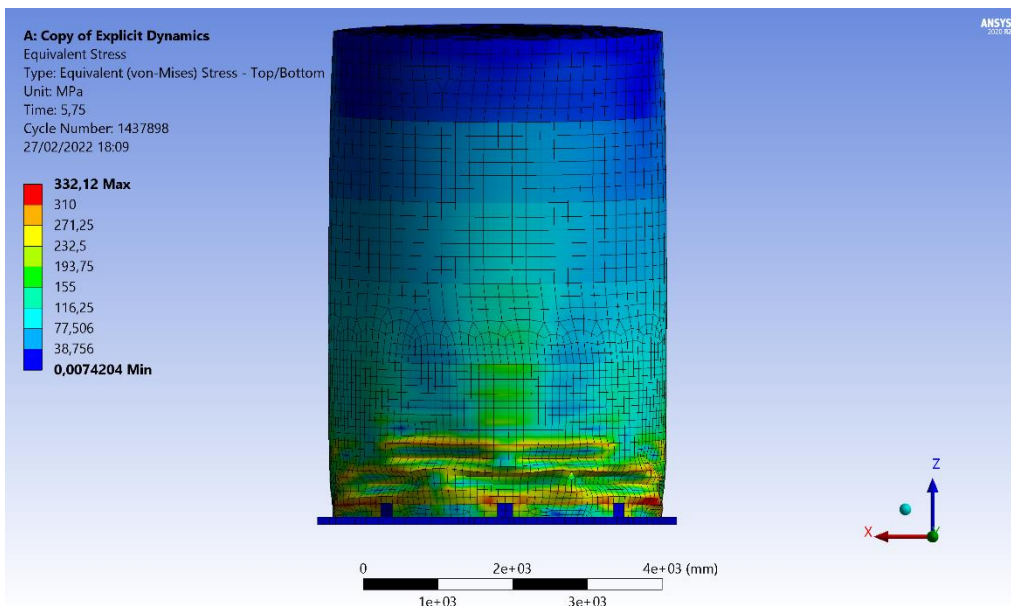


Figura 5-40. Tensiones de fluencia de Von-mises del modelo 11 para el estado Tensiones admisibles y Punta de diamante

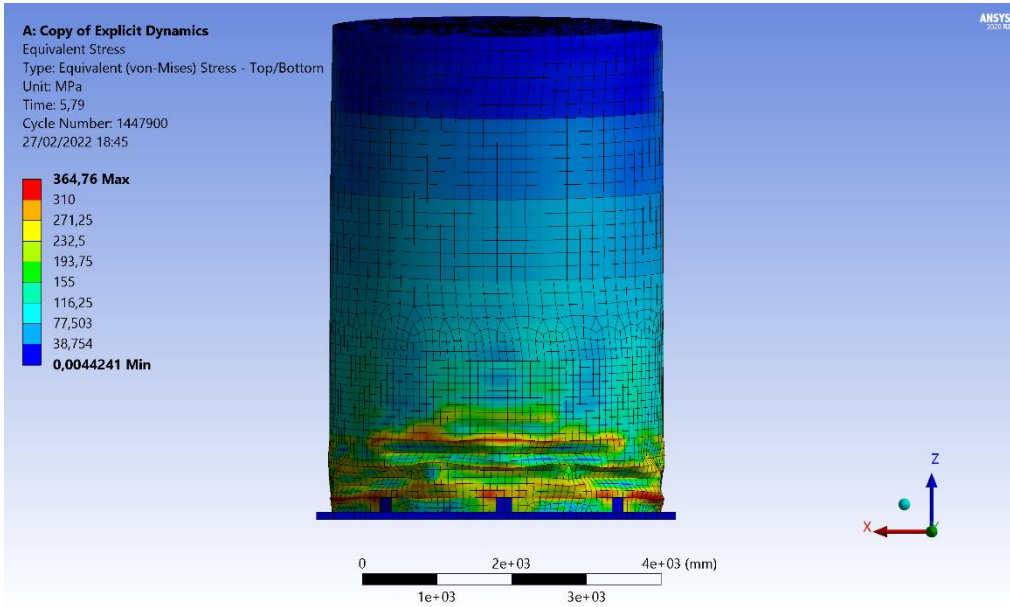


Figura 5-41. Tensiones de fluencia Von-mises del modelo 11 para el estado Rotura resorte

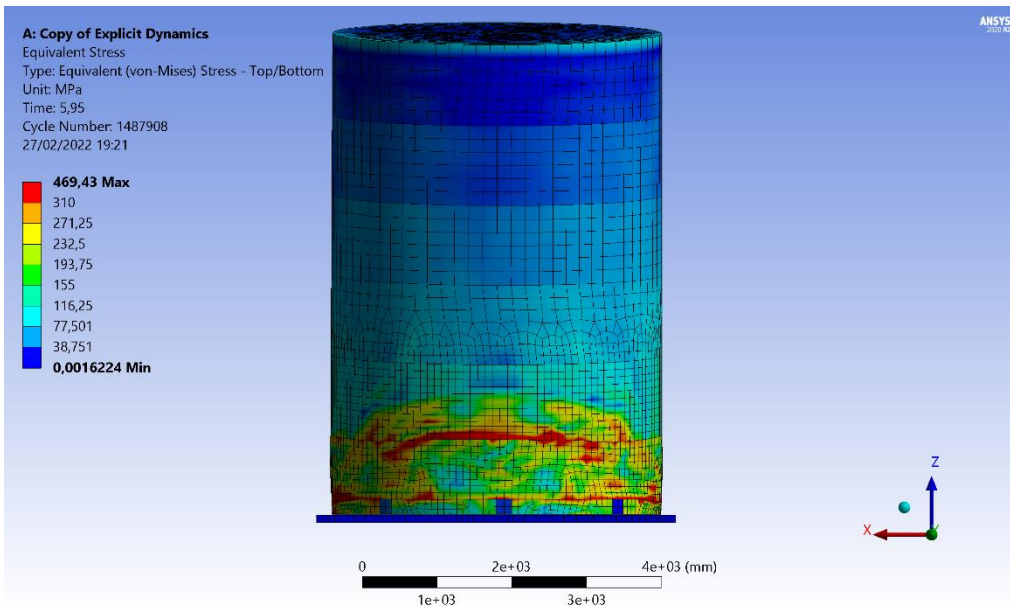


Figura 5-42. Tensiones de fluencia de Von-mises del modelo 11 para el estado Colapso

## Capítulo 6: Conclusiones

En este estudio se aplica la metodología propuesta por Virella et al (2008) a dos estanques que sufrieron graves daños a causa del terremoto del 27 de febrero de 2010 ( $M_w=8.8$ ) para determinar si esta metodología es aplicable a estanques de la tipología estudiada. Para conseguir este objetivo se realiza el análisis modal de los estanques utilizando el programa computacional ANSYS, para luego construir los espectros de capacidad de cada modelo. Posteriormente, siguiendo la metodología de Virella et al (2008), se utilizan tres tipos de espectros de demandas para obtener los puntos de desempeño y valores de PGA crítico: el espectro de diseño según la norma NCh 2369, el espectro de diseño según la norma NCh 2745 y los espectros sísmicos registrados durante el terremoto del 27 de febrero de 2010 en las estaciones ubicadas en Constitución, Curicó, Hualañé, Matanza y Talca. Finalmente, se analizan los daños que ocurren en los modelos para estudiar los estados de daños, basados en el estudio de Yazdanian et al (2021), asociados a los puntos de desempeño.

A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas a través del análisis de los resultados obtenidos del presente estudio.

El método propuesto por Virella (2008) resultó ser un método eficiente computacionalmente y directo de aplicar. La consideración más importante en la que se basa este método de diseño es que la capacidad estructural del estanque disminuye de manera considerable cuando se genera un pandeo en el manto, y gracias al análisis de los estados de daño, se pudo corroborar que tal consideración es correcta ya que los daños más importantes que se observan en los modelos, pata de elefante y punta de diamante, se producen poco después de que se alcanzan las tensiones admisibles.

Para aplicar esta metodología al diseño de los estanques de la industria vitivinícola chilena, se deben tener ciertas consideraciones:

- Del análisis de los estados de daño se concluye que la elección del punto de desempeño, al utilizar esta metodología como método de diseño, debe ser elegido de manera diferente para cada estanque, ya que los estados de daños varían según el sistema de anclaje y la relación altura/diámetro que posea el estanque. Esta conclusión se basa en los resultados de los estanques donde el punto de desempeño, determinado siguiendo la metodología de Virella (2008), ocurre después de que el estanque ya supero las tensiones admisibles y existe fluencia en el manto. Por lo cual, resulta una mejor opción elegir el punto de desempeño para un estado de daño menor al realizar un análisis de diseño.
- Del análisis con espectros sísmicos se concluye que la zona del estanque más conveniente para registrar los desplazamientos que se experimentan es la zona del

manto donde se produce el primer pandeo, o también llamado nodo crítico, verificando de esta forma lo propuesto por Virella et al (2008).

- Del análisis con espectros sísmicos se concluye que las zonas más convenientes para registrar los desplazamientos son el desplazamiento radial del nodo crítico y el desplazamiento de techo, siendo este último el más conservador.

El análisis forense que se lleva a cabo con los registros sísmicos muestra que, considerar una zona diferente al nodo crítico para medir desplazamientos, puede llevar a una sobrevaloración de la capacidad del estanque.

- Al comparar los resultados obtenidos para los espectros de diseño con los resultados obtenidos para los espectros sísmicos, se concluye que los espectros de diseño no logran replicar la demanda sísmica en la zona de periodos bajos, zona en la cual se encuentran los estanques. Por otro lado, en caso de utilizar un espectro de diseño, se recomienda utilizar el espectro de la norma NCh 2745 (2003), ya que se acerca más a los espectros sísmicos que el espectro de la norma NCh 2369 (2003), considerando siempre un  $R = 1$ , dada la baja capacidad de redistribución de tensiones de los estanques.

Por otro lado, los resultados de los análisis muestran que, tanto aumentar el espesor de manto como utilizar un sistema de anclajes rígido mejora la capacidad sísmica de los estanques, como se muestra en la Figura 6-1 y en la Tabla 6-1

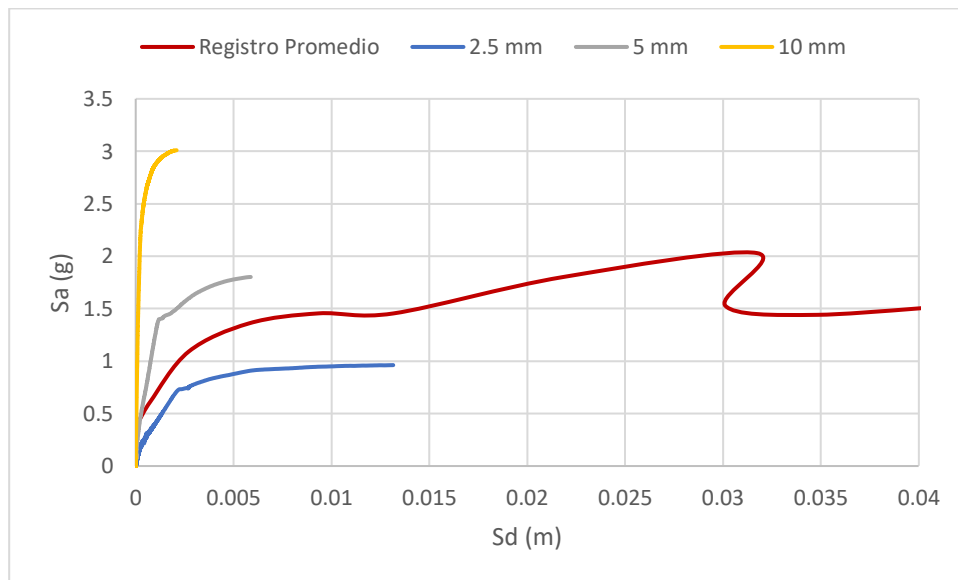


Figura 6-1. Espectros de capacidad del modelo 5 para diferentes espesores



Tabla 6-1. Factores y PGA críticos del modelo 5 para diferentes espesores

Espesor de manto	Factor de ajuste	PGA crítico (g)
2.5 mm	0.490.	0.219
5 mm	1.450	0.648
10 mm	6.15	2.749

Con los resultados obtenidos y los análisis realizados se concluye que este método logró responder de buena forma al análisis forense, ya que los resultados concuerdan con los daños vistos en terreno que presentaron los estanque luego del terremoto del 27 de febrero de 2010, como lo muestra la Figura 6-2, donde se observa que el terremoto está muy por encima del punto de desempeño del estanque, produciéndose así graves daños como puntas de diamante y pata de elefante, los cuales son clasificados como daño severo según Yazdanian et al (2021).

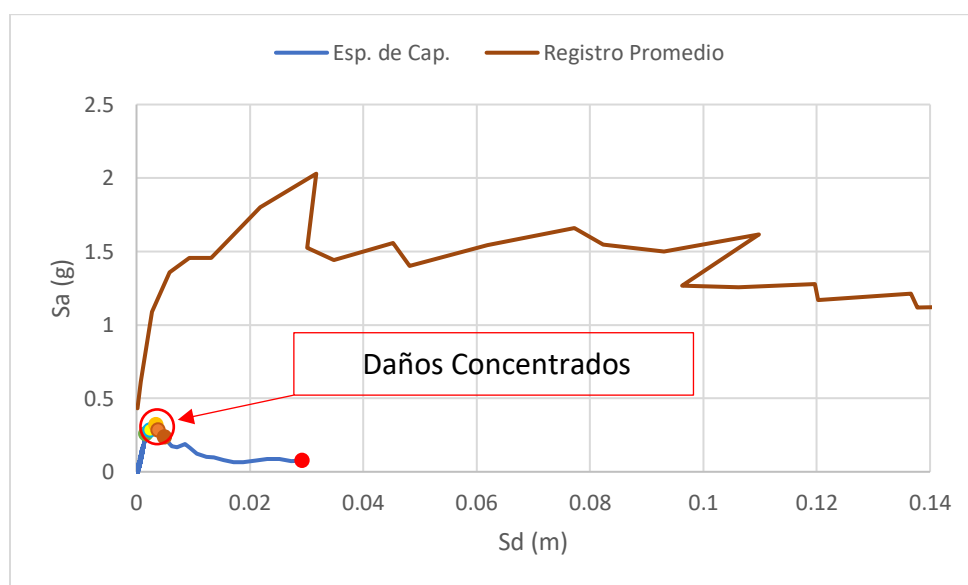


Figura 6-2. Análisis forense del modelo 11

A diferencia de los buenos resultados obtenidos para el análisis forense, se debe tener precauciones al realizar un análisis de diseño, por lo que el método de Virella et al (2008) solo se recomienda para una etapa de prediseño, pero no se recomienda para análisis más avanzados de diseños. Esto se debe a que debido a la gran influencia que tienen las masas puntuales sobre el manto, amplificado además por el bajo espesor de este, se generen grandes singularidades durante el análisis modal, impidiendo obtener una respuesta global completa de la estructura.

Como análisis futuros se propone realizar un análisis modal de los estanques utilizando también el modelo de masas normales, pero esta vez con una mayor discretización, para disminuir las singularidades debido a las masas puntuales. Además, se propone la realización de un análisis tiempo historia de los estanques para comparar los resultados con los obtenidos en este estudio.



## Bibliografía

- API 650. (1991). *Welded steel tank for oil storage*. American Petroleum Institute, Standard 650, Washington, D.C.
- ATC-40. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. Redwood City, California: Applied Technology Council.
- AWWA D100. (1984). *AWWA standard for welded steel tanks for water storage*. American Water Works Association, Denver, Colorado.
- Barbieri, F. H. (2016). *Análisis crítico de la aplicación de la norma NCh 2369 of. 2003 en las estructuras prefabricadas de hormigón y el comportamiento observado en el terremoto del 27 de febrero de 2010*.
- Boroschek, R., Soto, P., & Leon, R. (2010). Registros del terremoto del Maule Mw= 8.8 27 de Febrero de 2010. *Red Nacional de Acelerógrafos del Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Informe RENADIC, 10(05), 100*.
- Cocco, L., Suarez, L., & Matheu, E. (2010). Development of a nonlinear seismic response capacity. *Structural Engineering and Mechanics, 36(3), 321-341*.
- Fischer, D. F., & Rammerstorfer, F. G. (1982). The stability of liquid-filled cylindrical shells under dynamic loading. *Buckling of Shells, 569-597*.
- Freeman, S. A. (2004). Review of the development of the capacity spectrum method. *ISET Journal of Earthquake Technology, 41(1), 1-13*.
- Garcés, E. P. (2012). *Recomendaciones de uso para estanques de acero inoxidable en la industria vitivinícola y generación de manual de buenas prácticas*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile.
- Habibi, A., & Jami, E. (2017). Correlation between ground motion parameters and target displacement of steel structures. *International Journal of Civil Engineering, 15(2), 163-174*.
- INN, NCh 2369 Of 2003. (2003). *Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales*. Santiago, Chile.
- INN, NCh 2745 Of 2003. (2003). *Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica*. Santiago.
- Morita, H., Ito, T., Hamada, K., Sugiyama, A., Kawamoto, Y., Ogo, H., & Shirai, E. (2003). Investigation on buckling behavior of cylindrical liquid storage tanks under seismic excitation: 2nd report—investigation on the nonlinear ovaling vibration at the upper wall. In *ASME Pressure Vessels and Piping Conference* (Vol. 4157, pp. 227-234).

- Natsiavas, S., & Babcock, C. D. (1987). *Buckling at the top of a fluid-filled tank during base excitation*.
- Oyarzo, C. (2009). Métodos de selección y escalamiento de registros sísmicos para análisis de respuesta en el tiempo. *Obras y proyectos: revista de ingeniería civil*(5), 18-25.
- Ruiz, S. (2016). *Estudio de los modos de falla de estanques de acero mediante análisis de elementos finitos*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile.
- Veletsos, A. S., & Shivakumar, P. (1997). Tanks containing liquids or solids. *Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures: A handbook*, 3, 725-73.
- Virella, J. C., Godoy, L. A., & Suárez, L. E. (2006). Fundamental modes of tank-liquid systems under horizontal motions. *Engineering Structures*, 28(10), 1450-1461.
- Virella, J. C., Suarez, L. E., & Godoy, L. A. (2005). Effect of pre-stress states on the impulsive modes of vibration of cylindrical tank-liquid systems under horizontal motions. *Journal of Vibration and Control*, 11(9), 1195-1220.
- Virella, J. C., Suárez, L. E., & Godoy, L. A. (2008). A static nonlinear procedure for the evaluation of the elastic buckling of anchored steel tanks due to earthquakes. *Journal of Earthquake Engineering*, 12(6), 999-1022.
- Yazdanian, M., Ingham, J., Sadashiva, V., Cutfield, M., Kahanek, C., & Dizhur, D. (2021). Seismic fragility curves for stainless-steel wine storage tanks. *Structures*, 33, 4766-4780.

## Anexo A

A continuación, se presentan la totalidad de los gráficos utilizados en los análisis del presente estudio para el estanque 25.

### Anexo A.1

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 5 utilizados para los análisis del presente estudio.

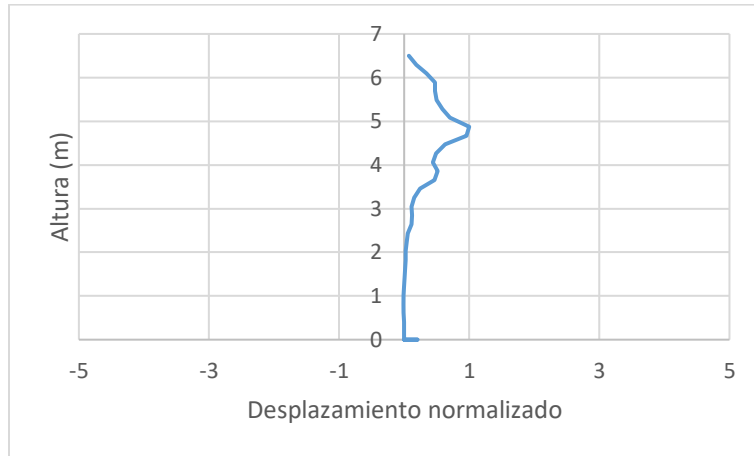


Figura 0-1. Forma modal del Modelo 5

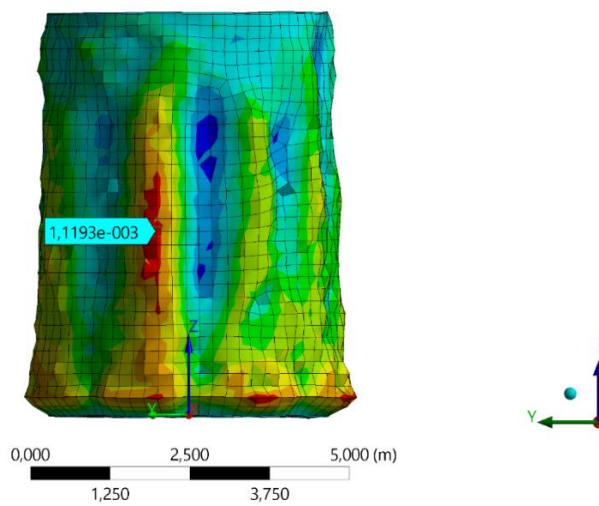


Figura 0-2. Nodo crítico del Modelo 5

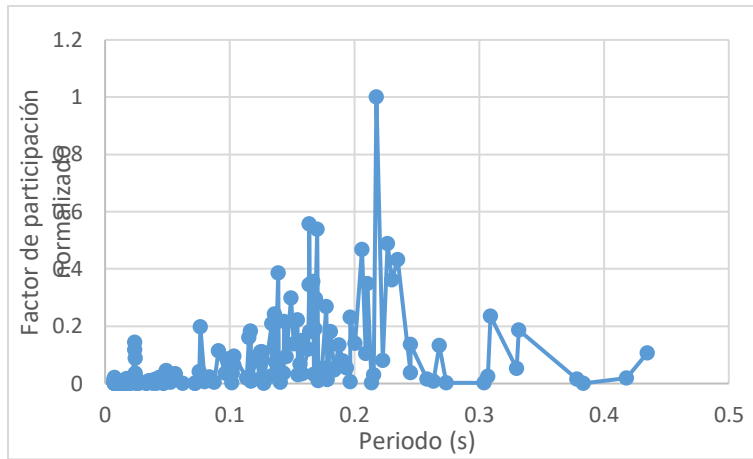


Figura 0-3. Factor de participación normalizado del Modelo 5

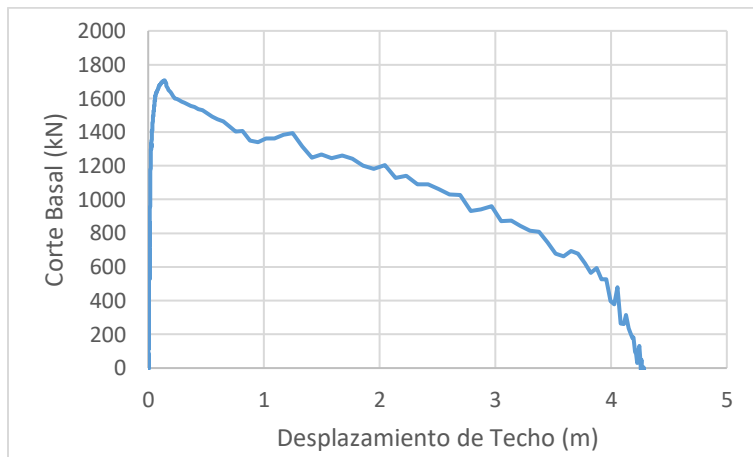


Figura 0-4. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 5

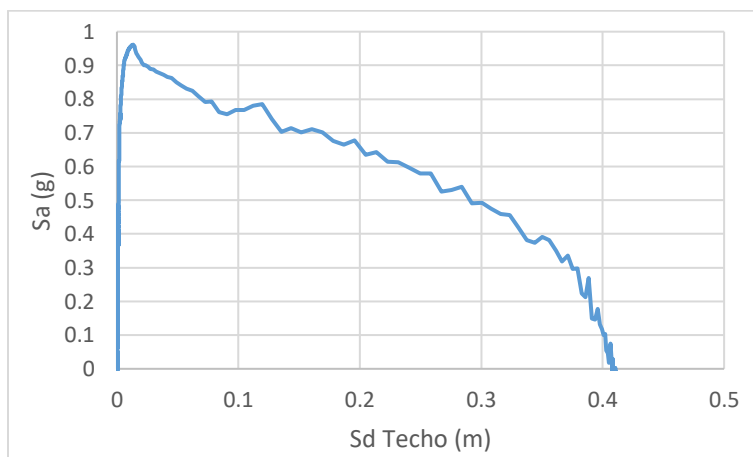


Figura 0-5. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 5

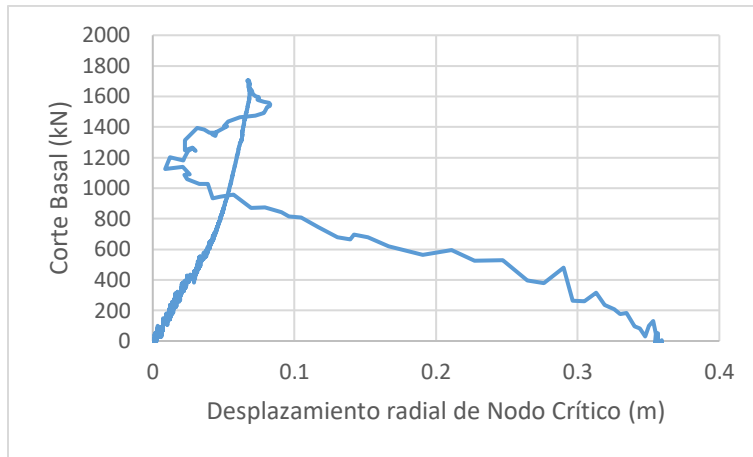


Figura 0-6. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 5

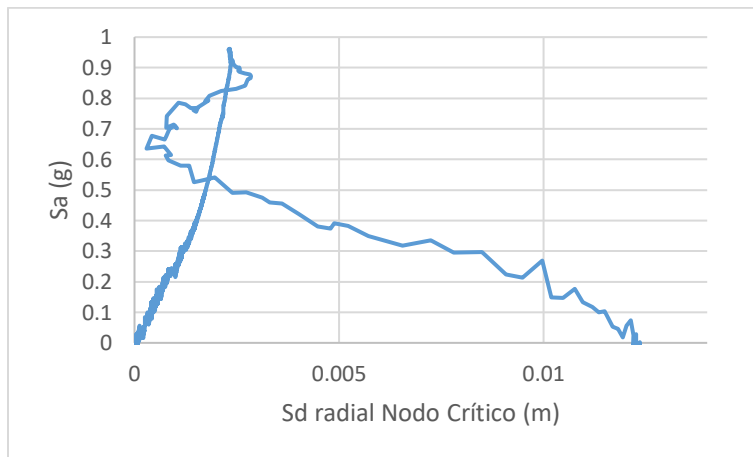


Figura 0-7. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 5

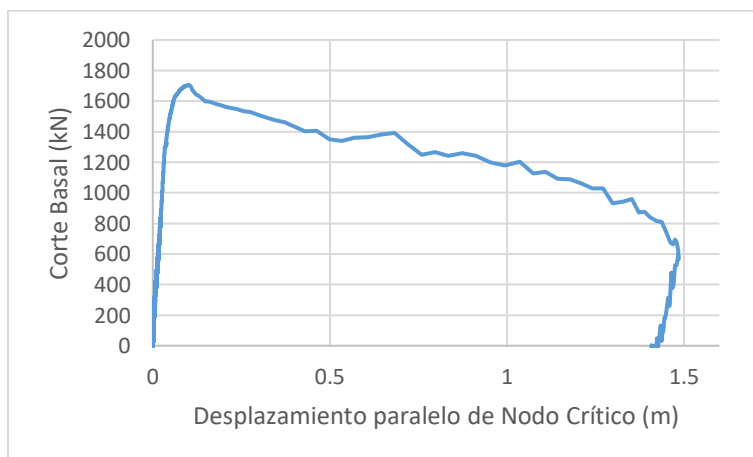


Figura 0-8. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 5

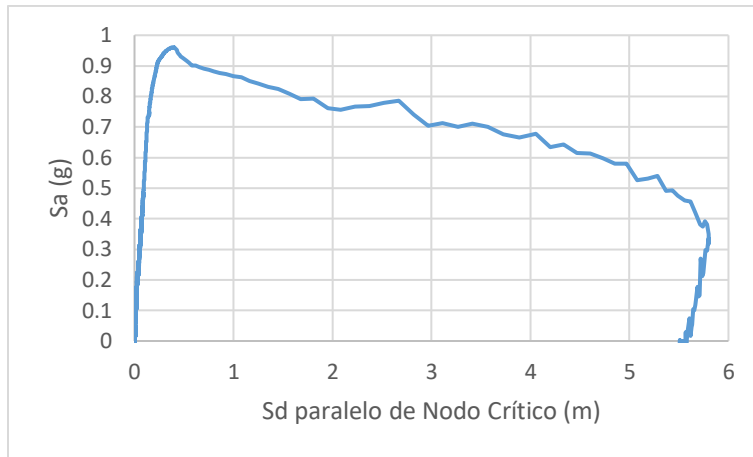


Figura 0-9. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 5

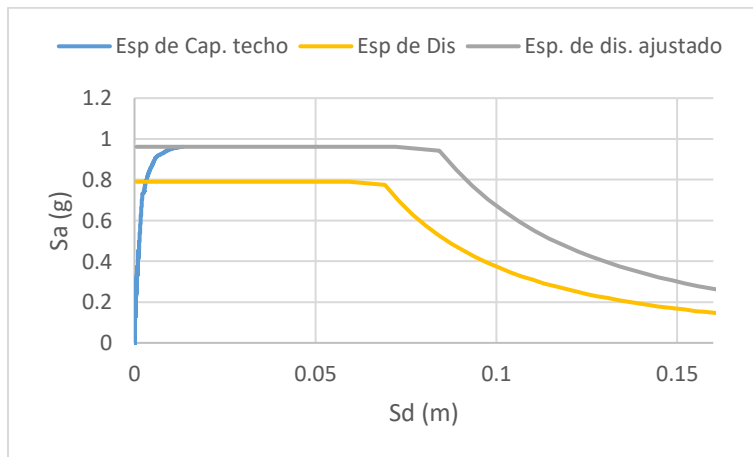


Figura 0-10. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 5 según NCh 2369

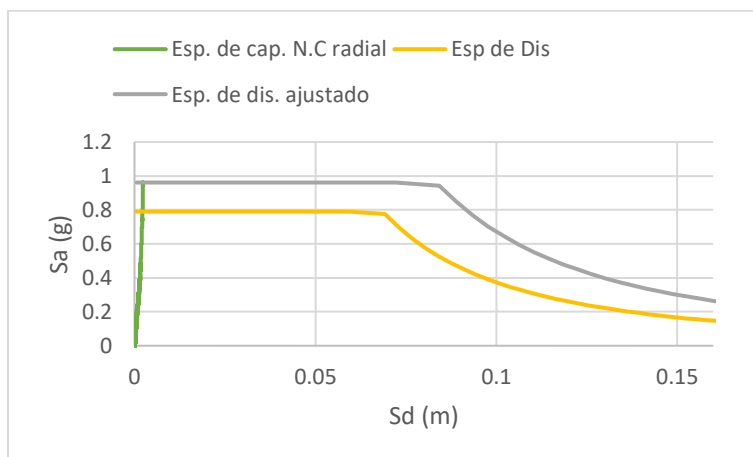


Figura 0-11. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 5 según NCh 2369

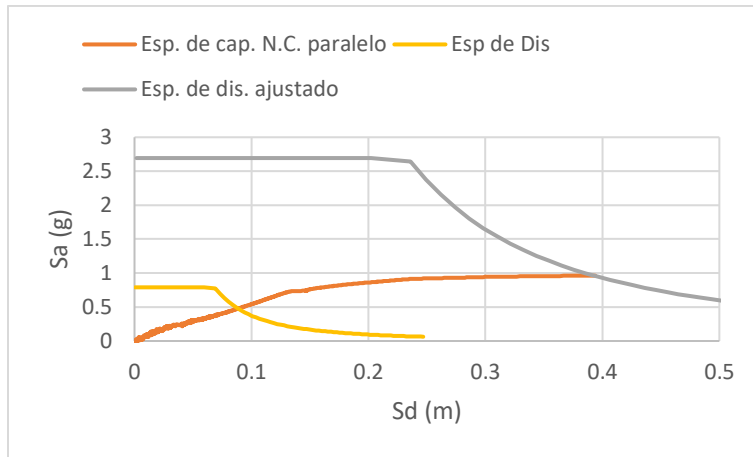


Figura 0-12. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 5 según NCh 2369

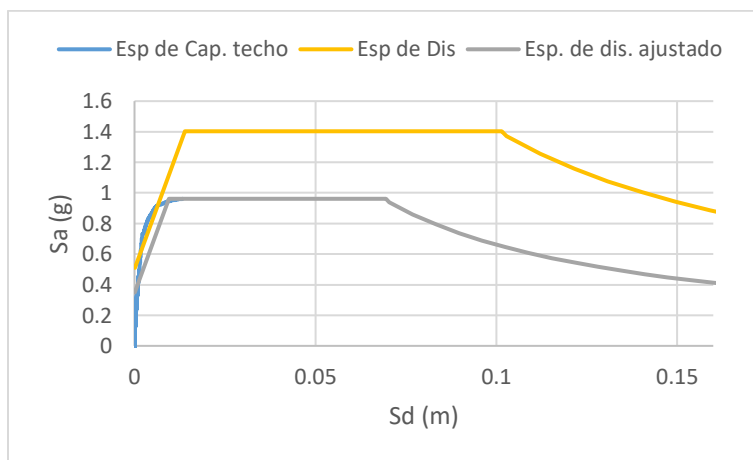


Figura 0-13. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 5 según NCh 2745

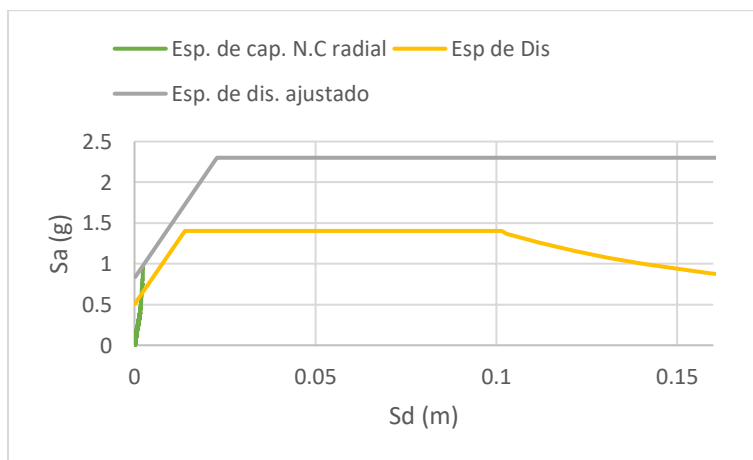


Figura 0-14. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 5 según NCh 2745

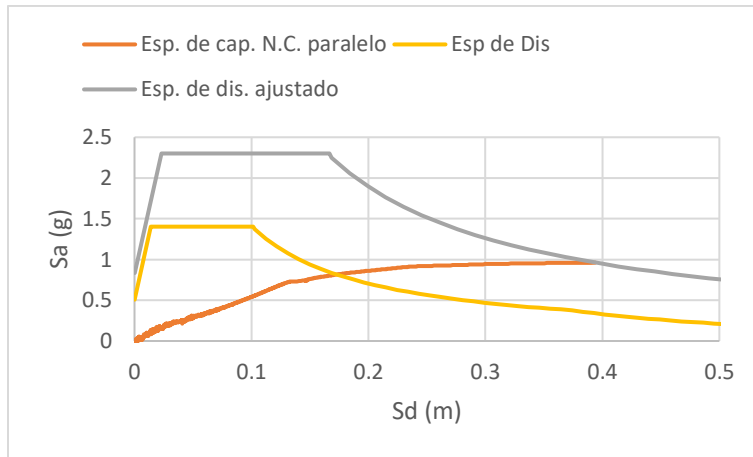


Figura 0-15. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 5 según NCh 2745

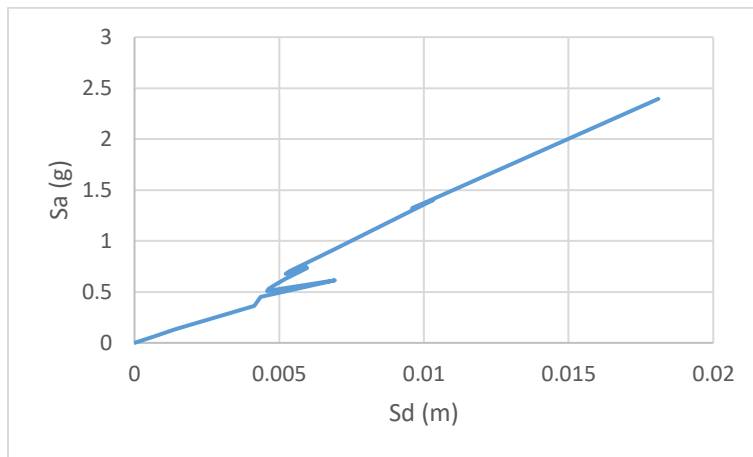


Figura 0-16. Espectro de capacidad para el Modelo 5 según método teórico

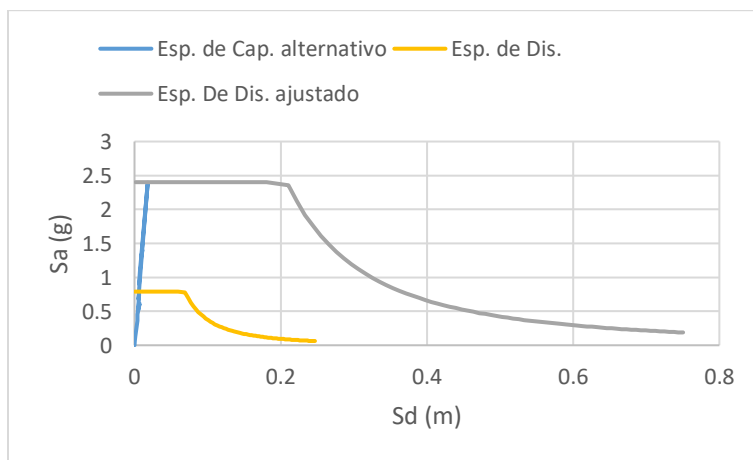


Figura 0-17. Punto de desempeño para el Modelo 5 según método teórico y NCh 2369



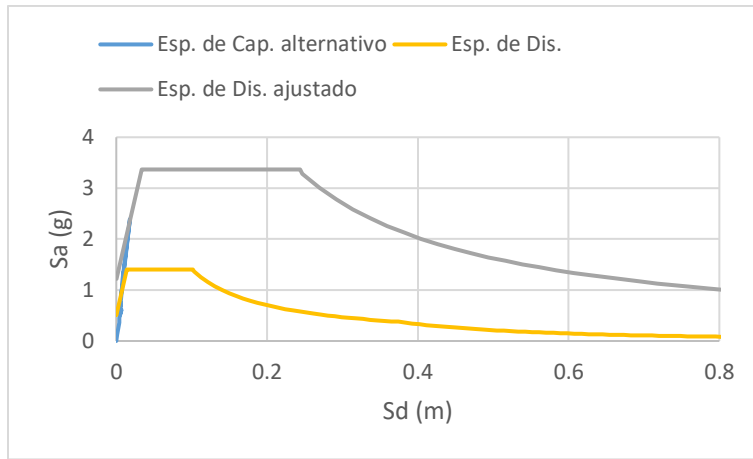


Figura 0-18. Punto de desempeño para el Modelo 5 según método teórico y NCh 2745

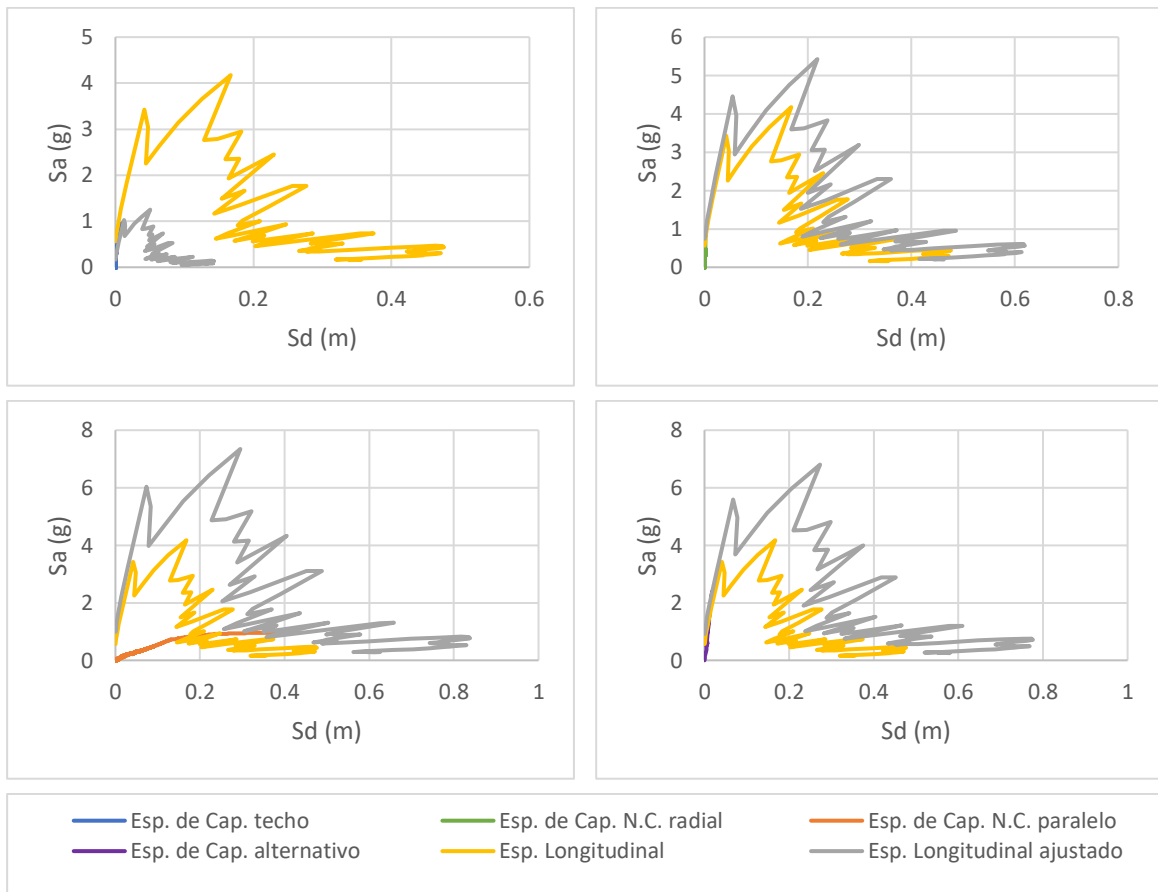


Figura 0-19. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 5

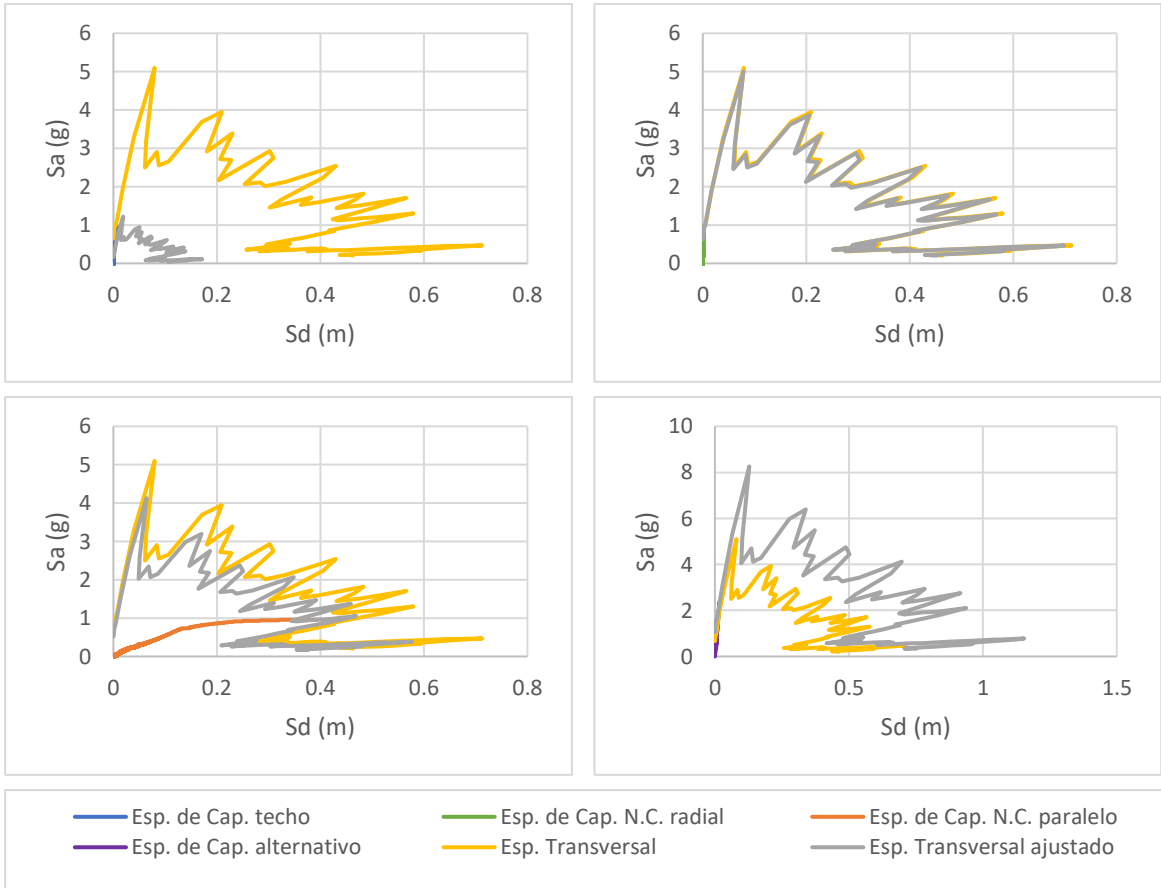


Figura 0-20. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 5

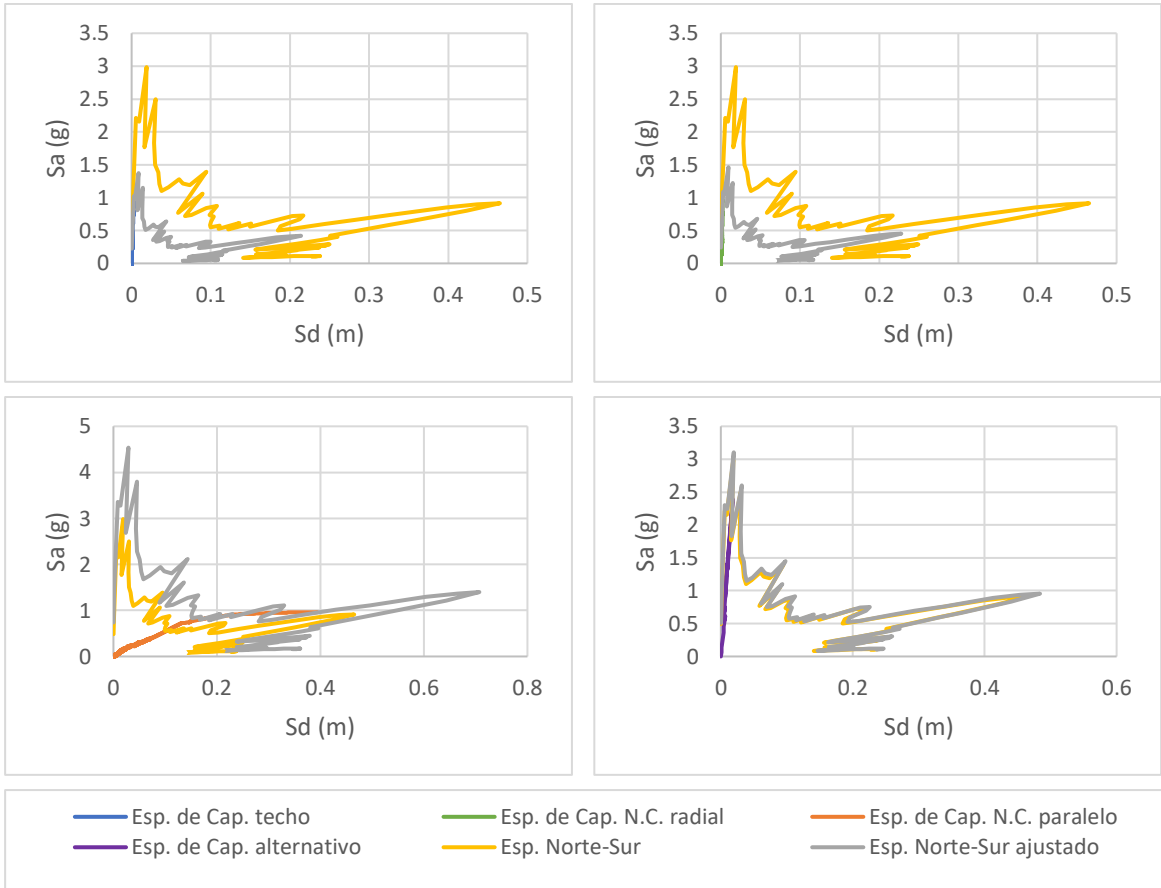


Figura 0-21. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 5

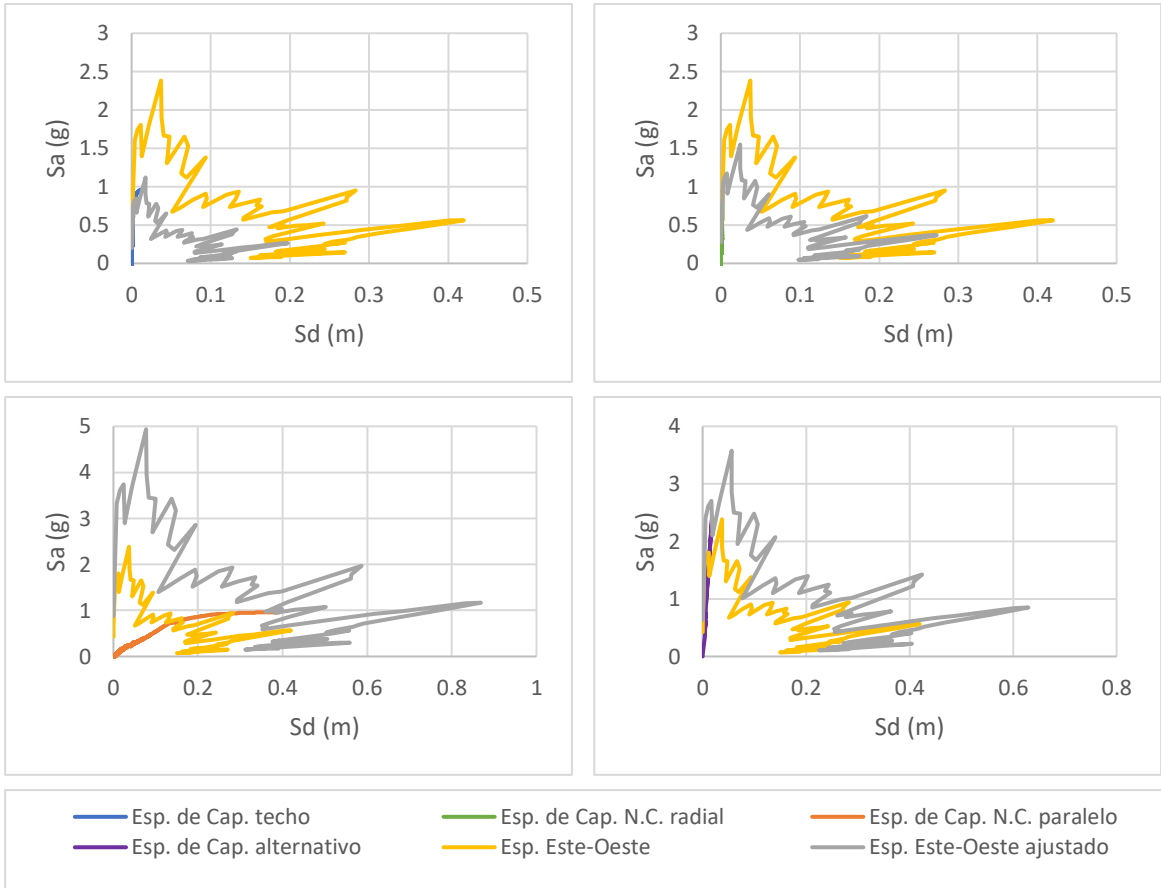


Figura 0-22. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 5

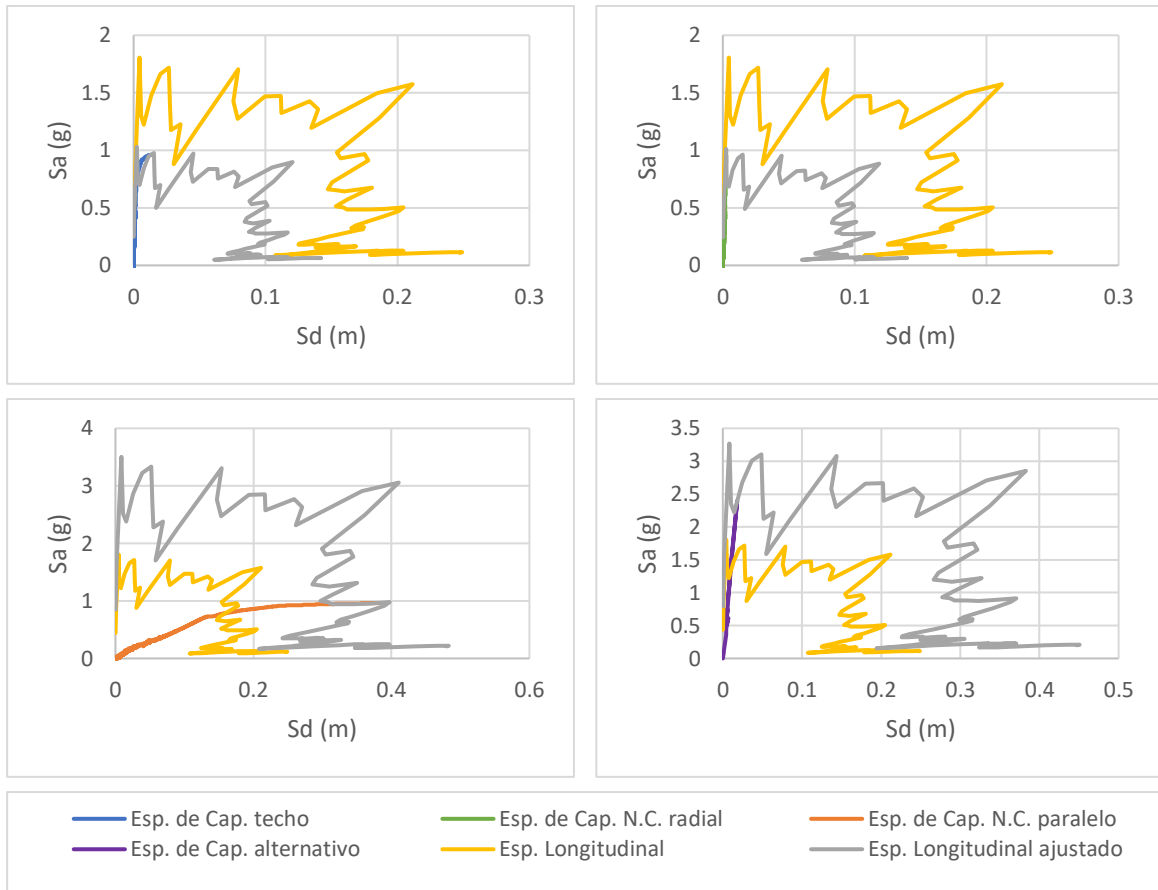


Figura 0-23. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 5

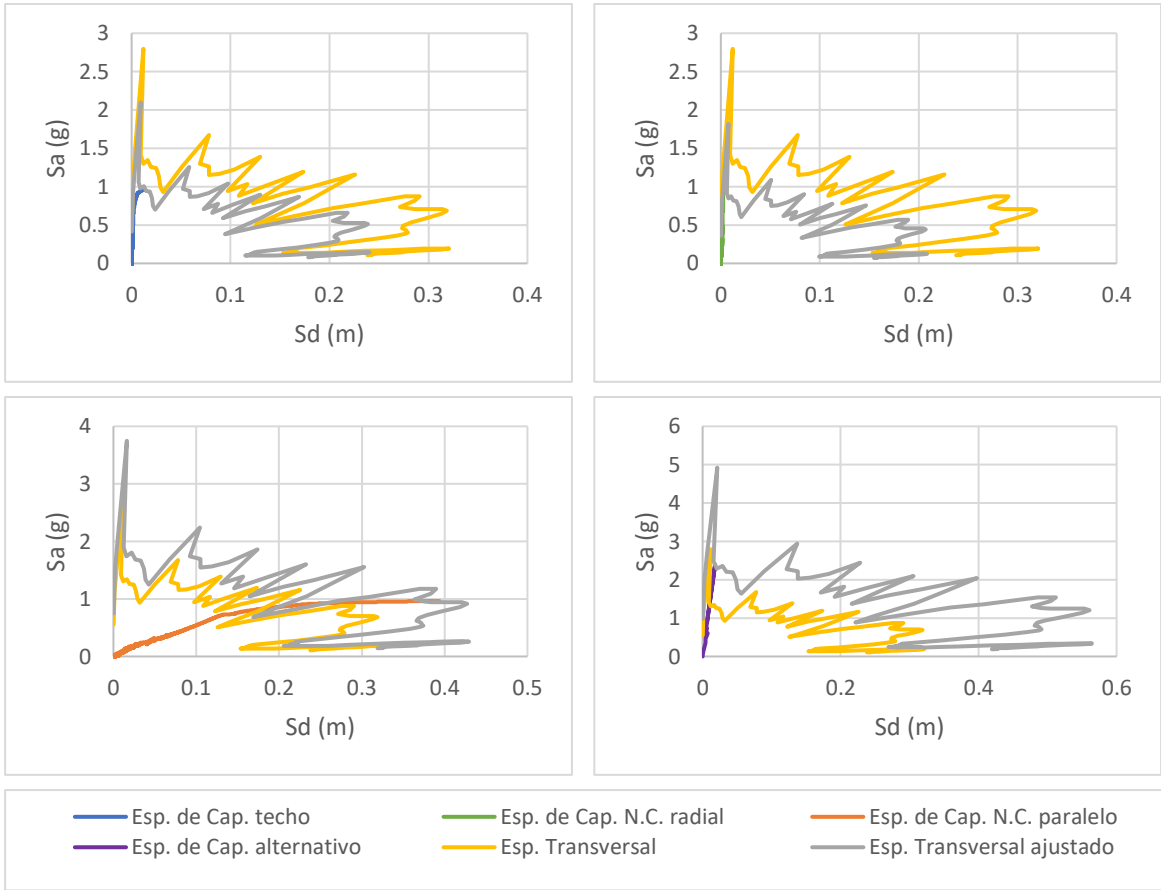


Figura 0-24. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 5

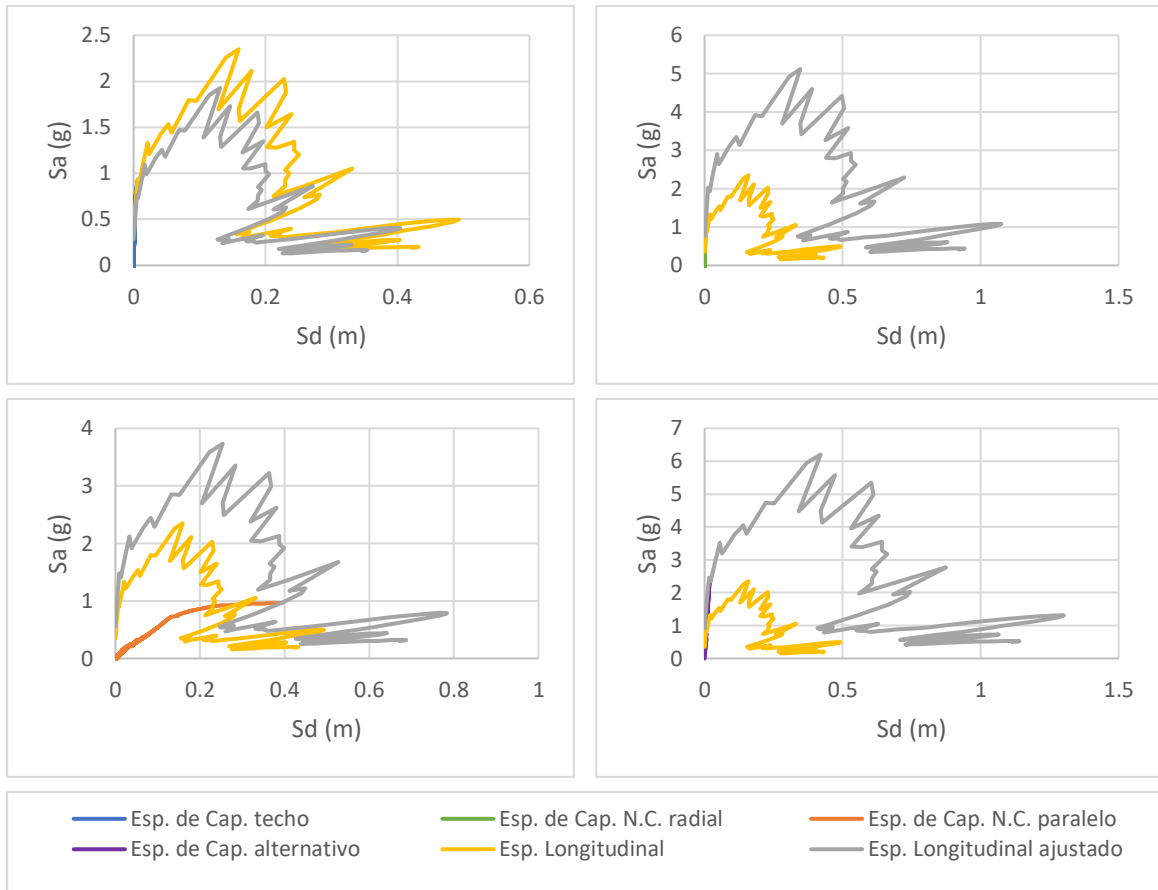


Figura 0-25. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 5

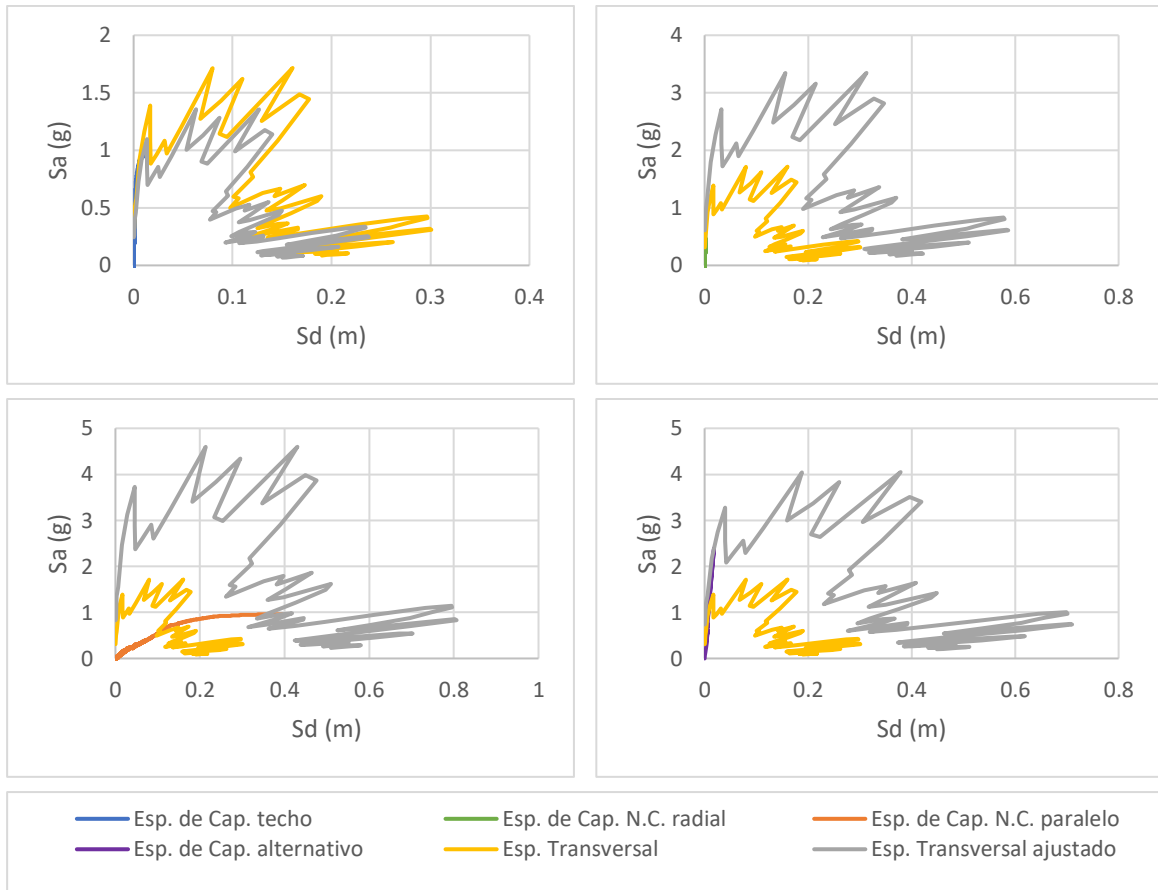


Figura 0-26. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 5



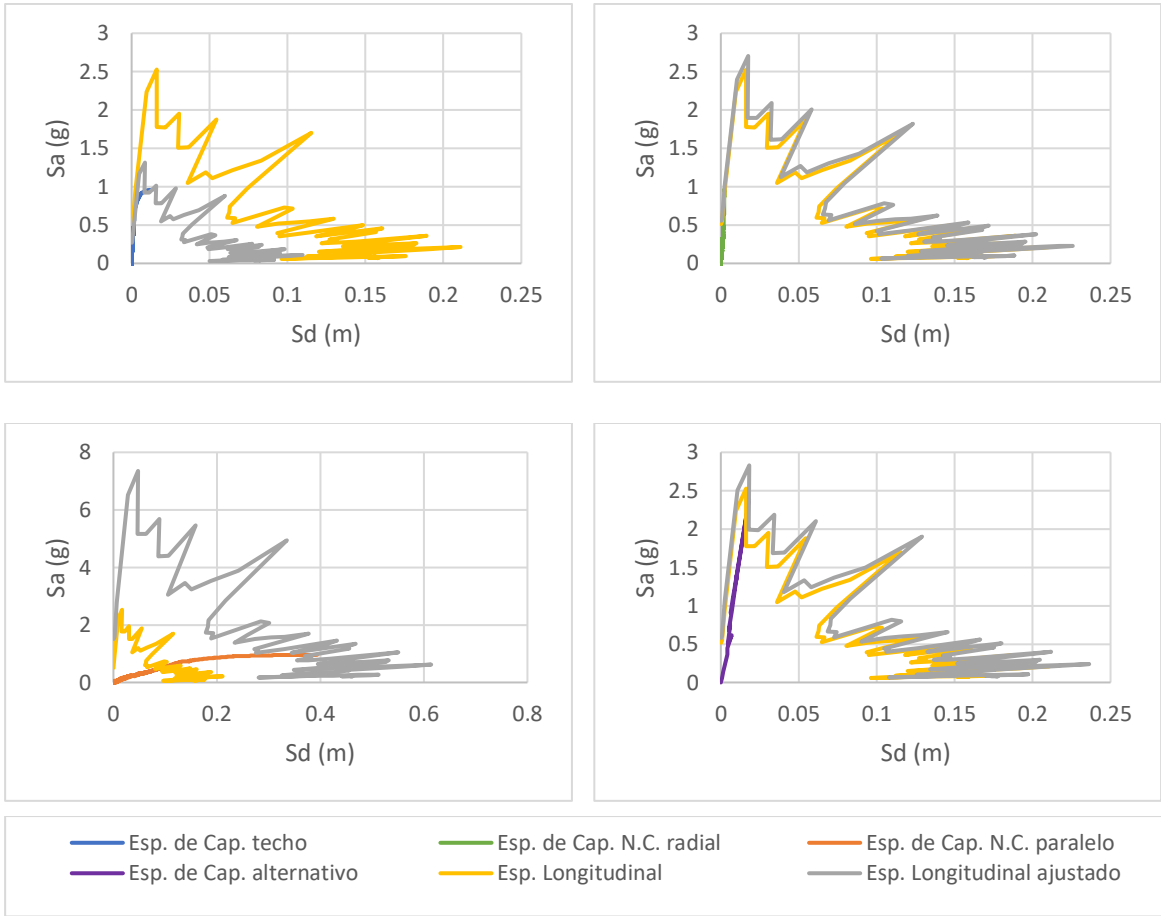


Figura 0-27. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 5

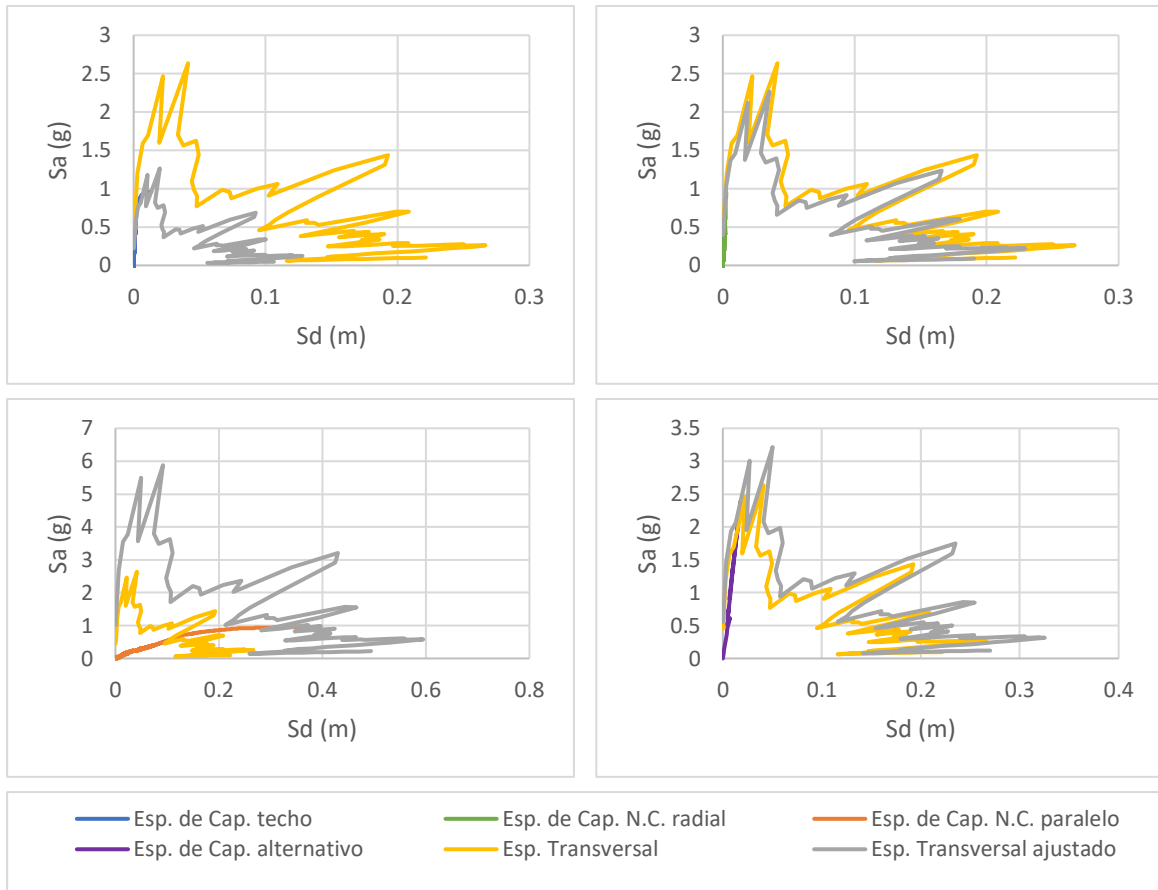


Figura 0-28. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 5

## Anexo A.2

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 9 utilizados para los análisis del presente estudio.

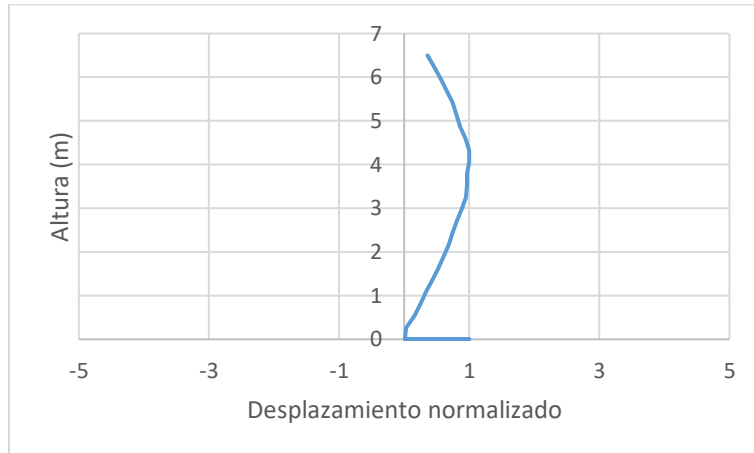


Figura 0-29. Forma modal del Modelo 9

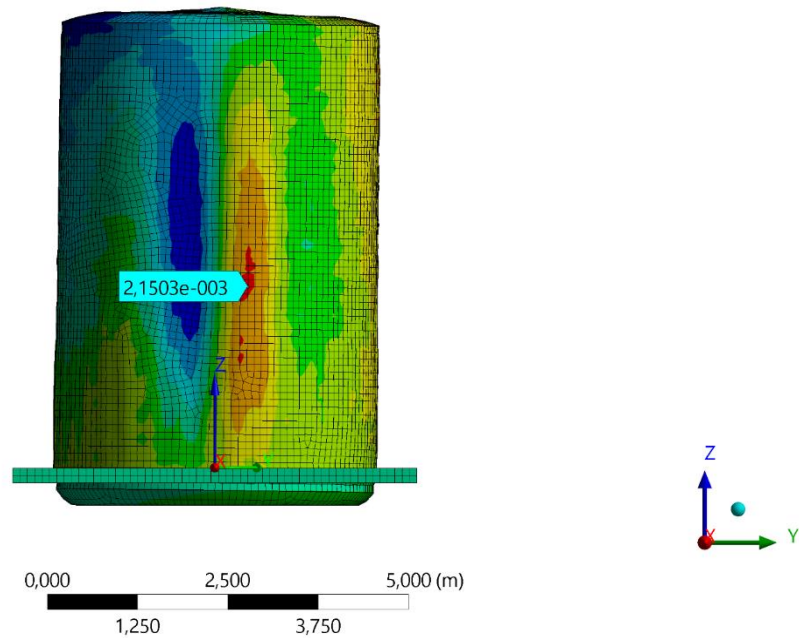


Figura 0-30. Nodo crítico del Modelo 9

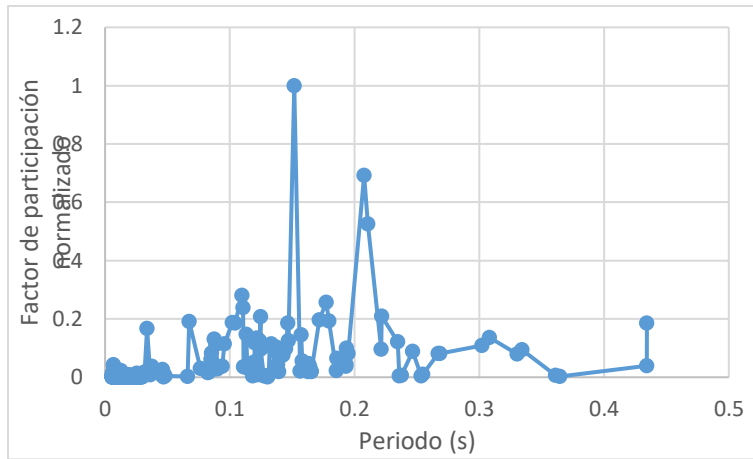


Figura 0-31. Factor de participación normalizado del Modelo 9

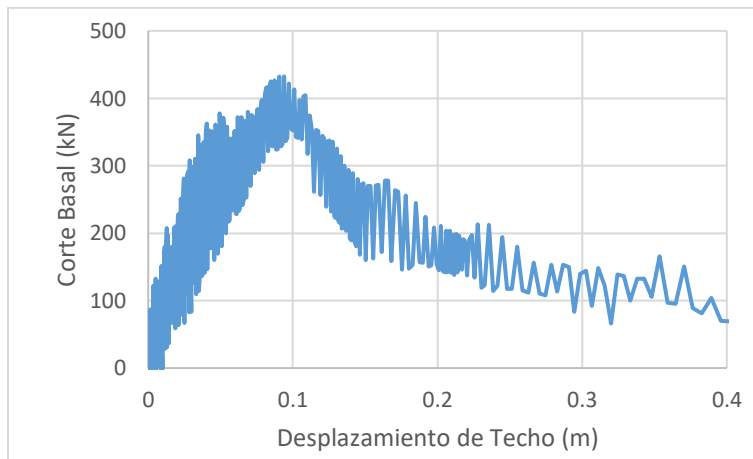


Figura 0-32. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 9

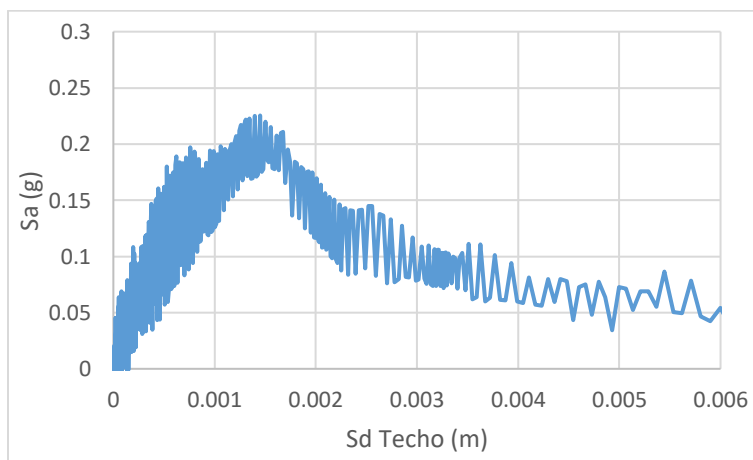


Figura 0-33. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 9

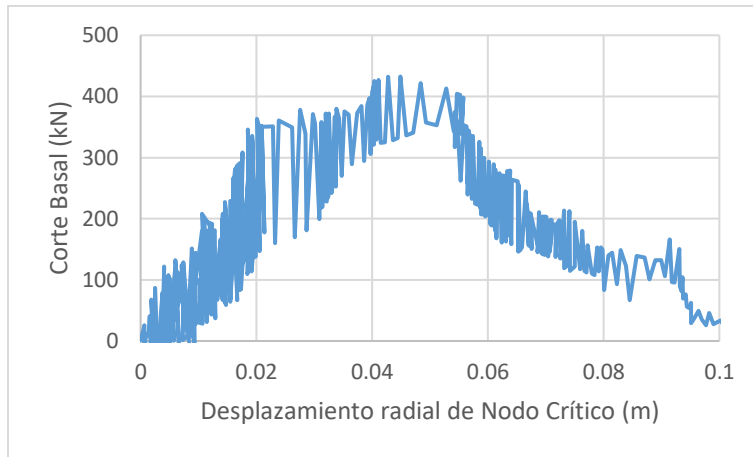


Figura 0-34. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 9

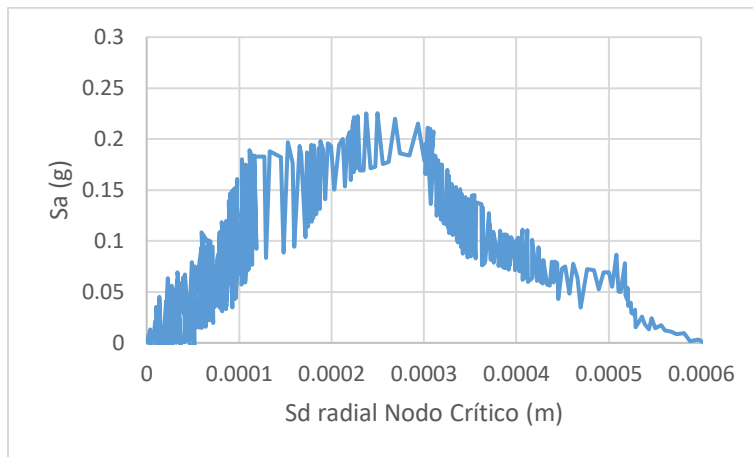


Figura 0-35. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 9

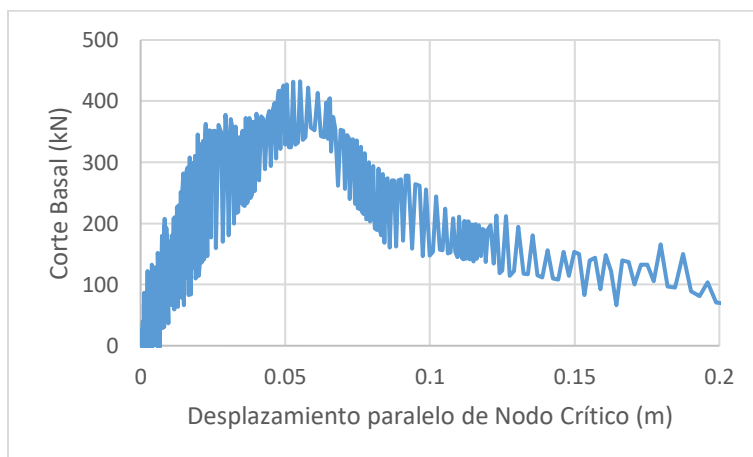


Figura 0-36. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 9

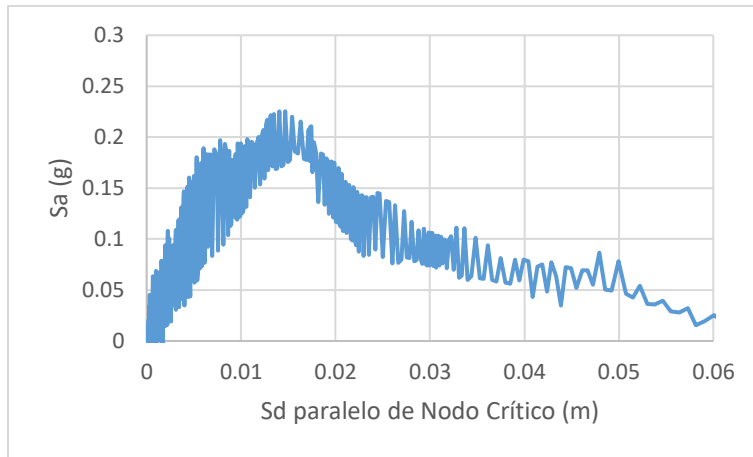


Figura 0-37. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 5

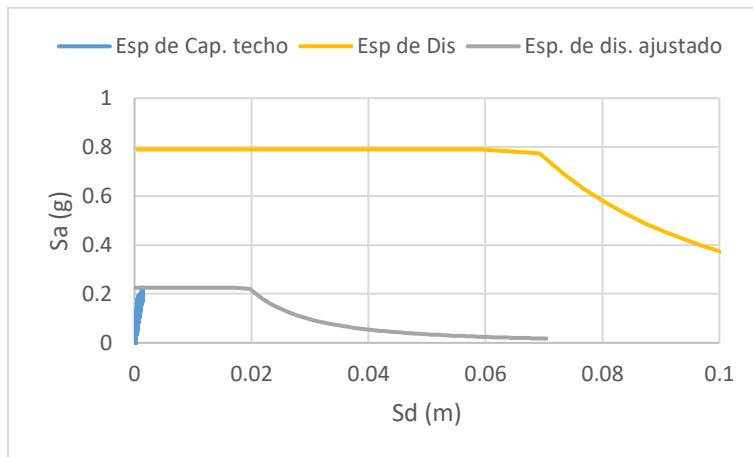


Figura 0-38. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 9 según NCh 2369

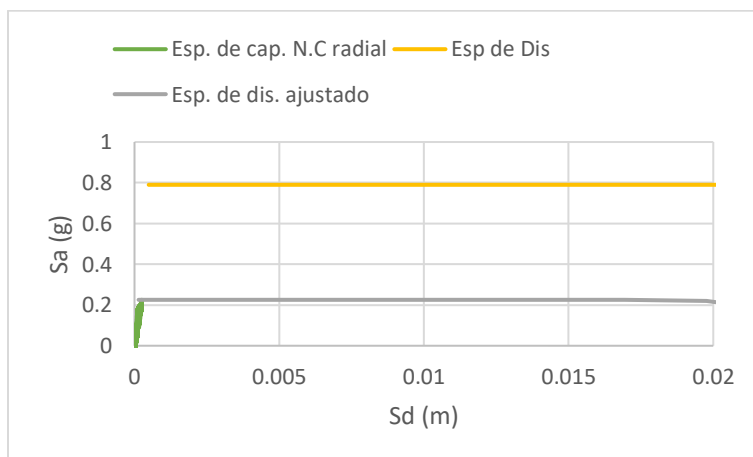


Figura 0-39. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 9 según NCh 2369

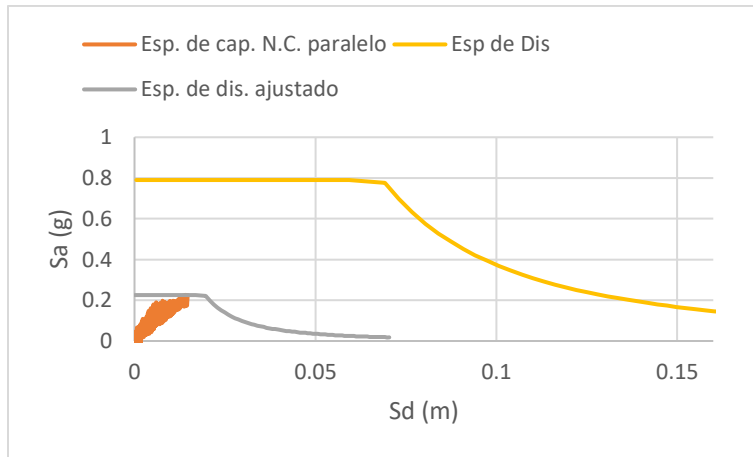


Figura 0-40. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 9 según NCh 2369

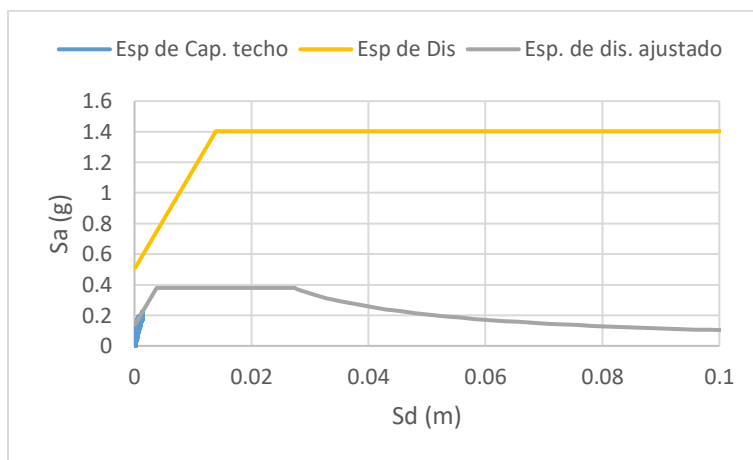


Figura 0-41. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 9 según NCh 2745

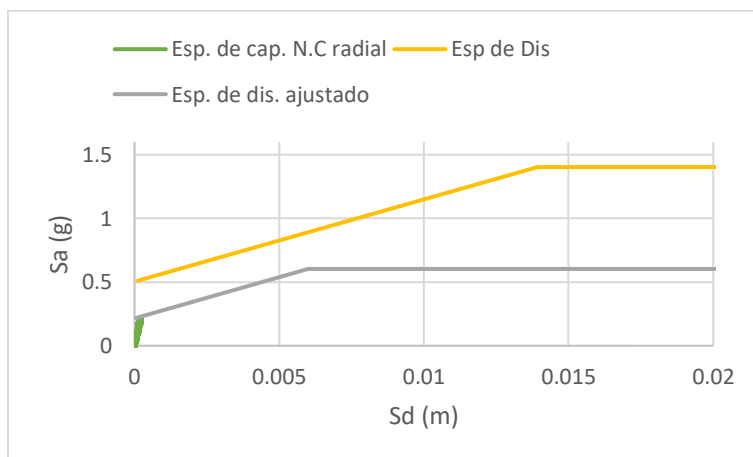


Figura 0-42. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 9 según NCh 2745

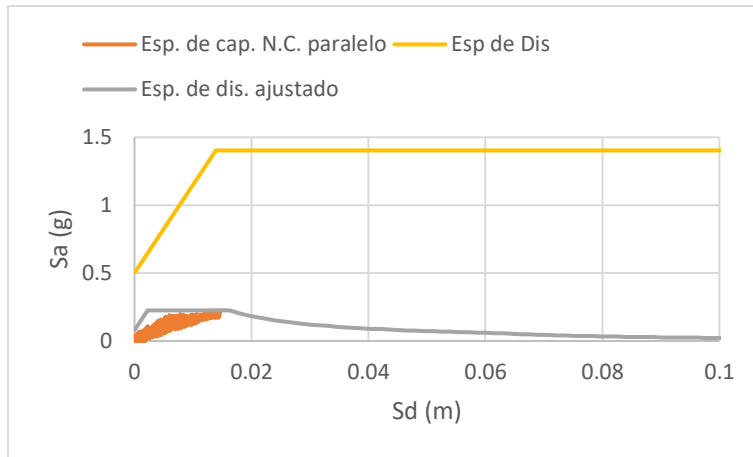


Figura 0-43. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 9 según NCh 2745

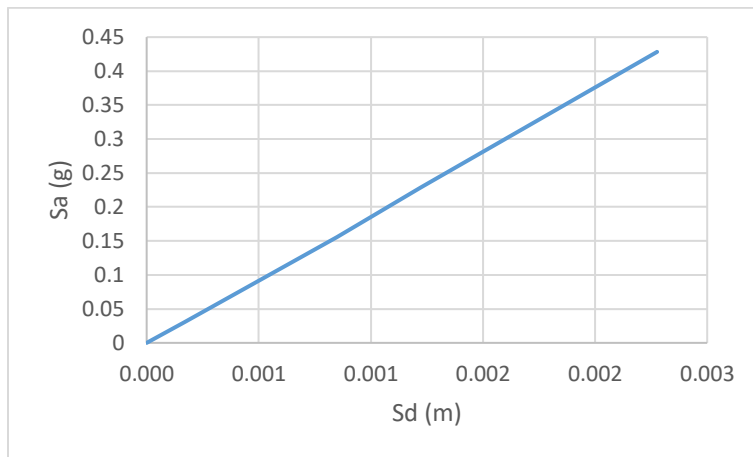


Figura 0-44. Espectro de capacidad para el Modelo 9 según método teórico

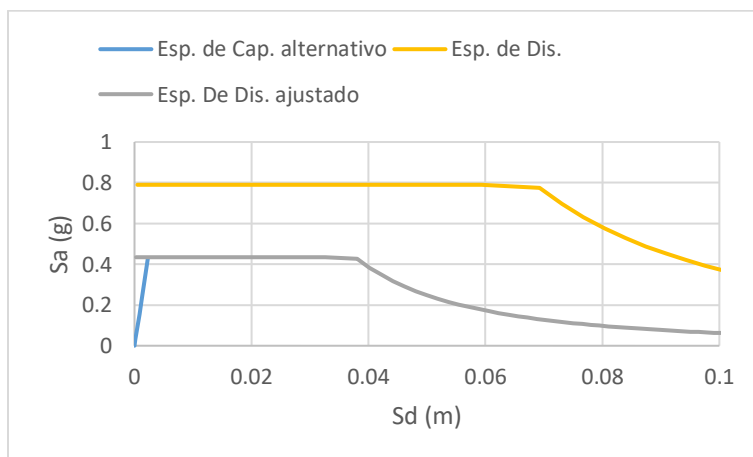


Figura 0-45. Punto de desempeño para el Modelo 9 según método teórico y NCh 2369



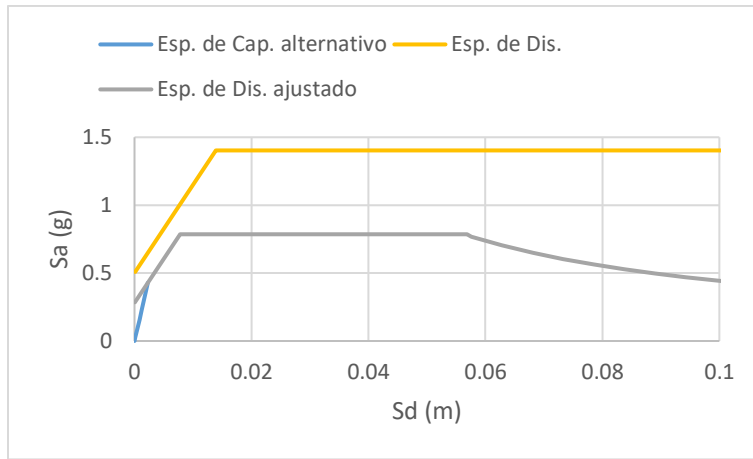


Figura 0-46. Punto de desempeño para el Modelo 9 según método teórico y NCh 2745

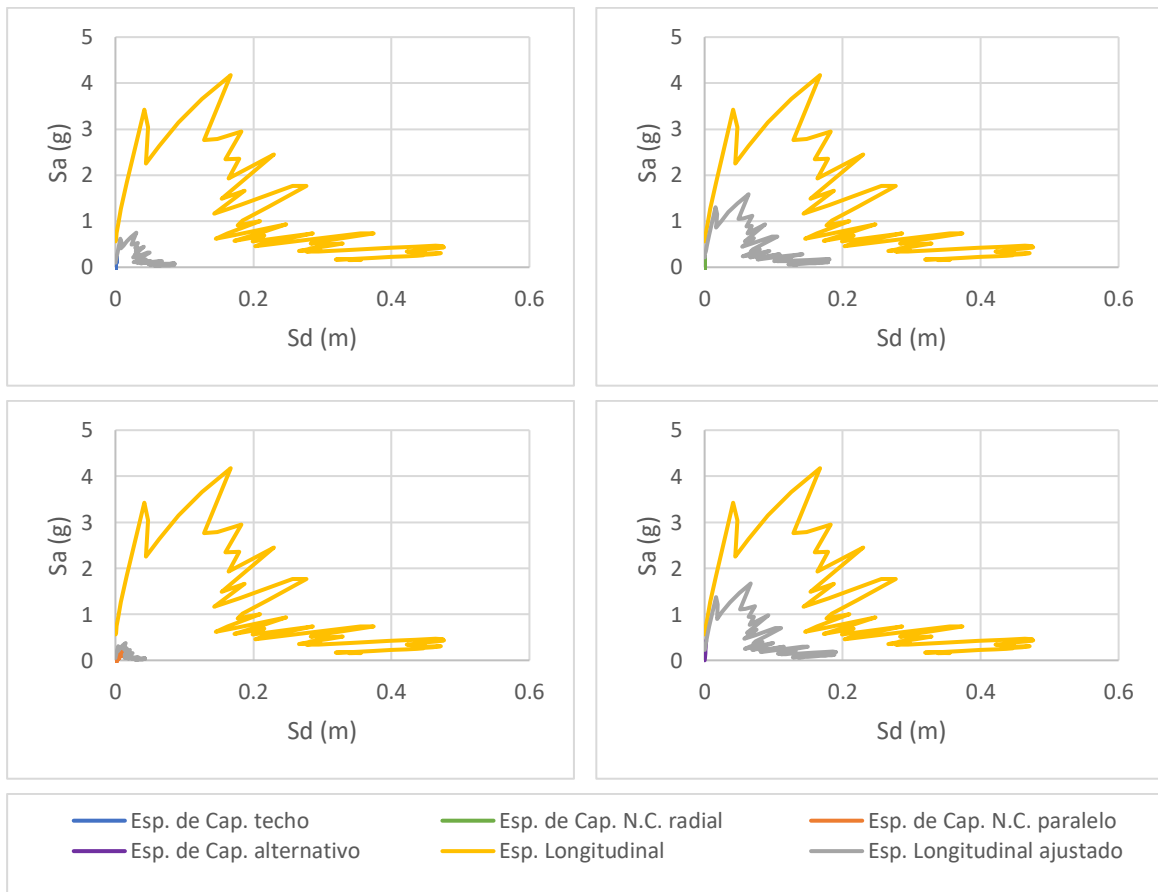


Figura 0-47. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 9

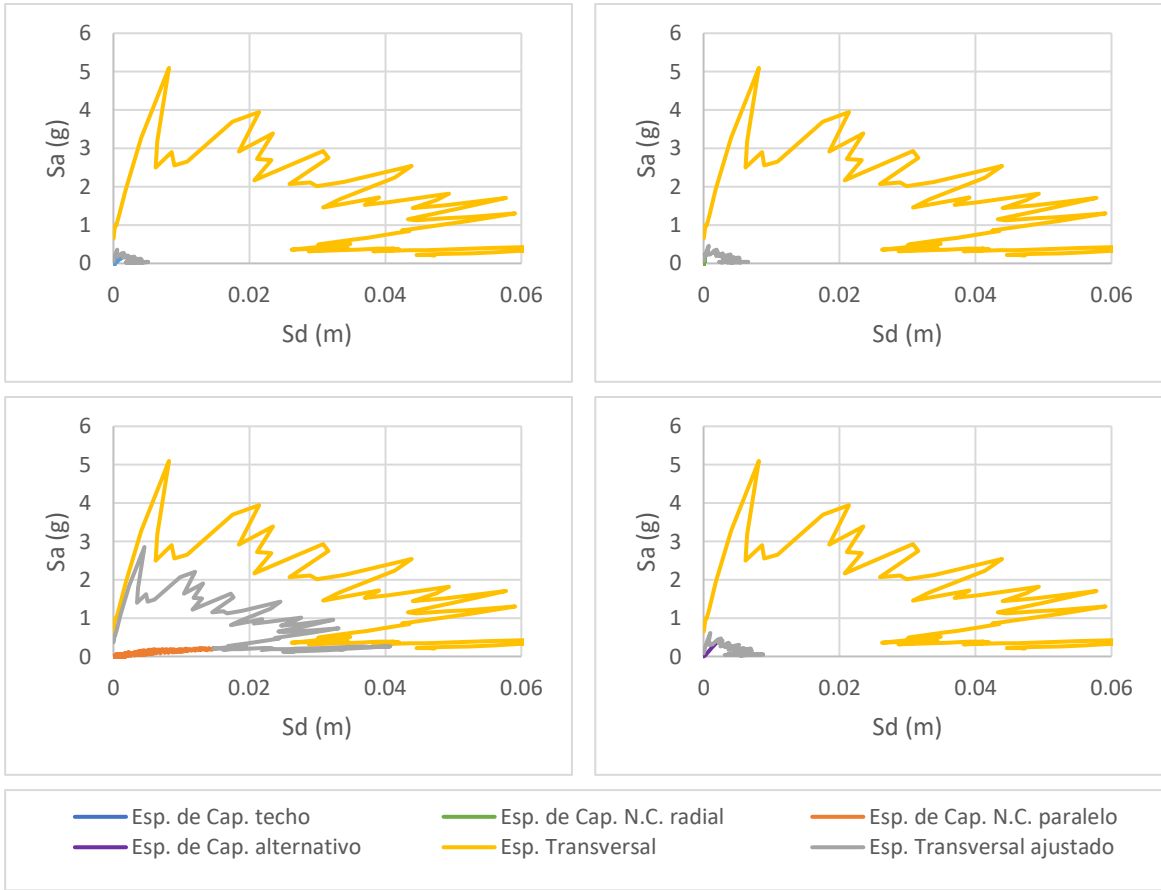


Figura 0-48. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 9

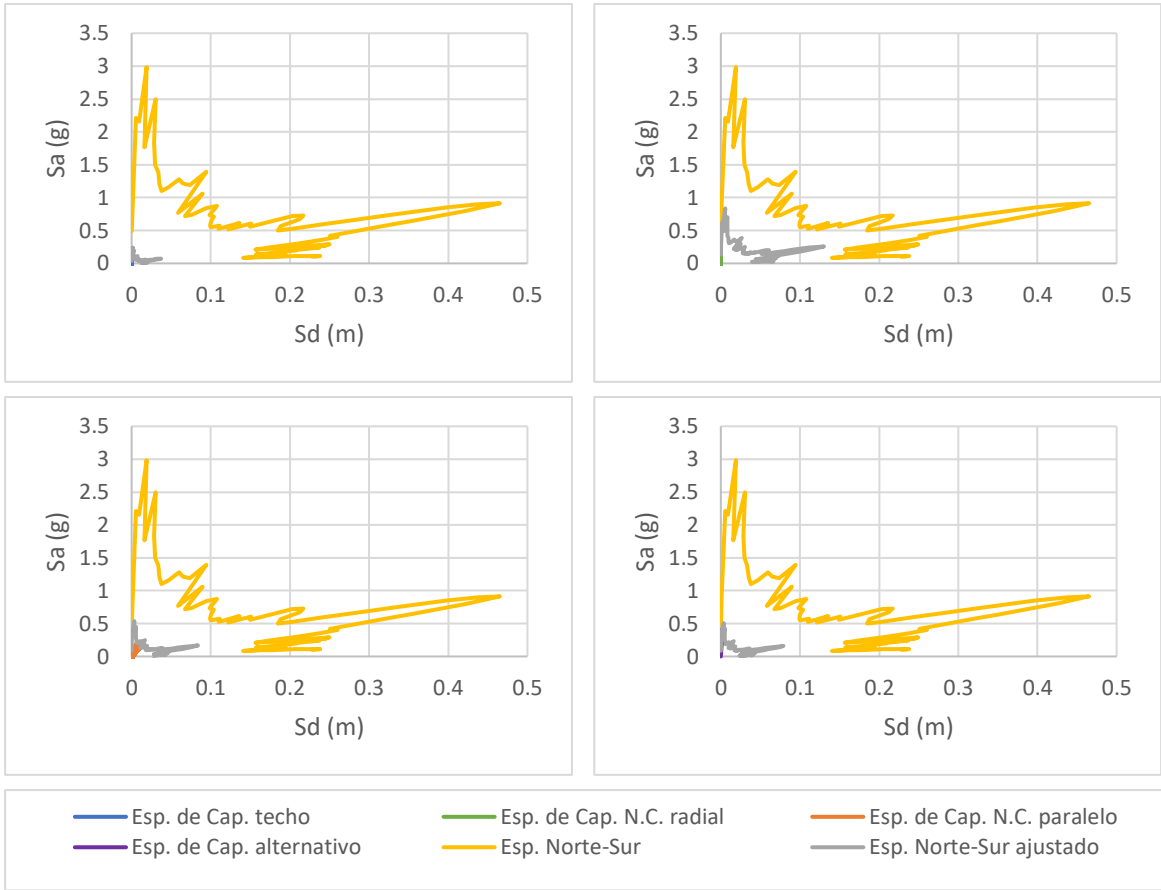


Figura 0-49. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 9

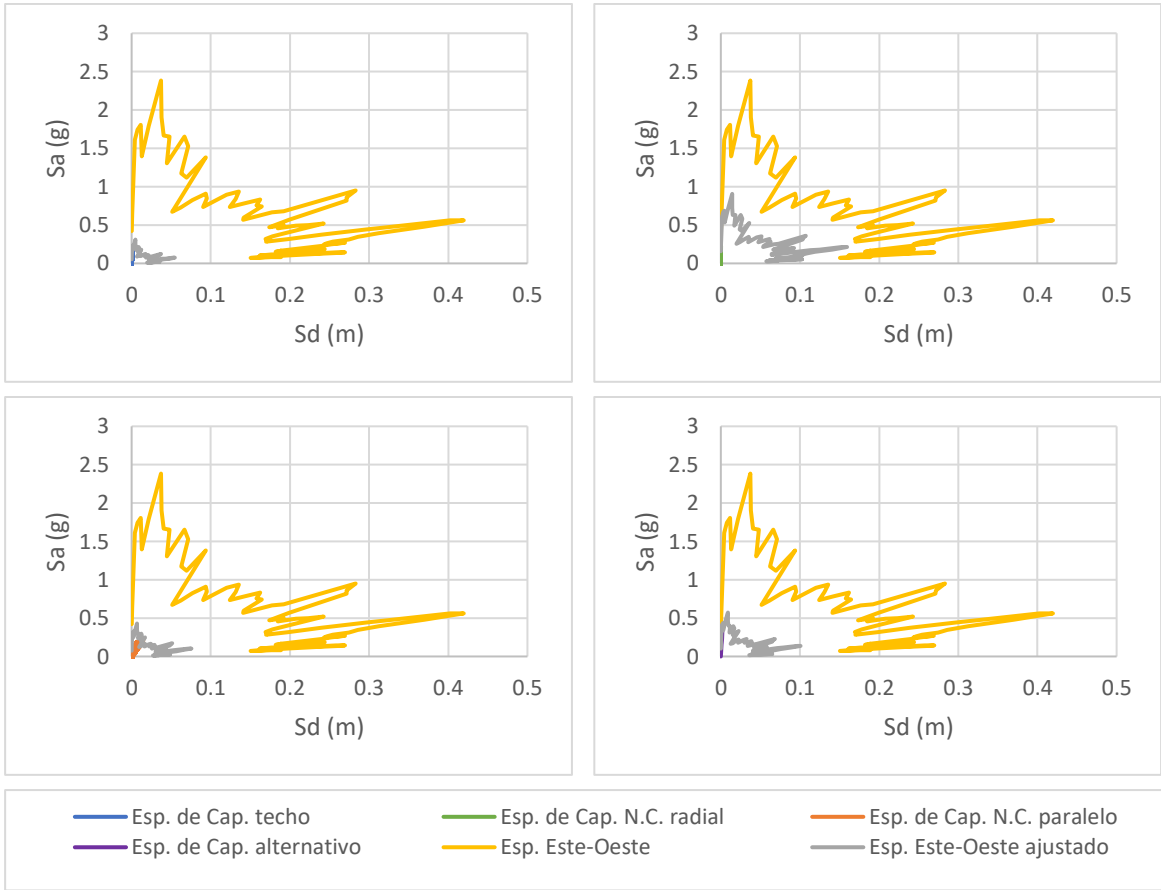


Figura 0-50. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 9

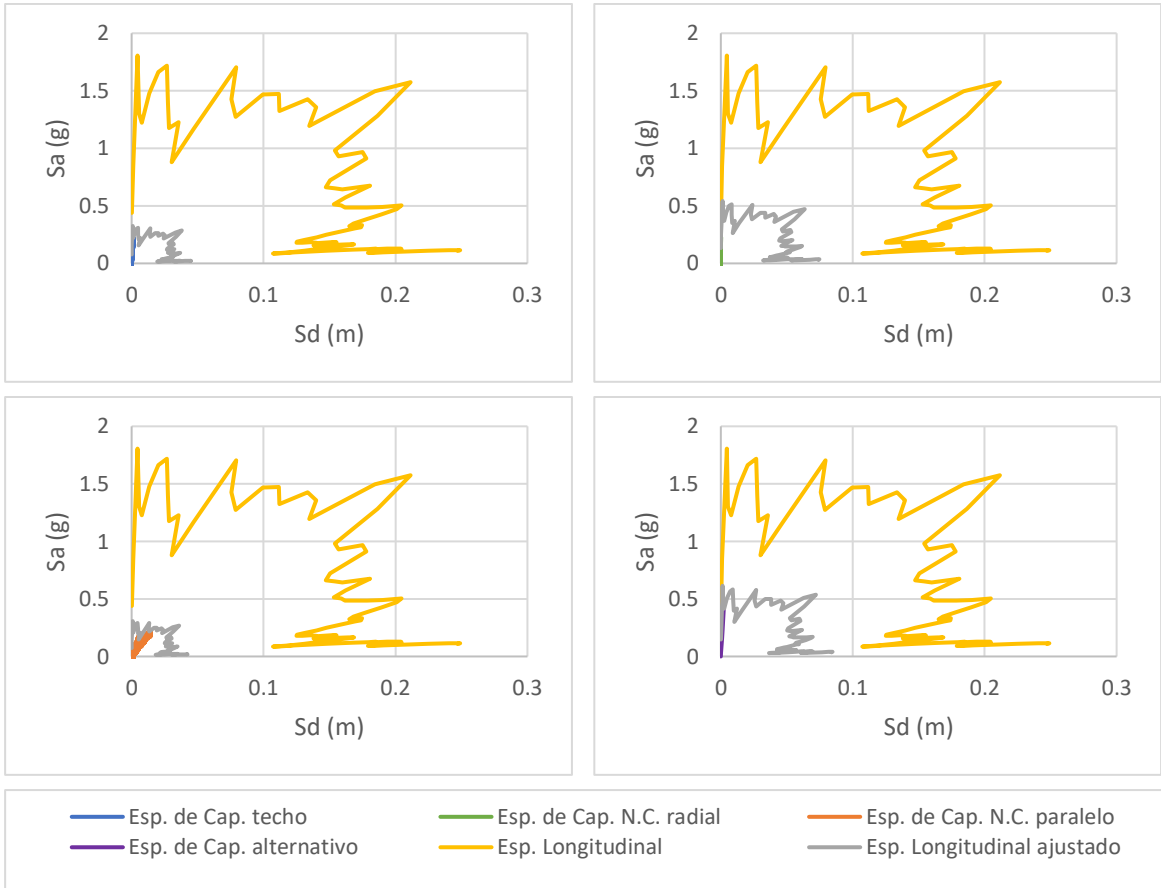


Figura 0-51. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 9

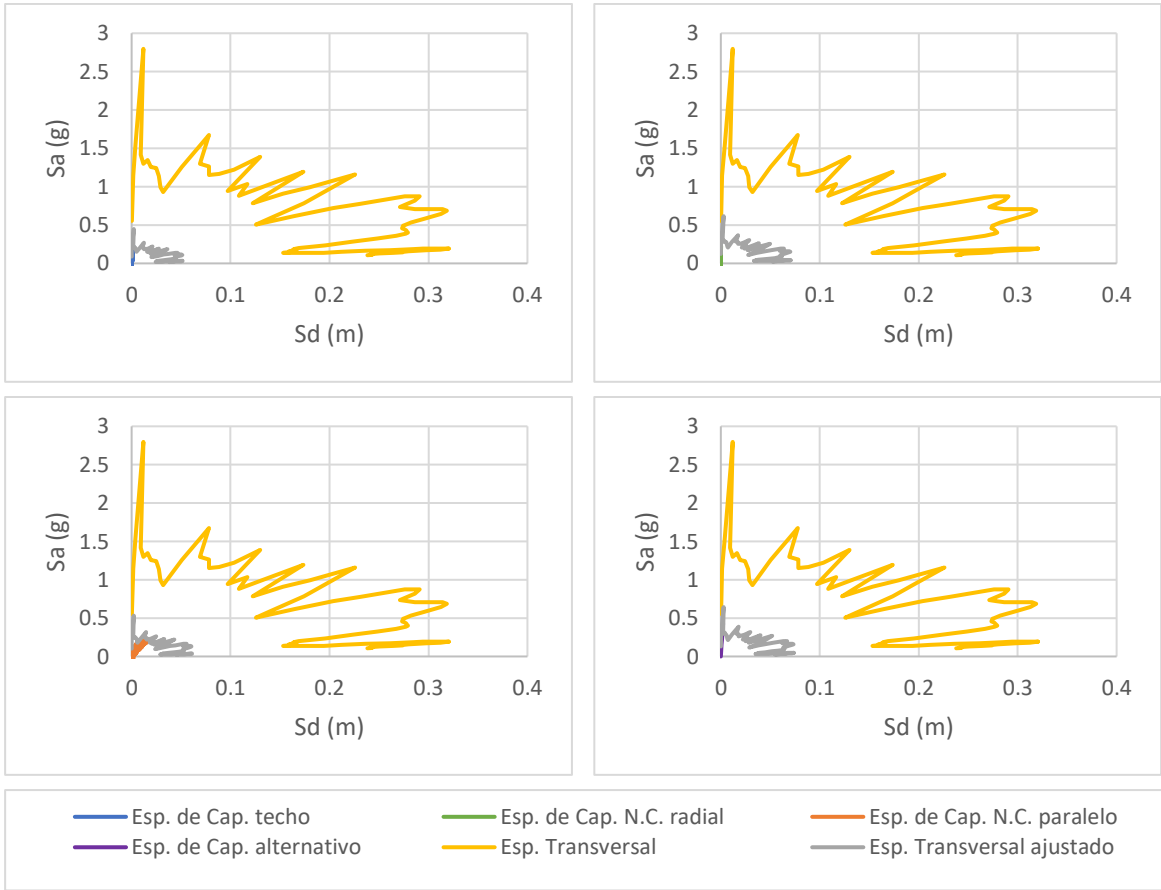


Figura 0-52. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 9

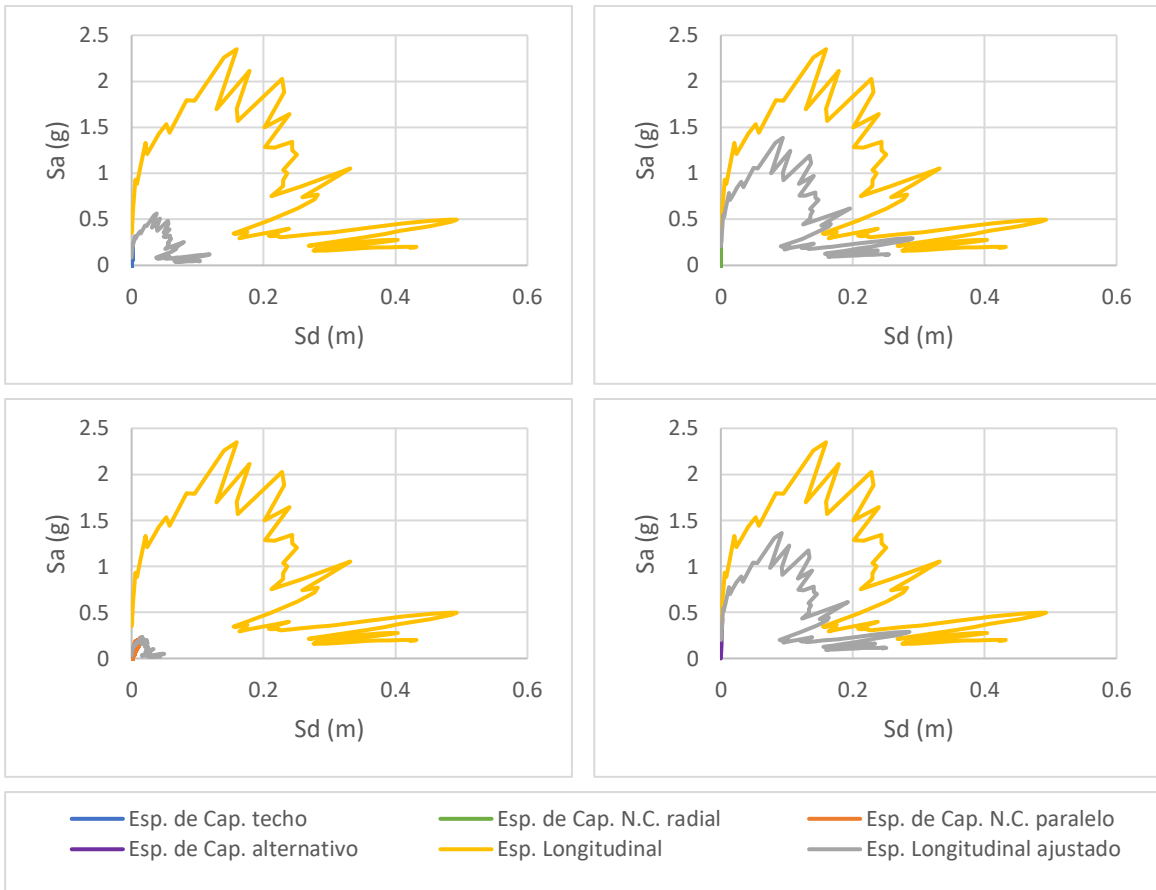


Figura 0-53. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 9

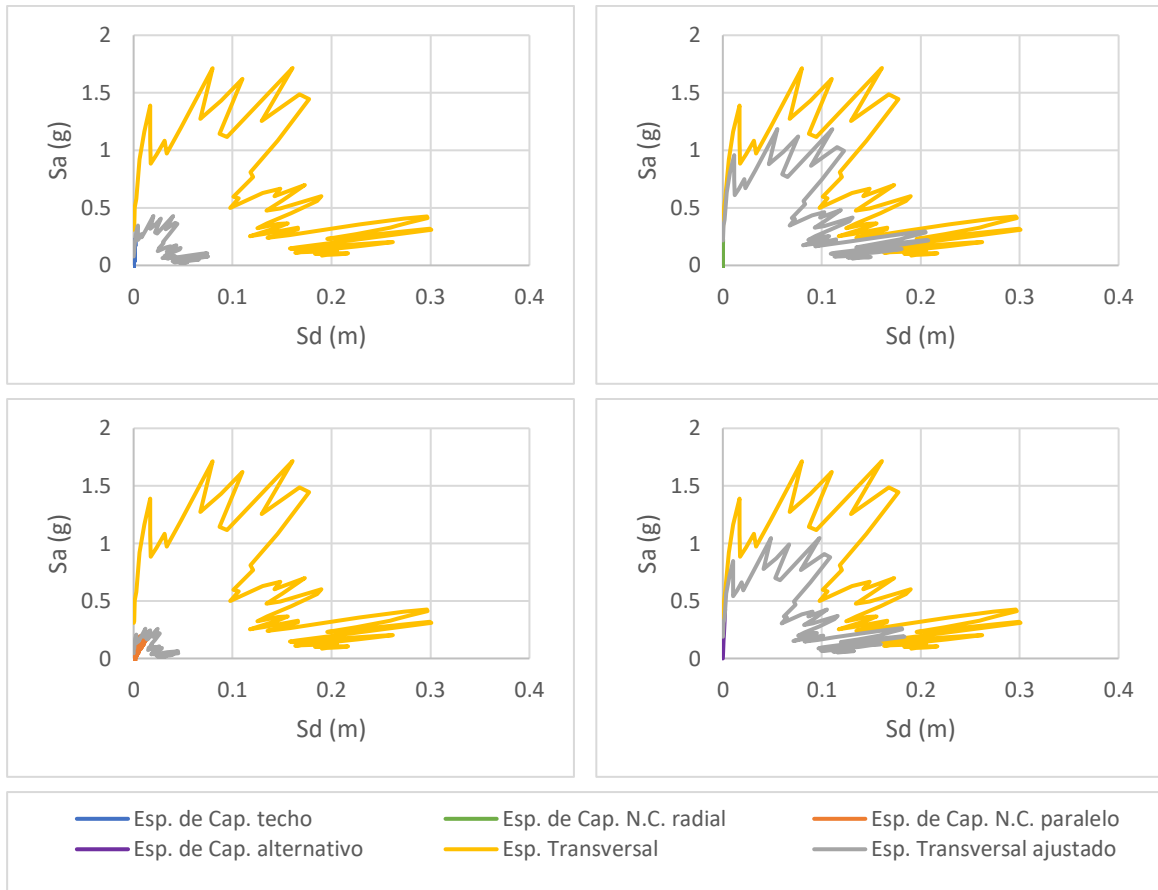


Figura 0-54. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 9



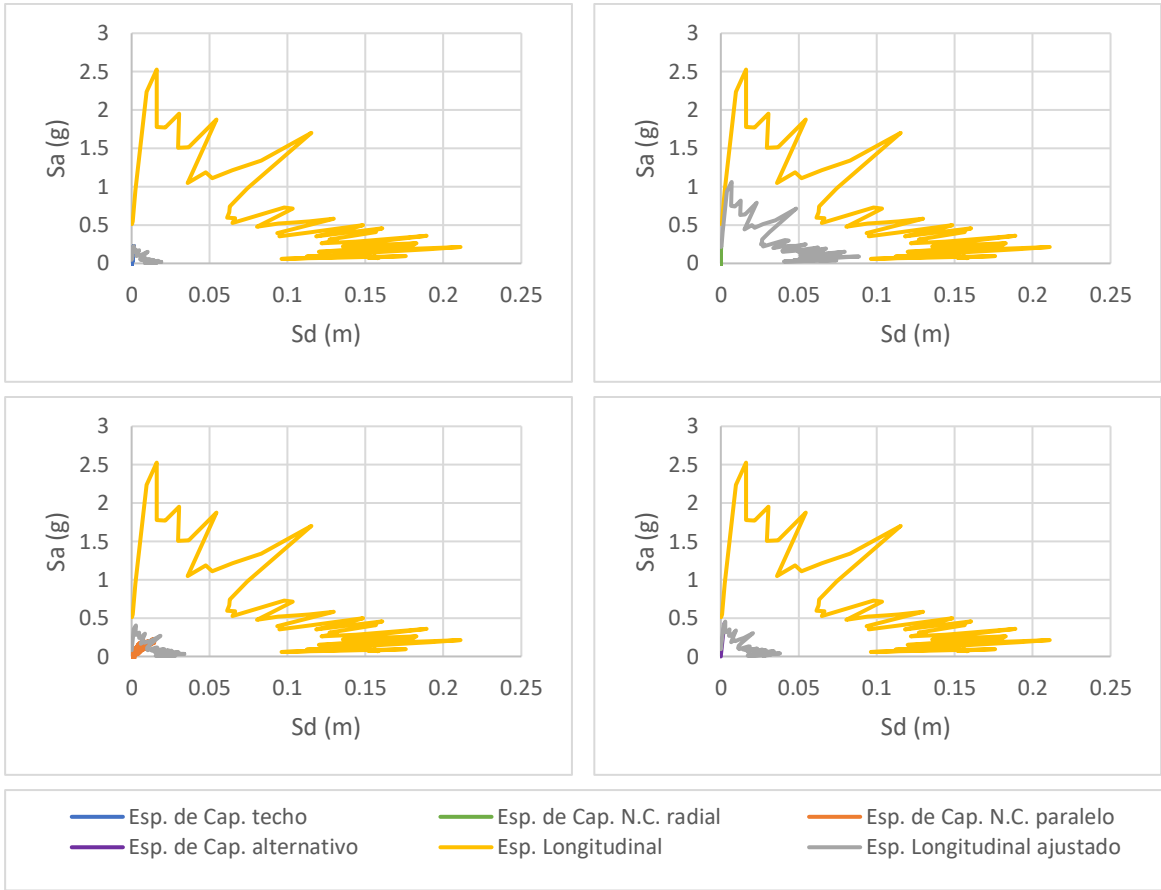


Figura 0-55. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 9

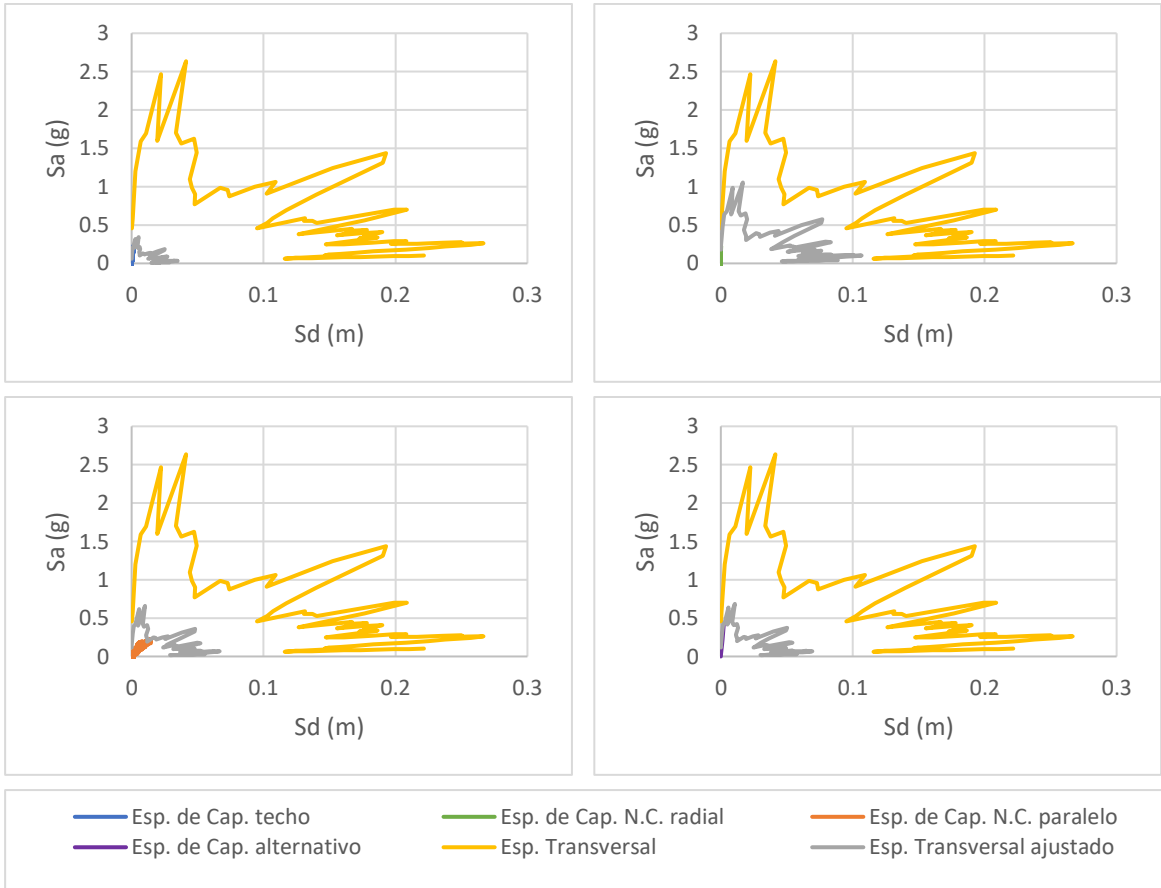


Figura 0-56. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 9

### Anexo A.3

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 11 utilizados para los análisis del presente estudio.

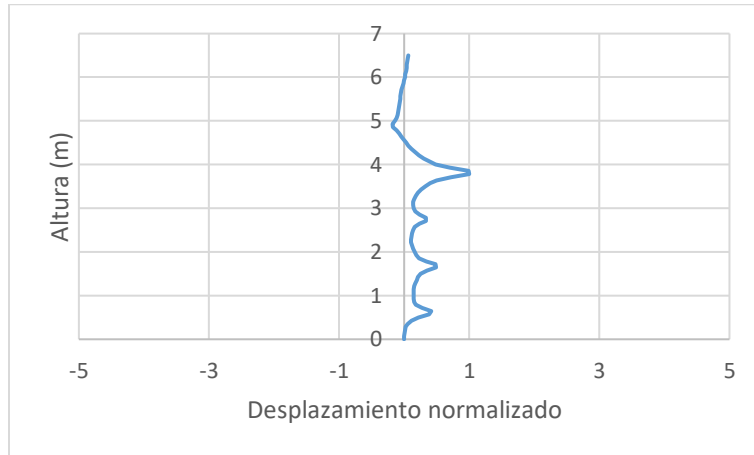


Figura 0-57. Forma modal del Modelo 11

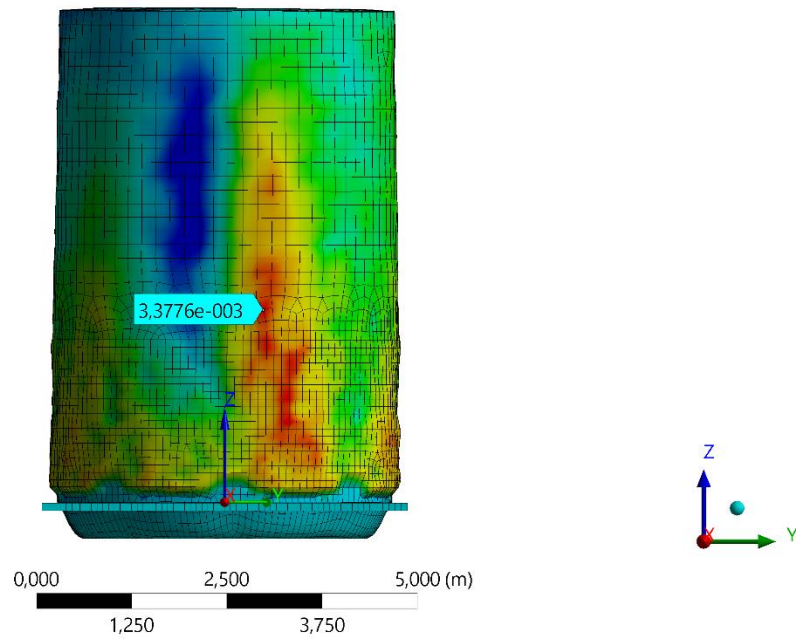


Figura 0-58. Nodo crítico del Modelo 11

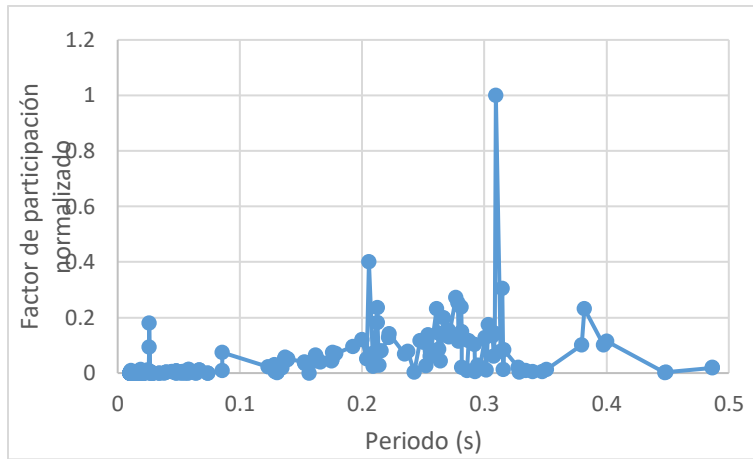


Figura 0-59. Factor de participación normalizado del Modelo 11

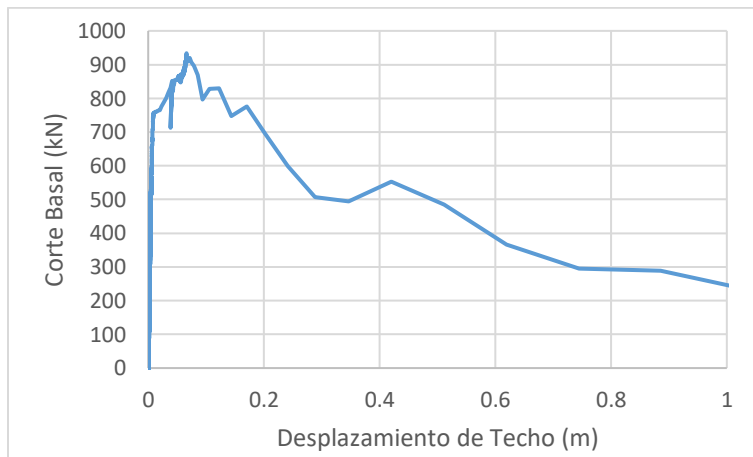


Figura 0-60. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 11

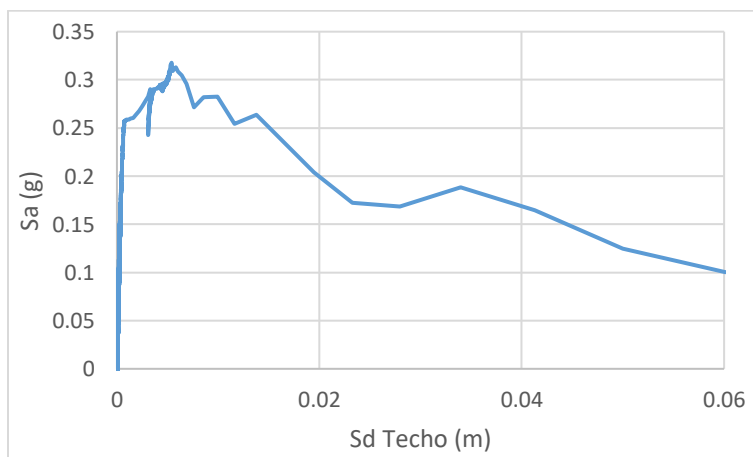


Figura 0-61. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 11

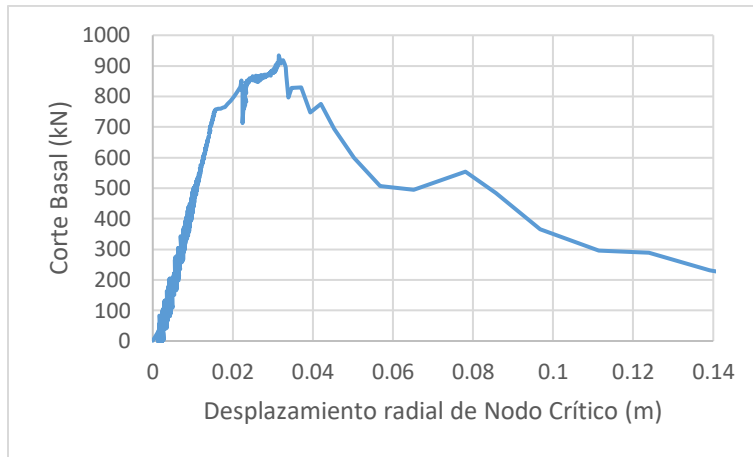


Figura 0-62. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 11

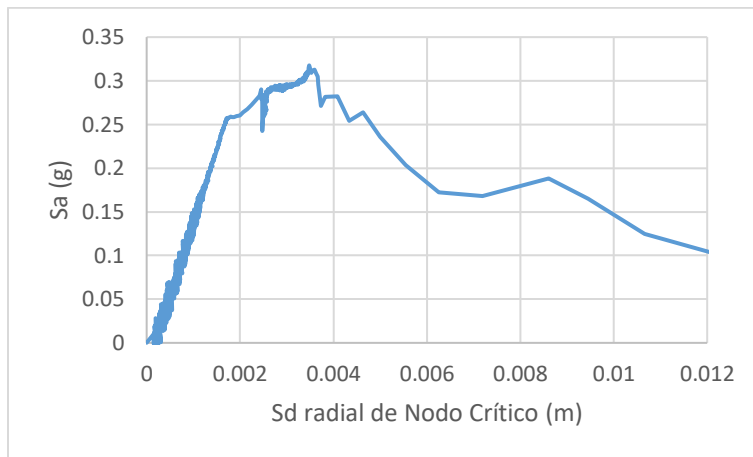


Figura 0-63. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 11

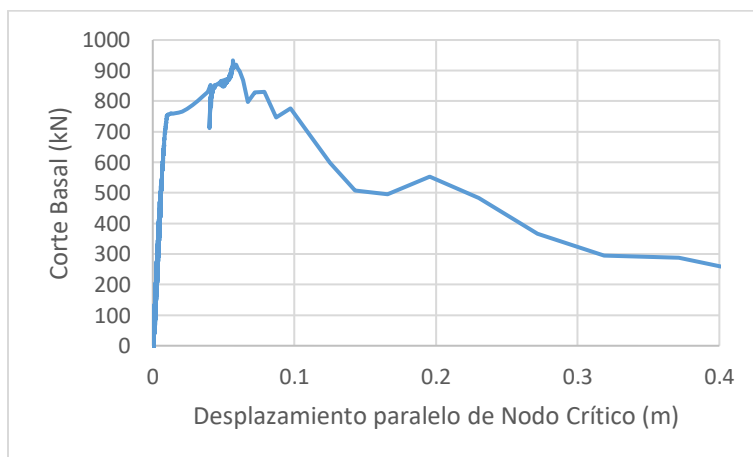


Figura 0-64. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 11

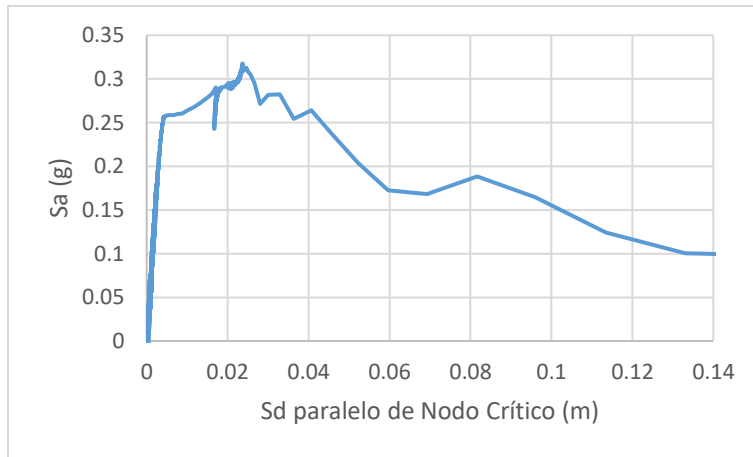


Figura 0-65. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 11

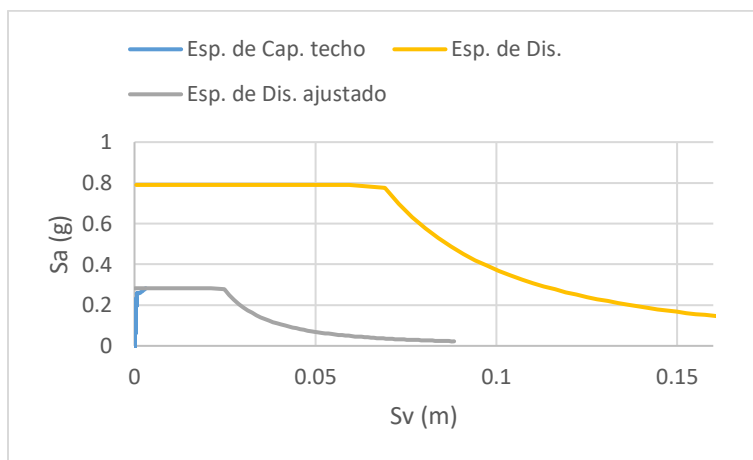


Figura 0-66. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 11 según NCh 2369

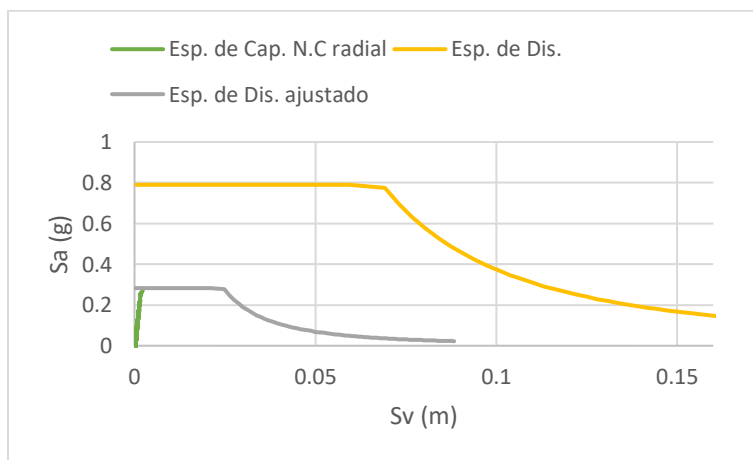


Figura 0-67. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 11 según NCh 2369

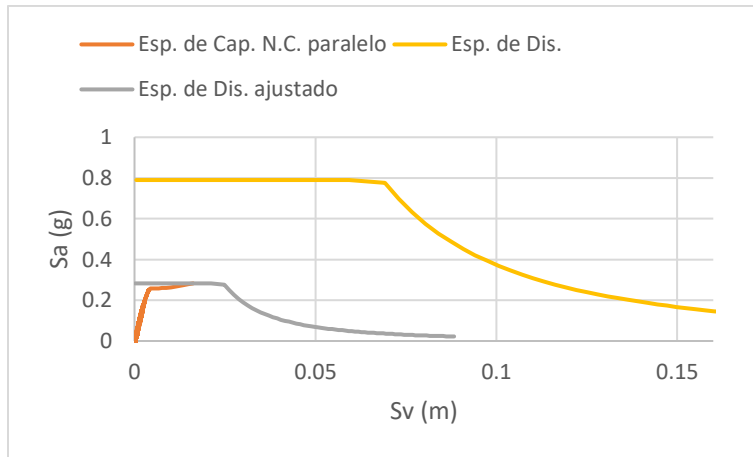


Figura 0-68. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 11 según NCh 2369

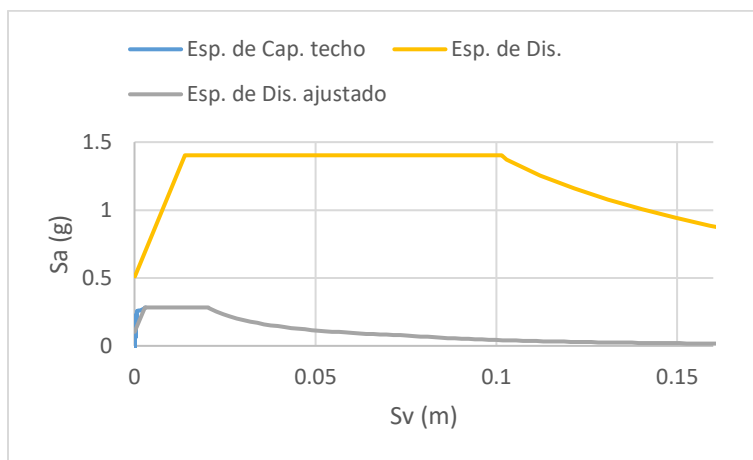


Figura 0-69. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 11 según NCh 2745

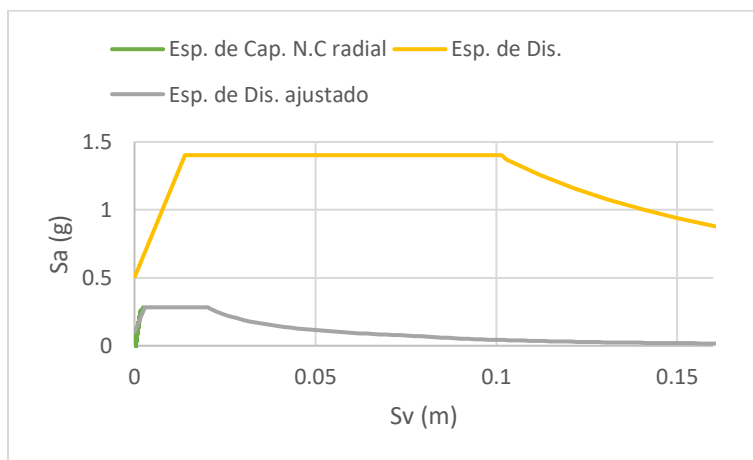


Figura 0-70. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 11 según NCh 2745

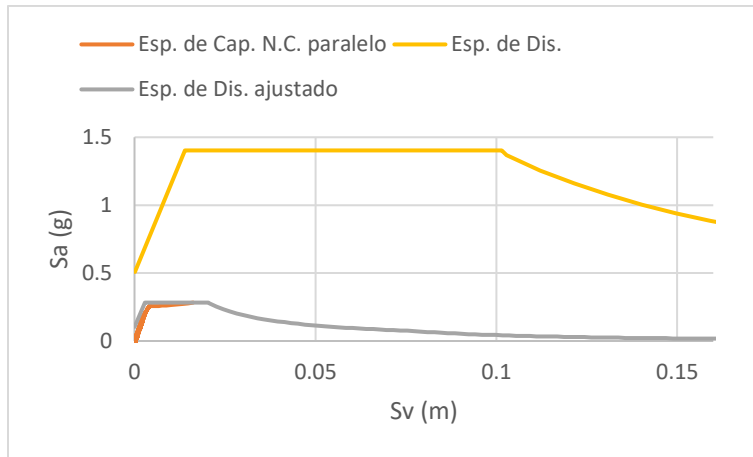


Figura 0-71. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 11 según NCh 2745

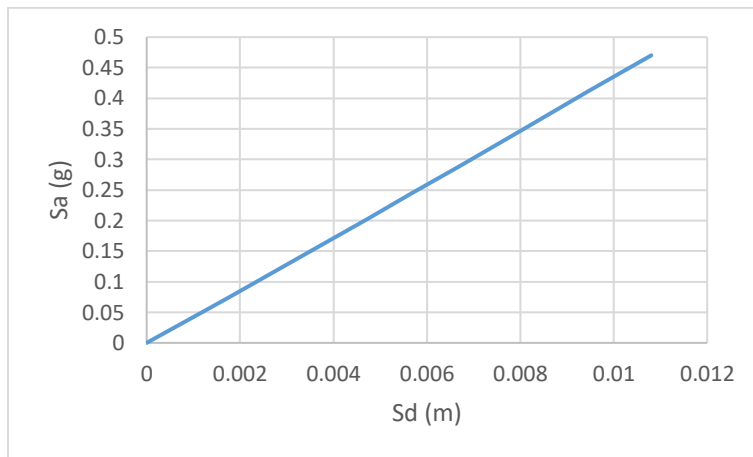


Figura 0-72. Espectro de capacidad para el Modelo 11 según método teórico

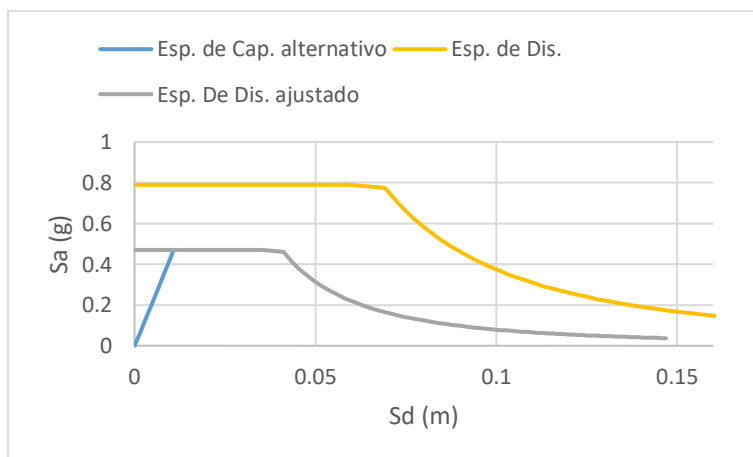


Figura 0-73. Punto de desempeño para el Modelo 11 según método teórico y NCh 2369



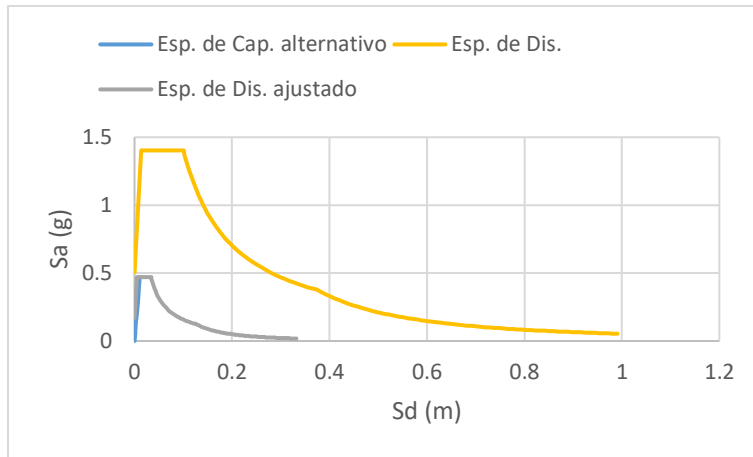


Figura 0-74. Punto de desempeño para el Modelo 11 según método teórico y NCh 2745

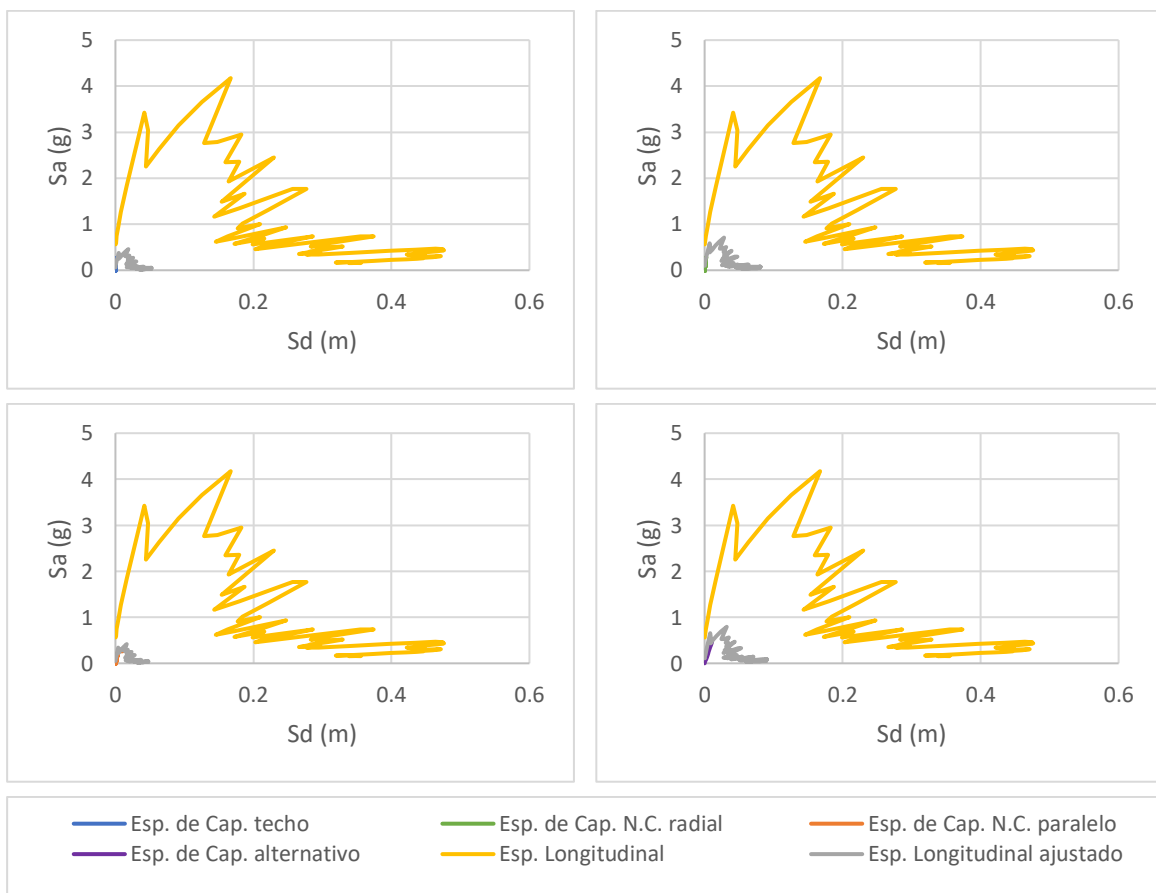


Figura 0-75. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 11

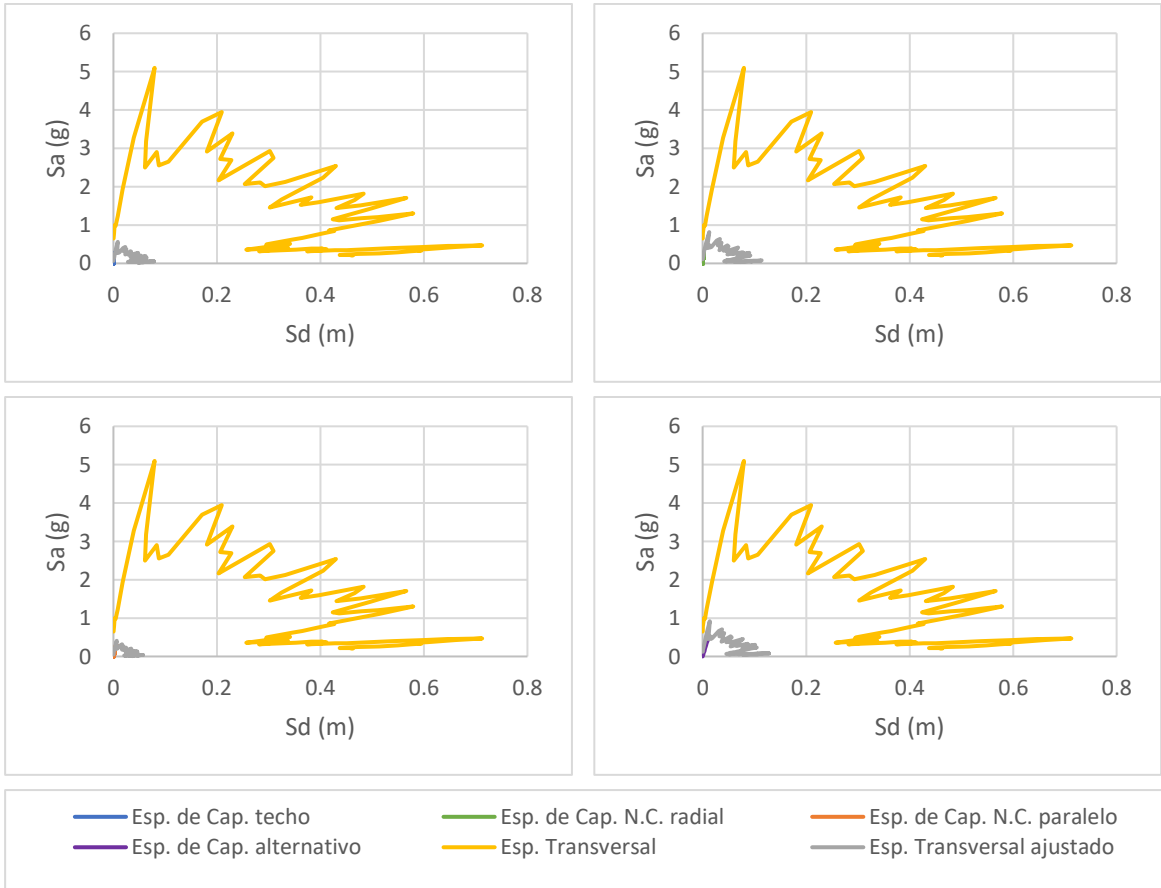


Figura 0-76. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 11

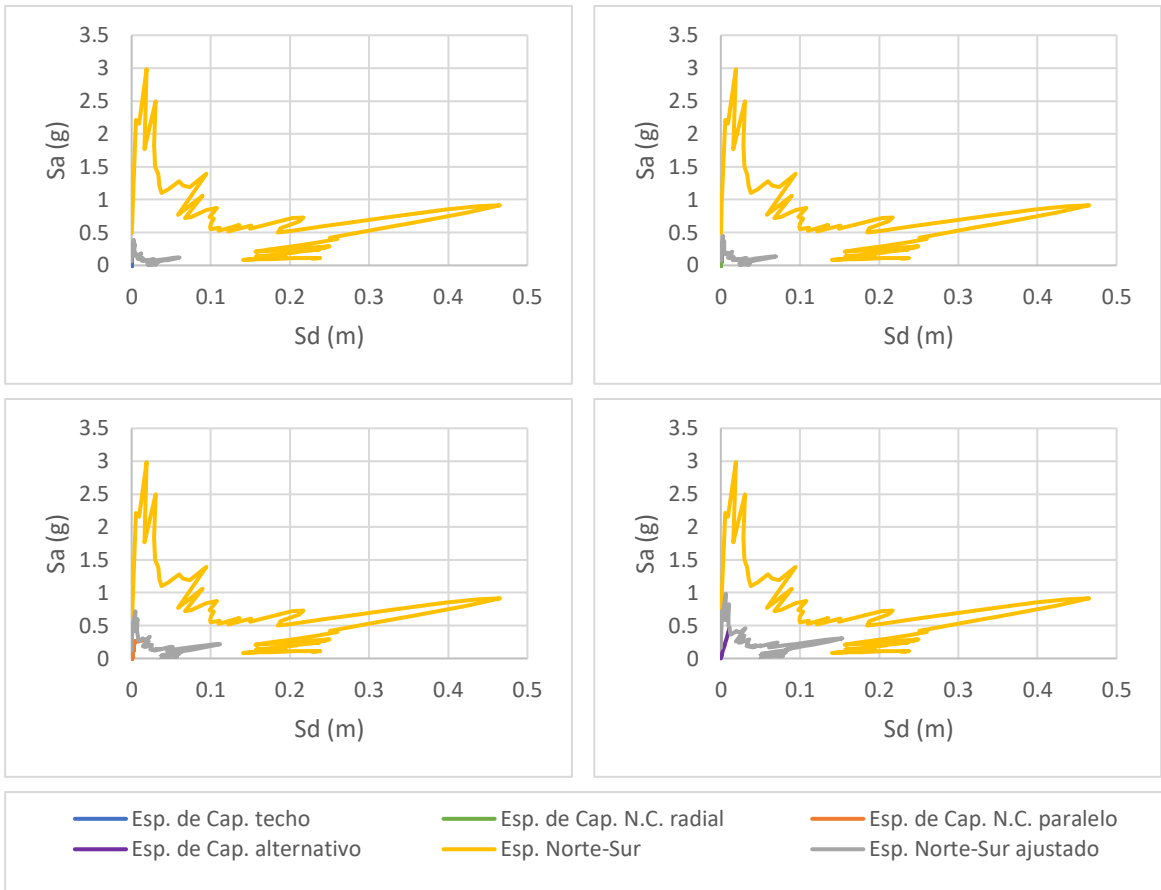


Figura 0-77. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 11

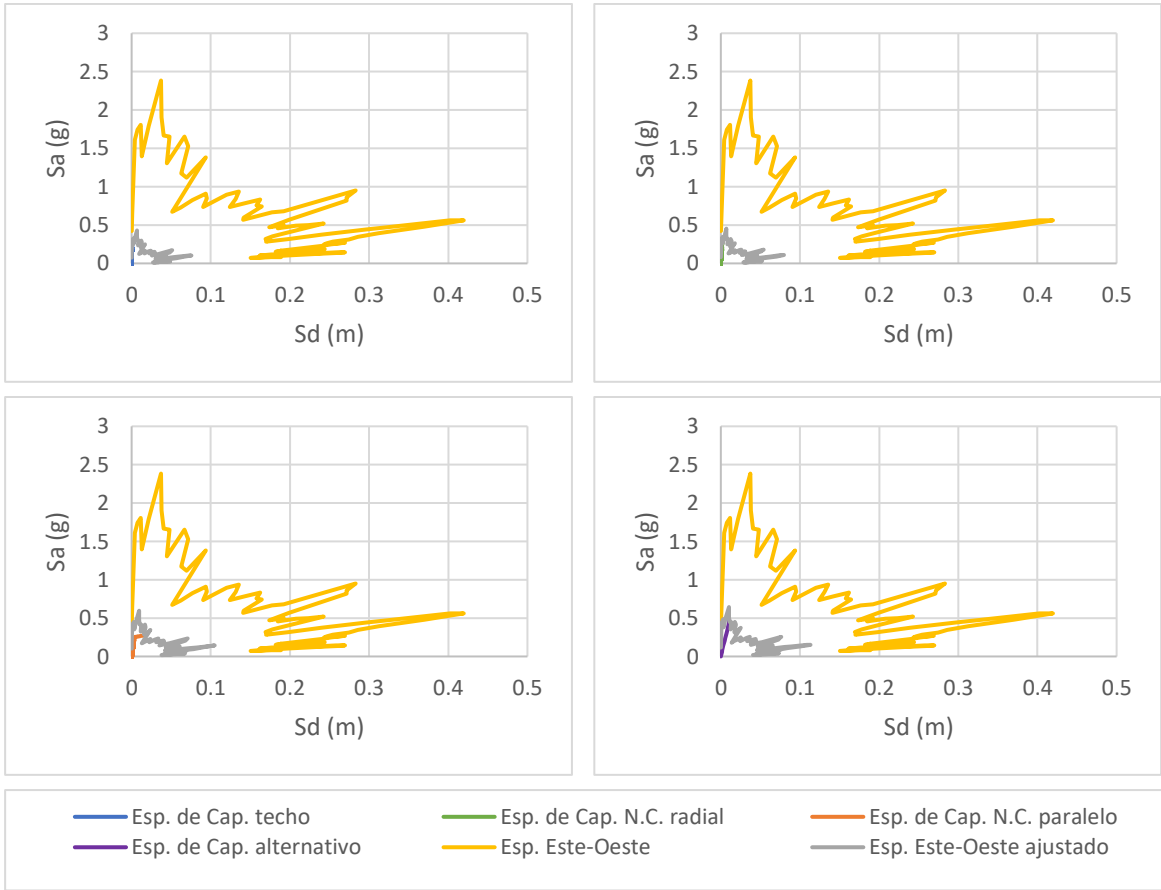


Figura 0-78. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 11

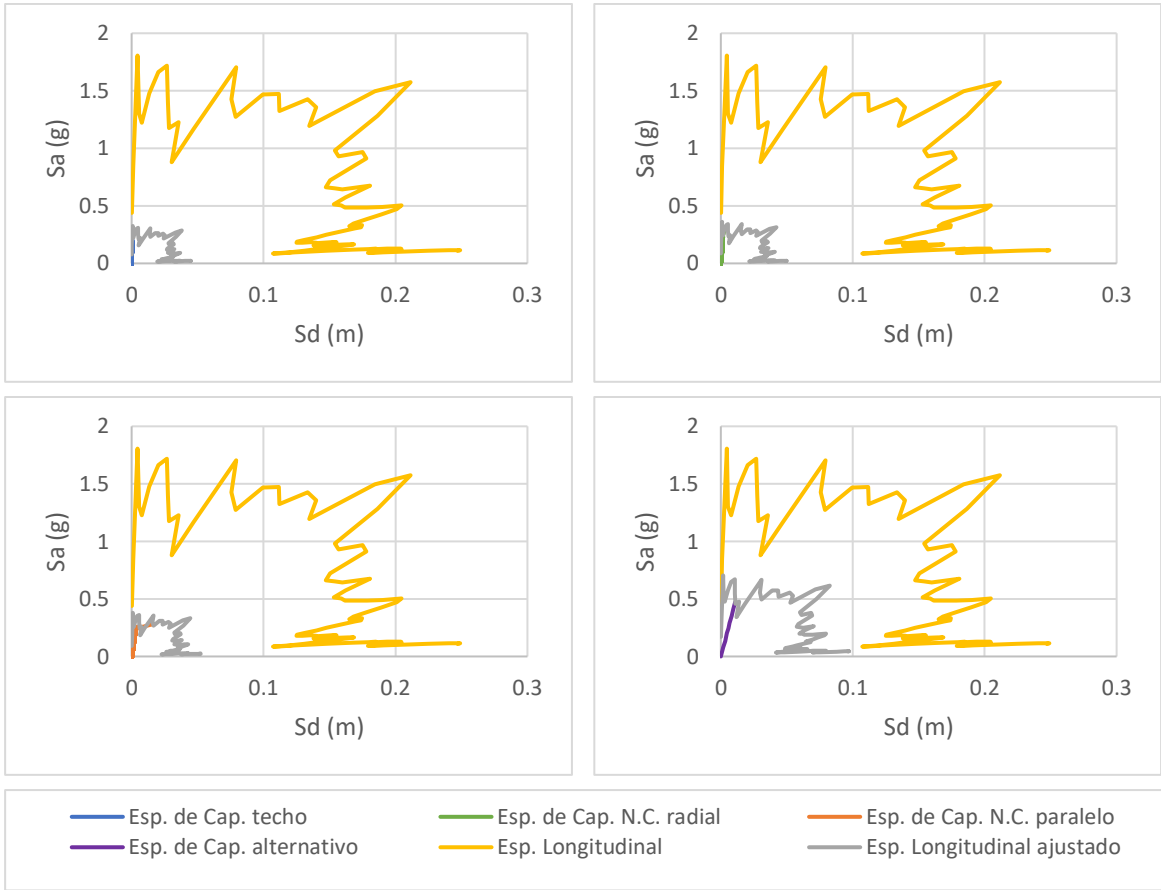


Figura 0-79. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 11

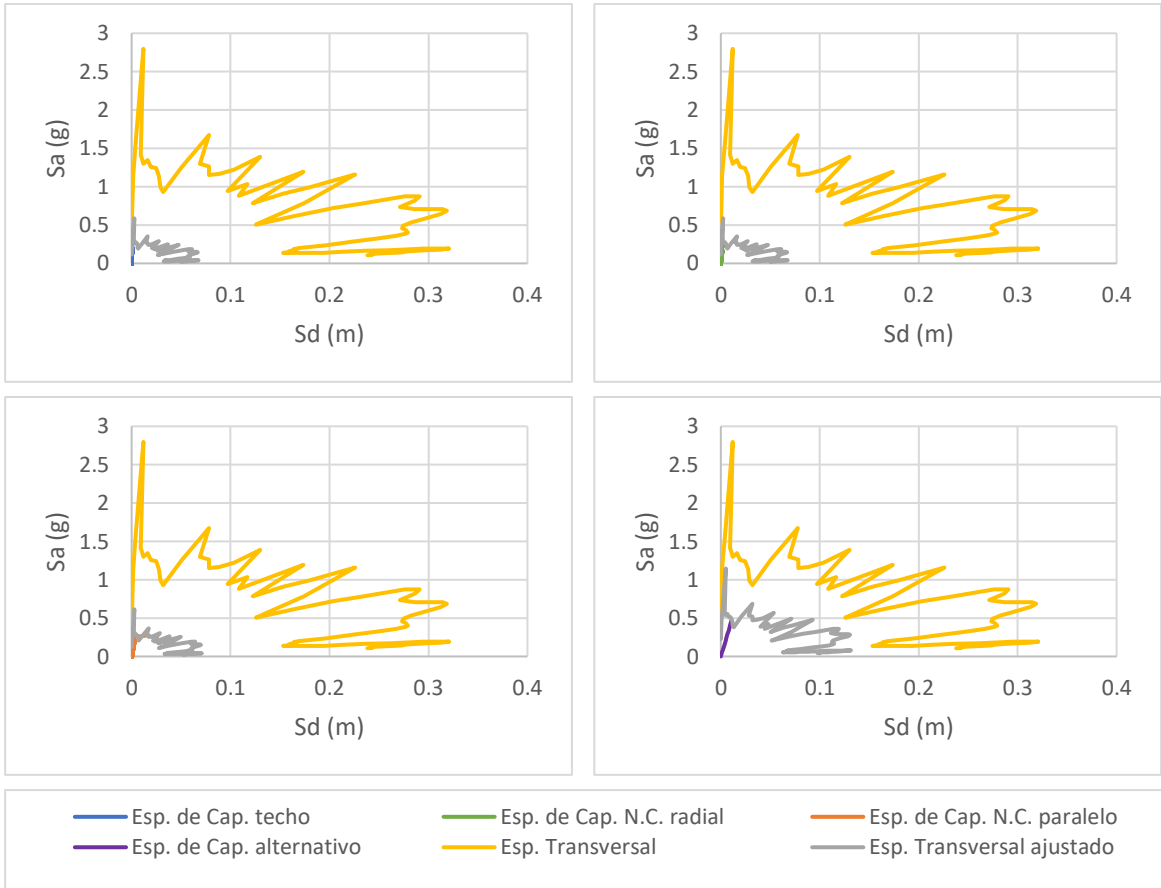


Figura 0-80. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 11

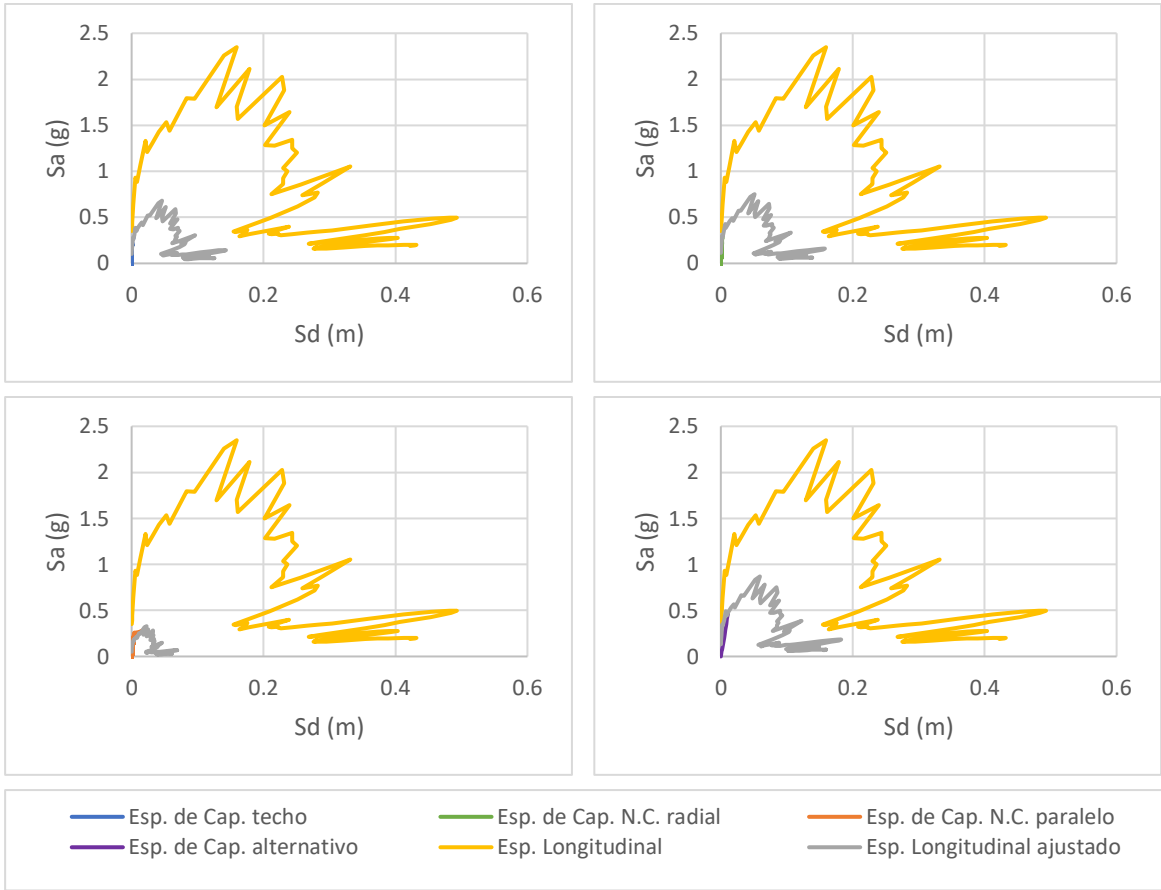


Figura 0-81. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 11

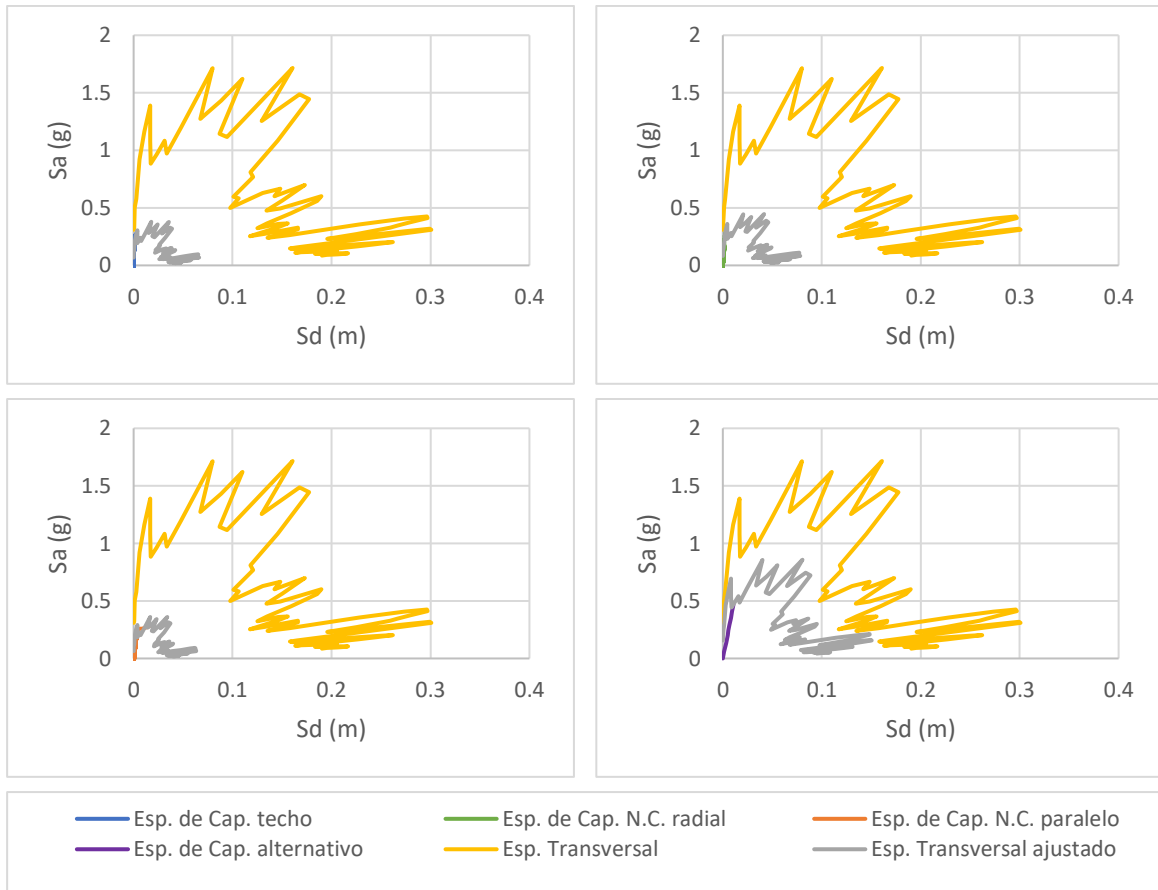


Figura 0-82. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 11



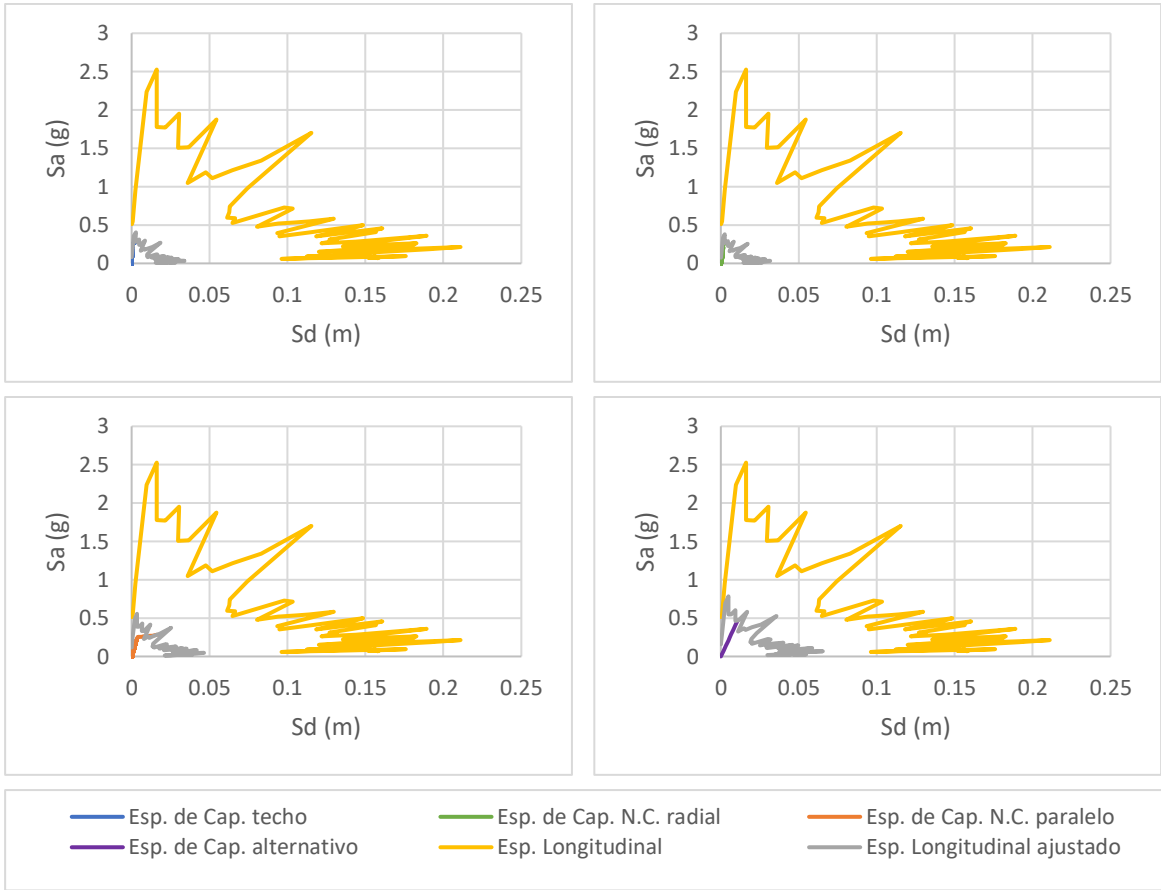


Figura 0-83. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 11

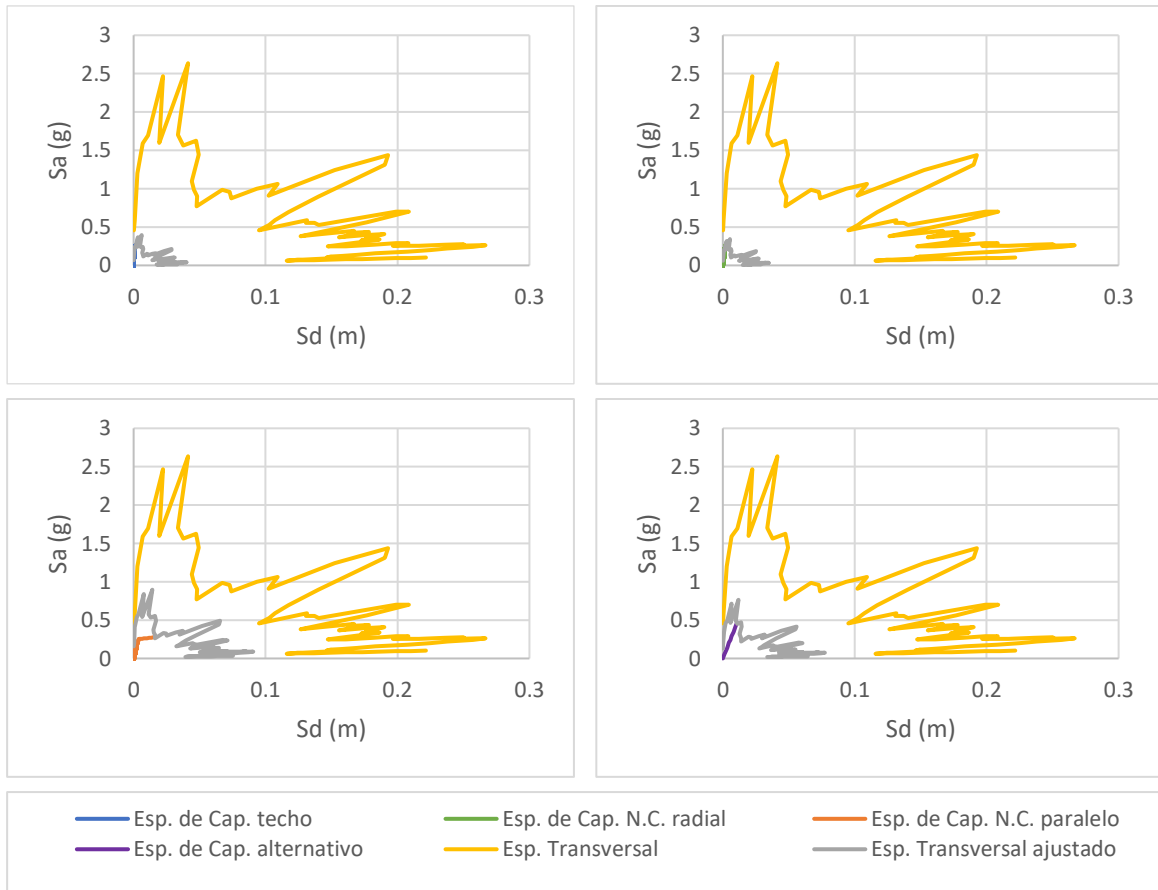


Figura 0-84. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 11

## Anexo A.4

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 16 utilizados para los análisis del presente estudio.

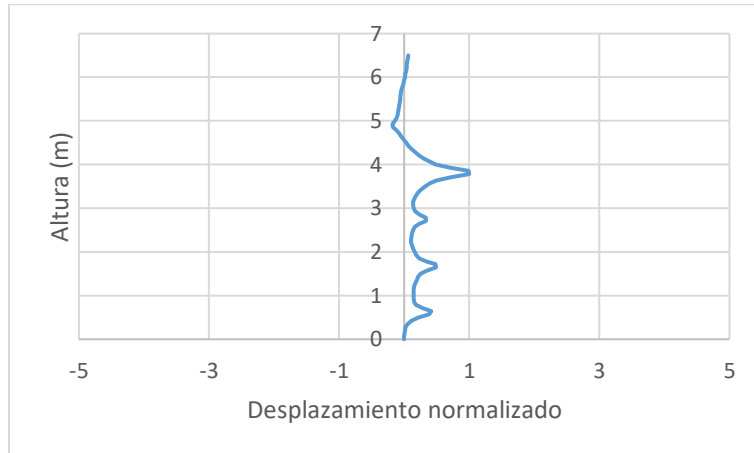


Figura 0-85. Forma modal del Modelo 16

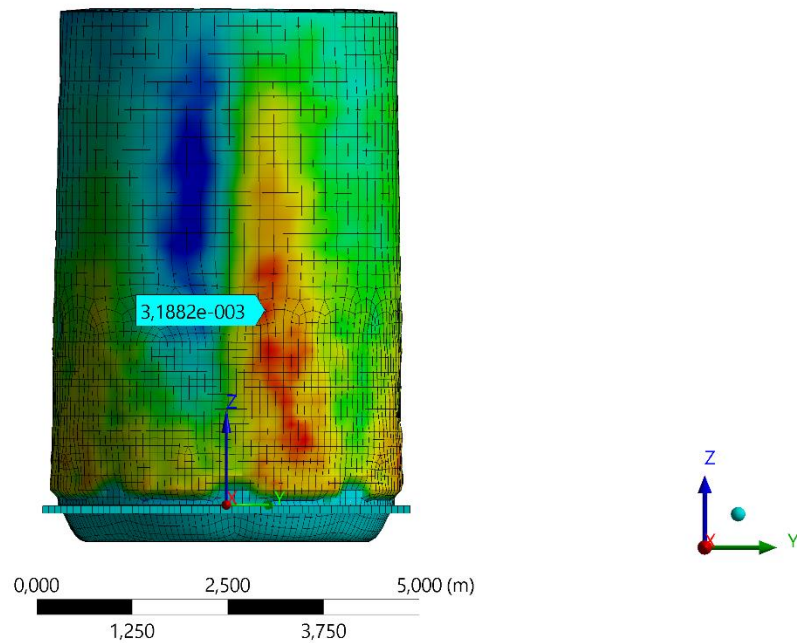


Figura 0-86. Nodo crítico del Modelo 16

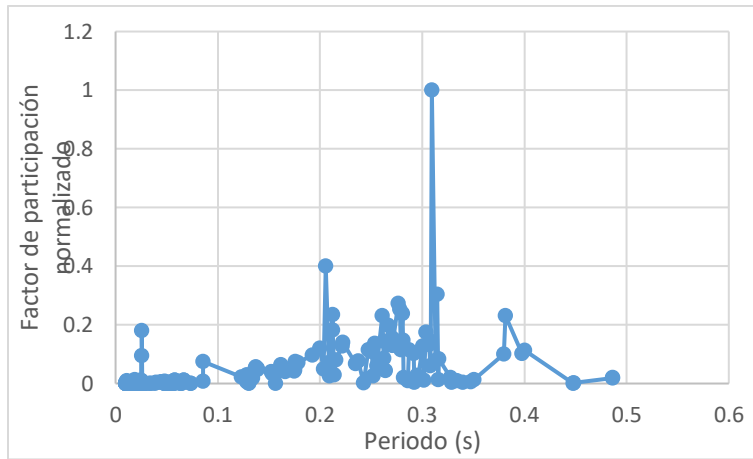


Figura 0-87. Factor de participación normalizado del Modelo 16

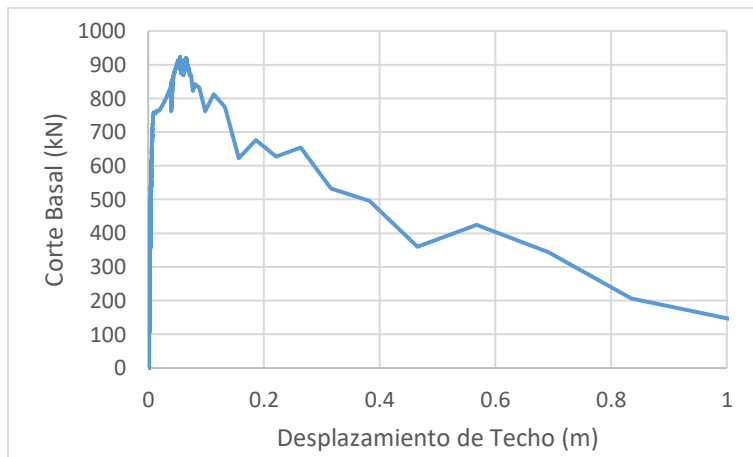


Figura 0-88. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 16

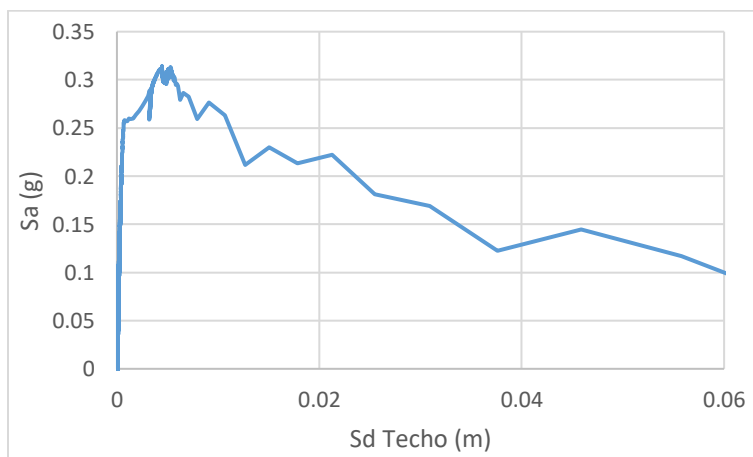


Figura 0-89. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 16

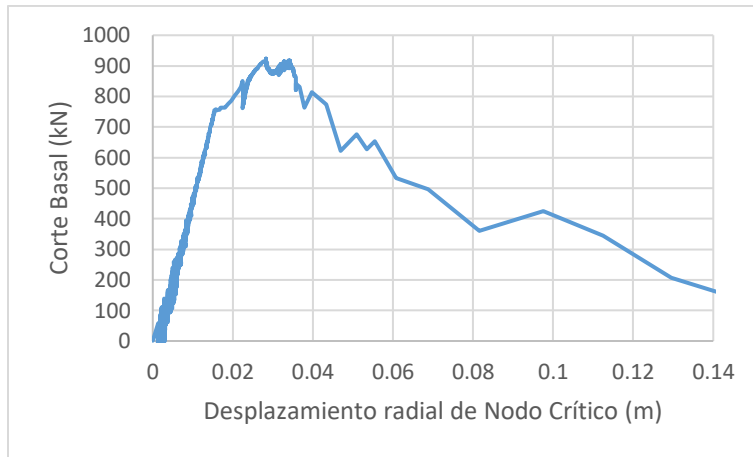


Figura 0-90. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 16

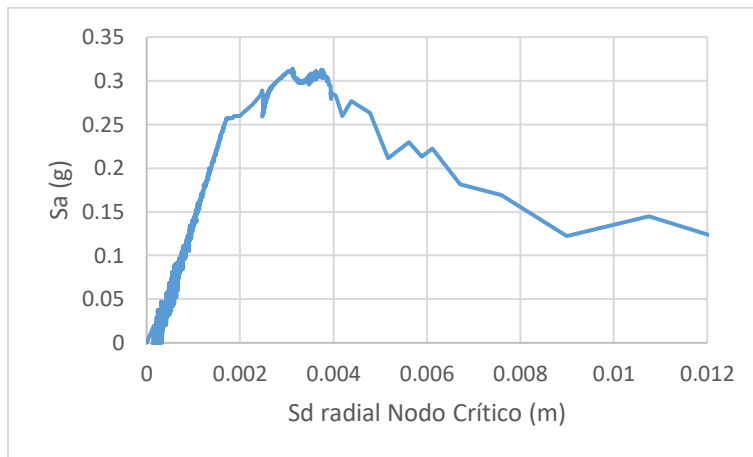


Figura 0-91. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 16



Figura 0-92. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 16

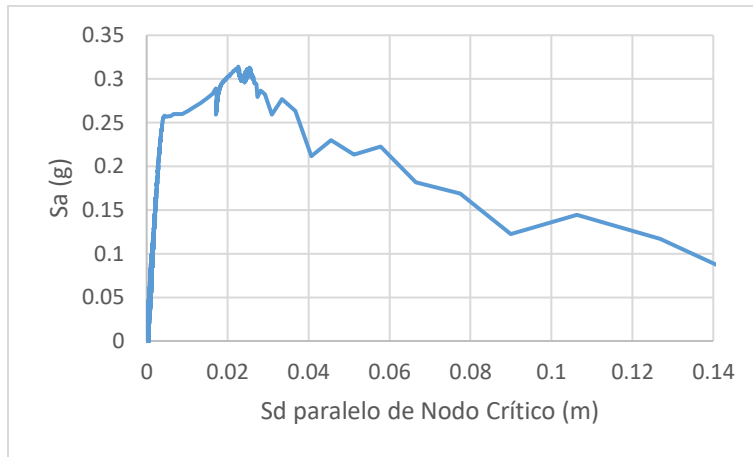


Figura 0-93. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 16

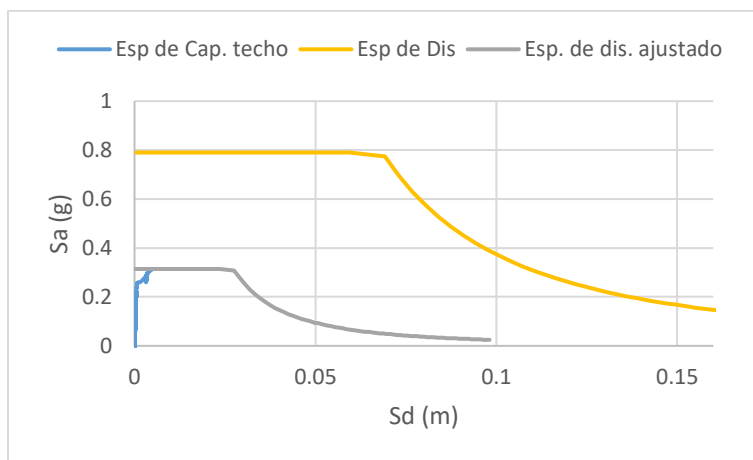


Figura 0-94. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 16 según NCh 2369

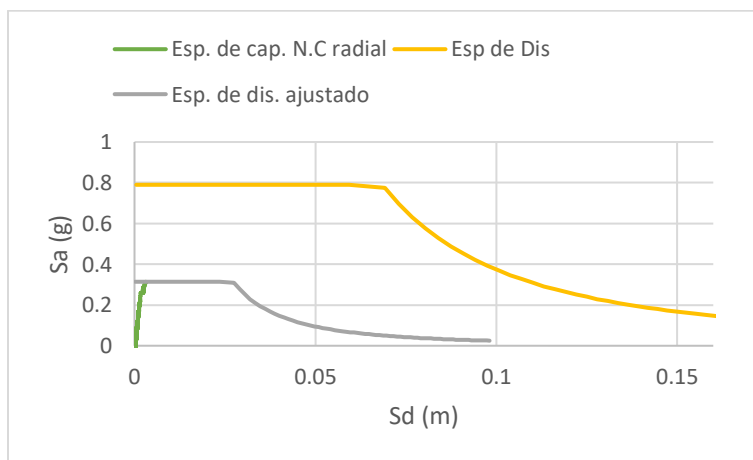


Figura 0-95. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 16 según NCh 2369

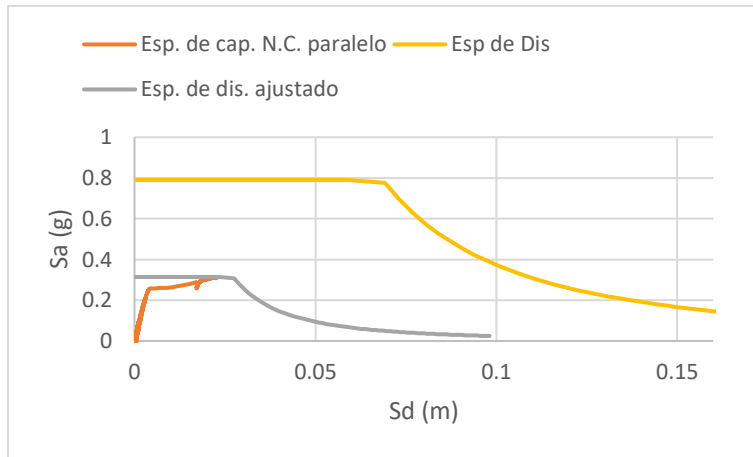


Figura 0-96. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 16 según NCh 2369

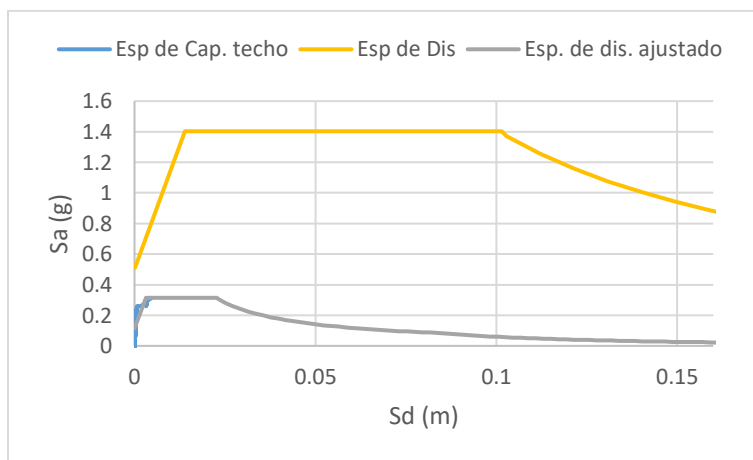


Figura 0-97. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 16 según NCh 2745

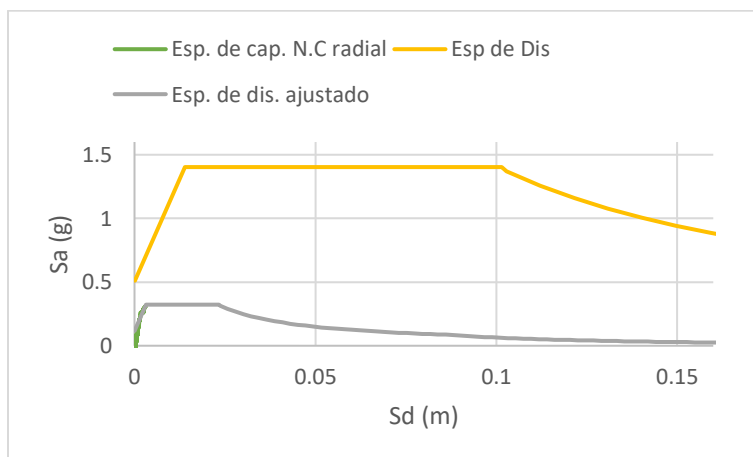


Figura 0-98. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 16 según NCh 2745

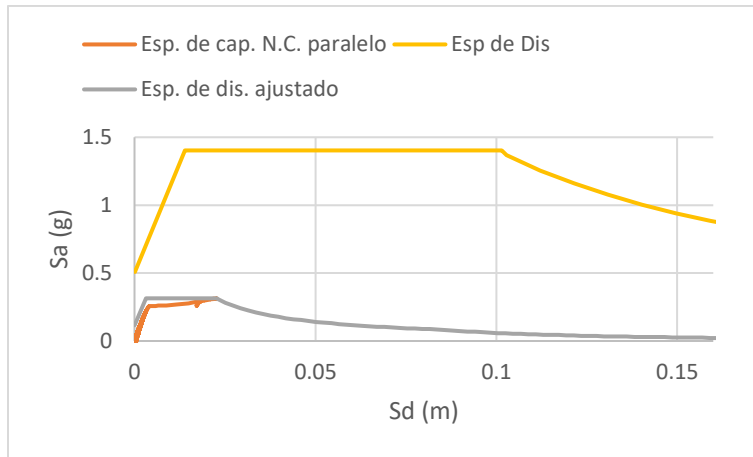


Figura 0-99. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 16 según NCh 2745

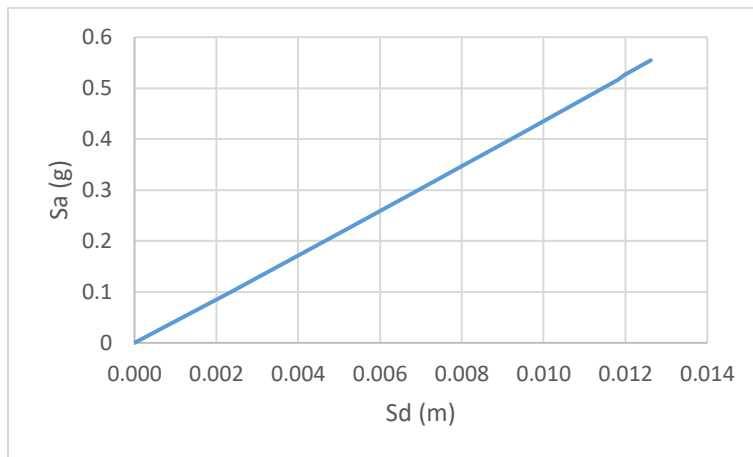


Figura 0-100. Espectro de capacidad para el Modelo 16 según método teórico

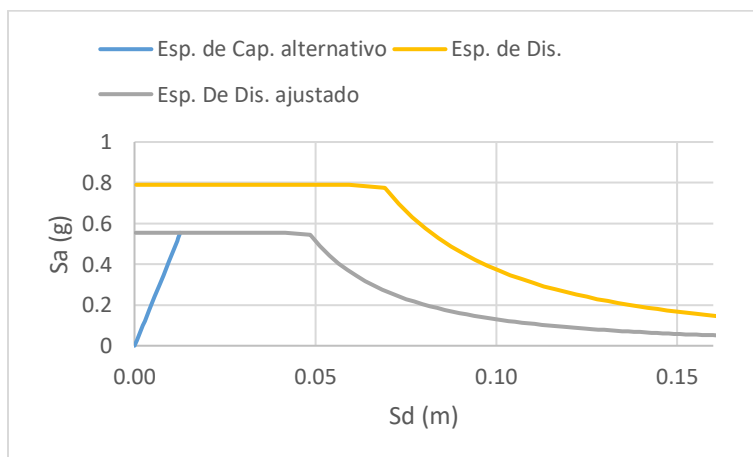


Figura 0-101. Punto de desempeño para el Modelo 16 según método teórico y NCh 2369



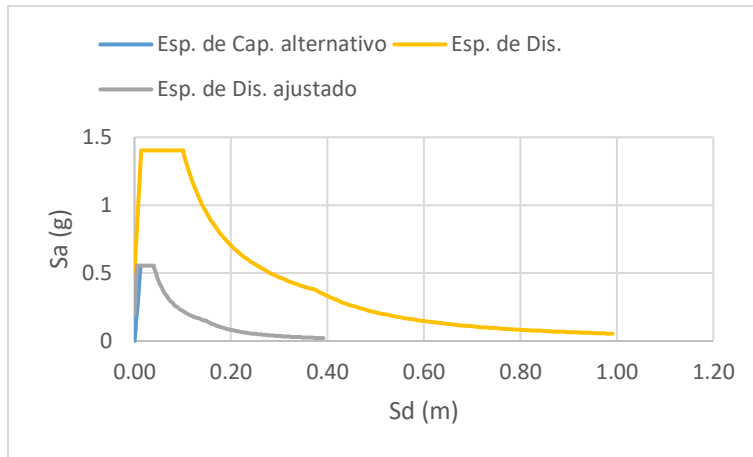


Figura 0-102. Punto de desempeño para el Modelo 16 según método teórico y NCh 2745

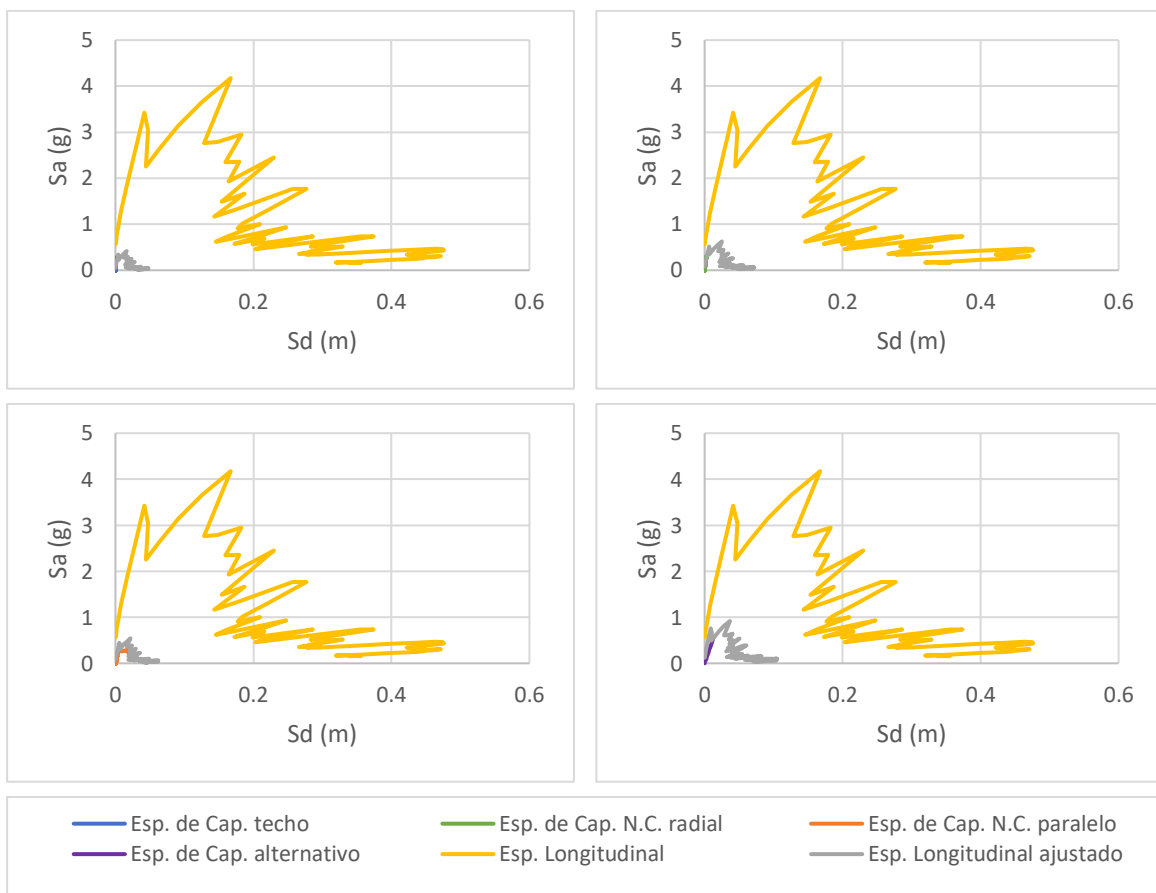


Figura 0-103. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 16

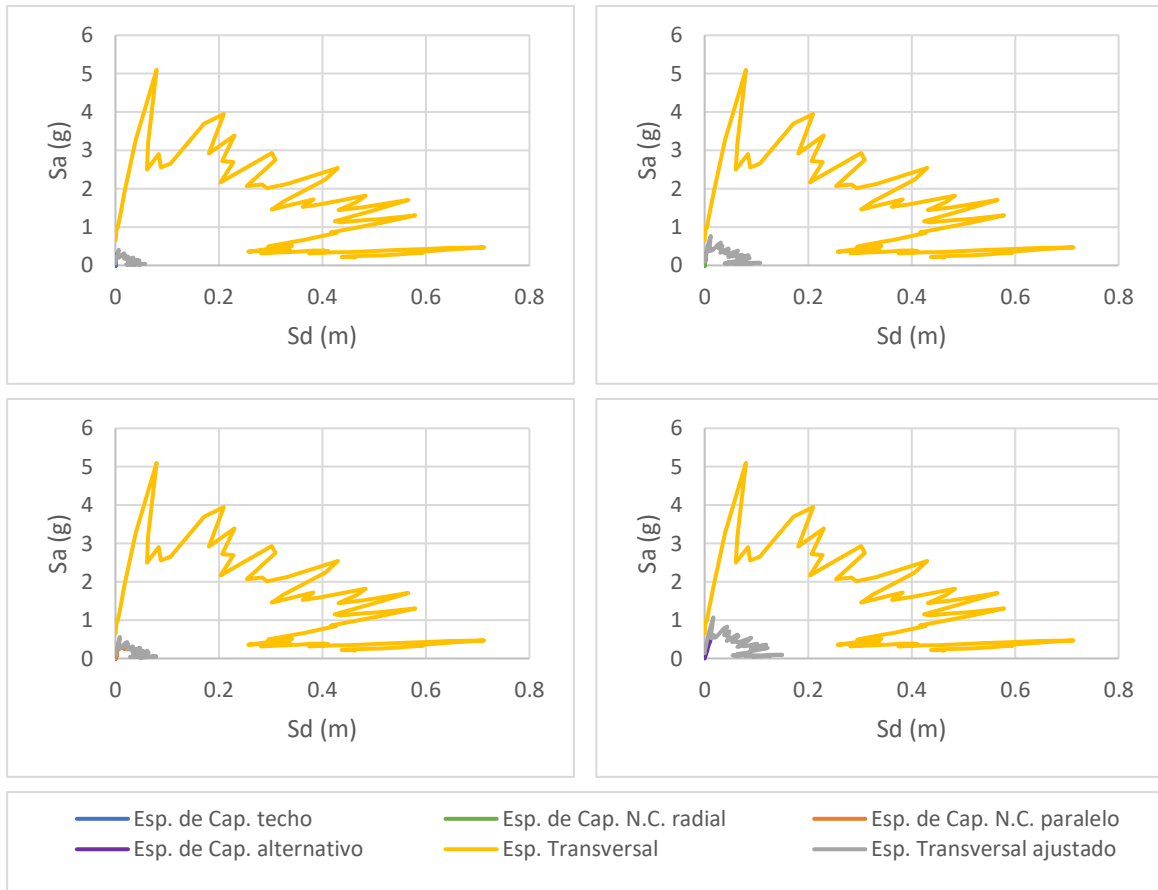


Figura 0-104. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 16

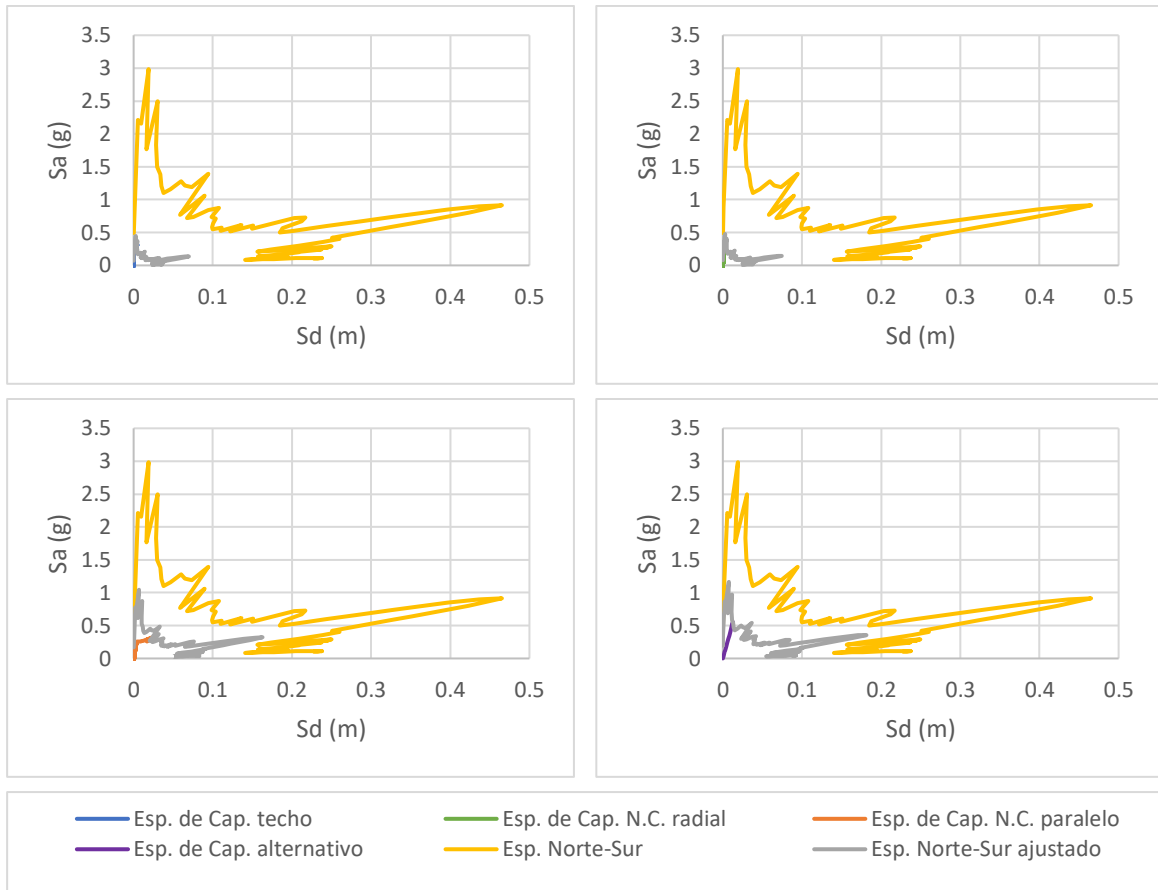


Figura 0-105. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 16

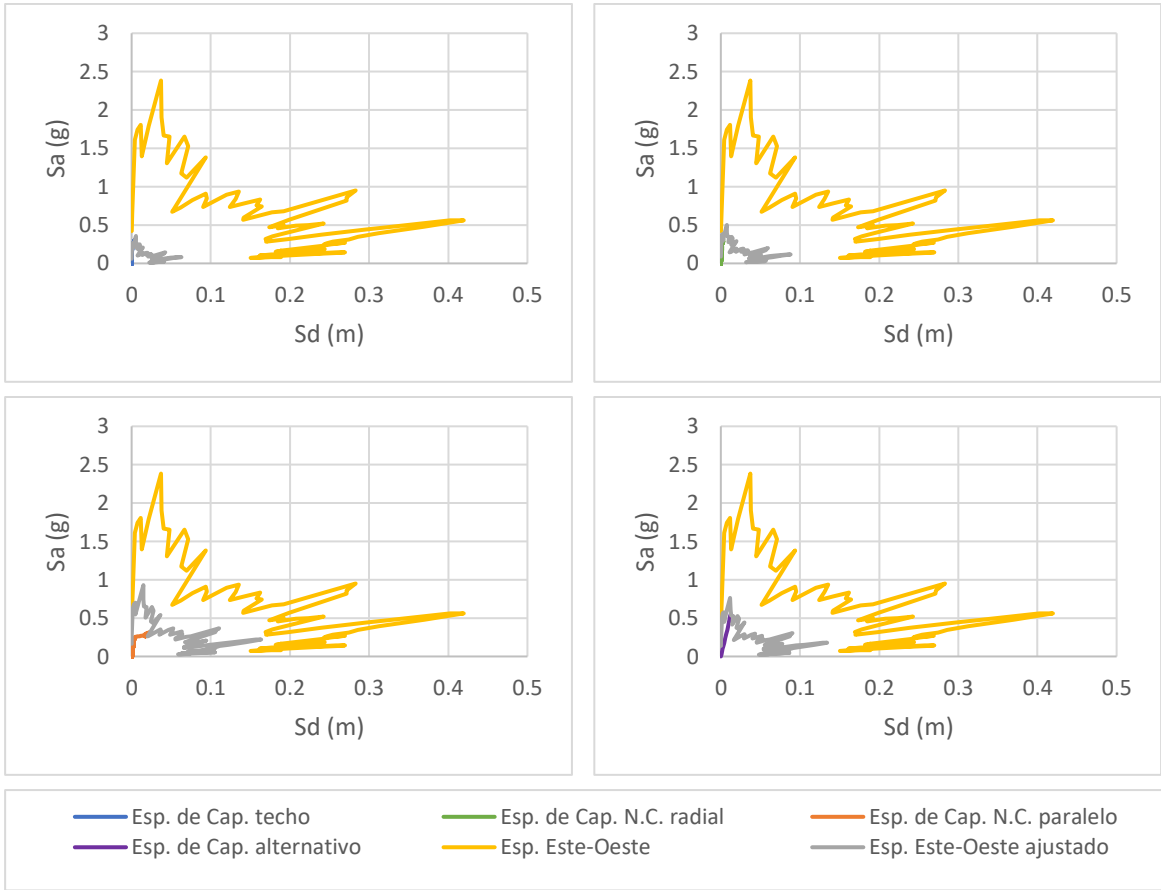


Figura 0-106. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 16

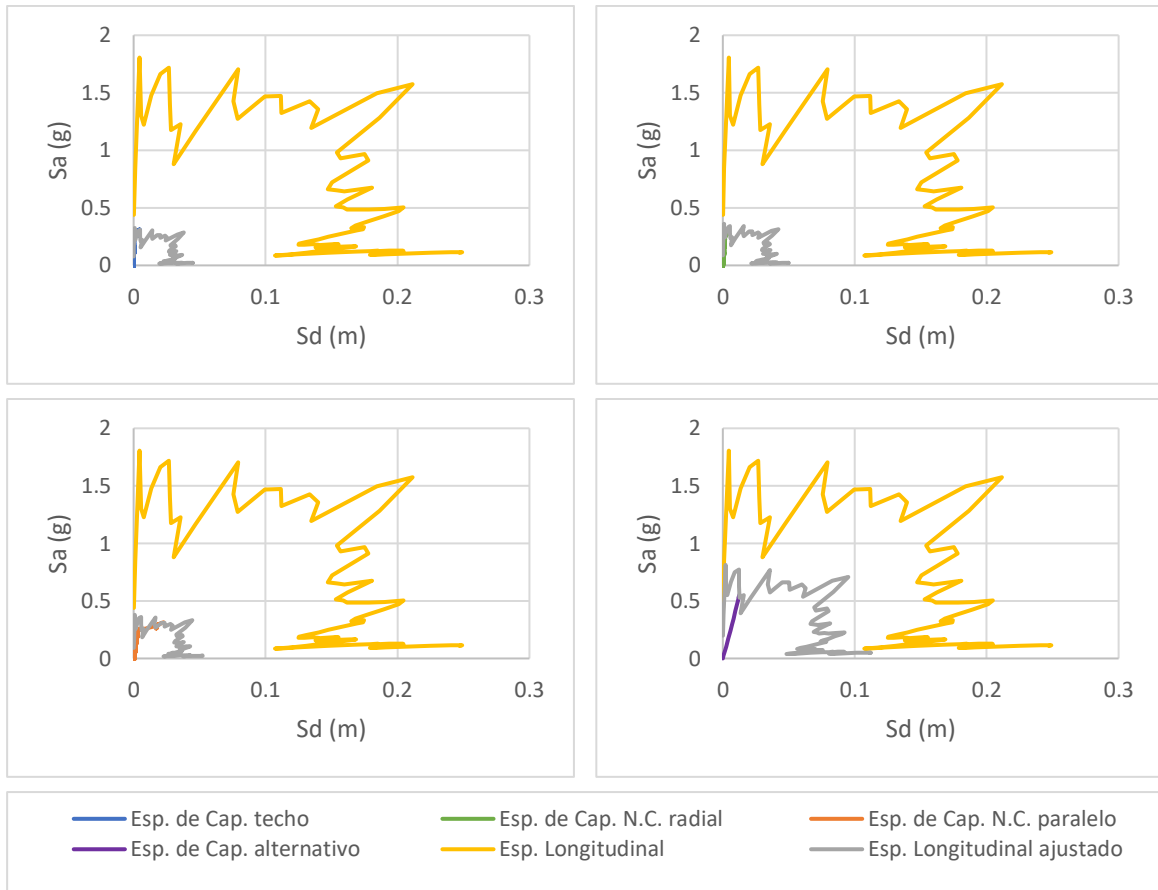


Figura 0-107. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 16

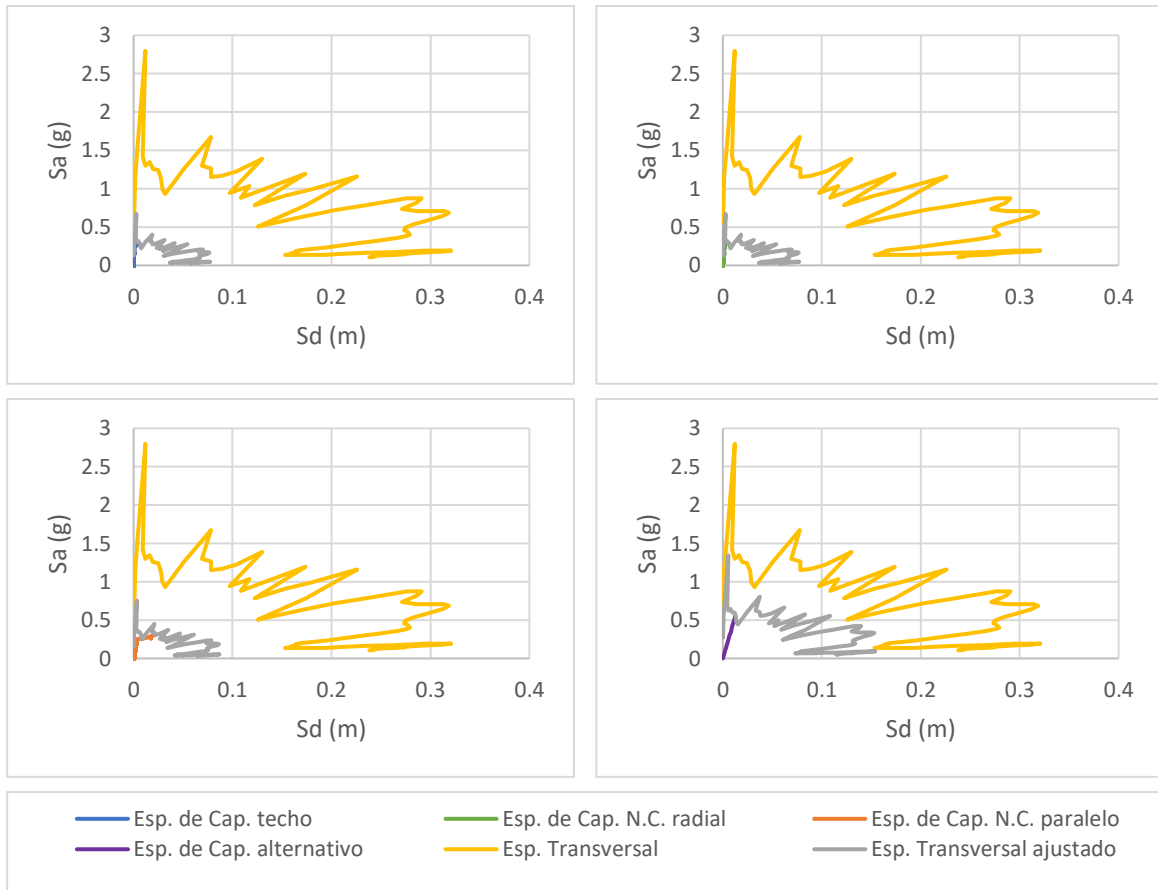


Figura 0-108. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 16

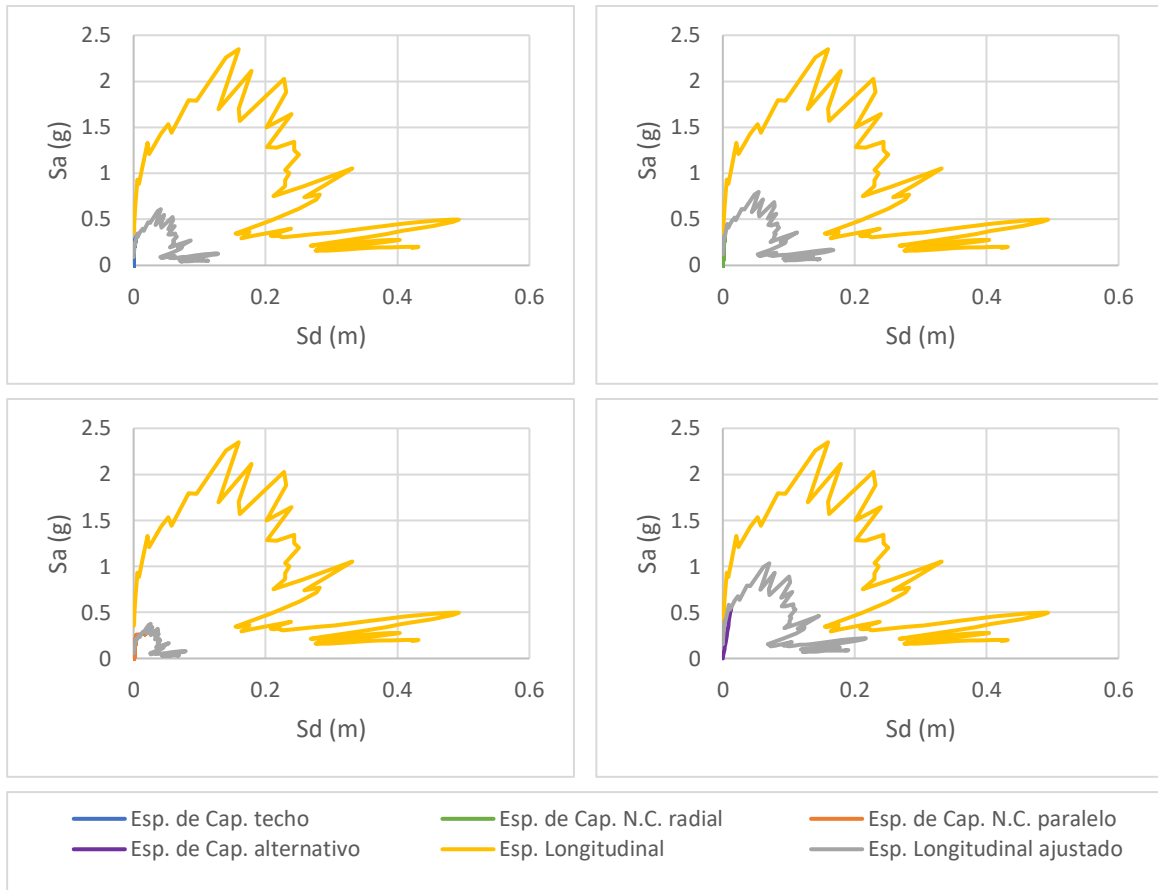


Figura 0-109. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 16

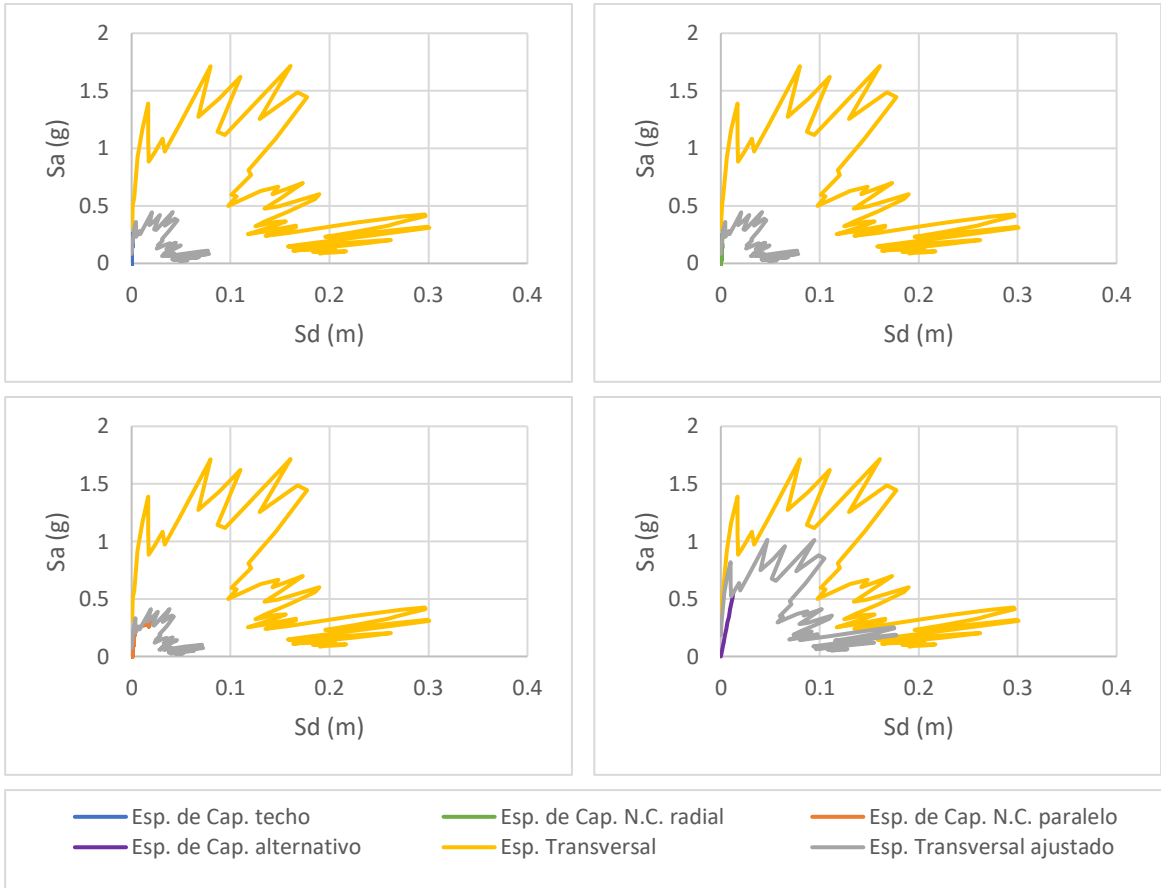


Figura 0-110. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 16



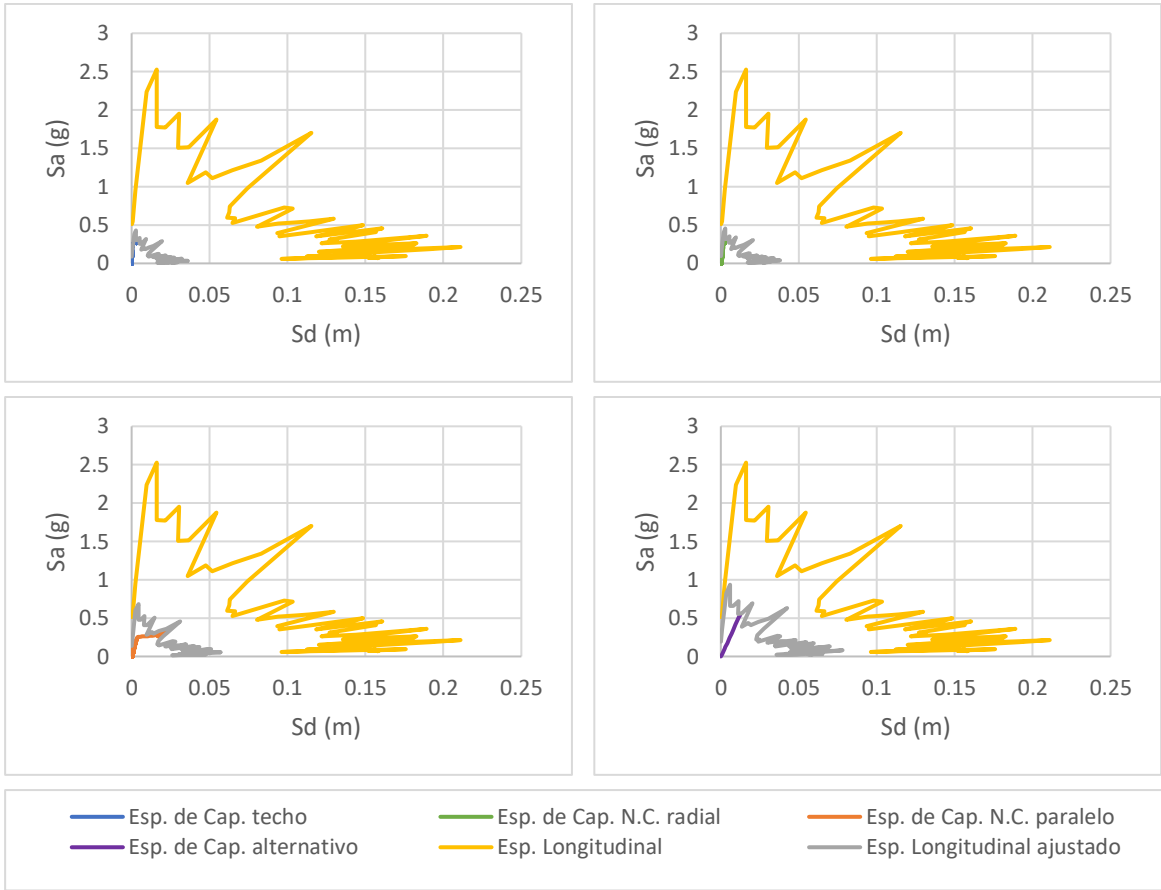


Figura 0-111. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 16

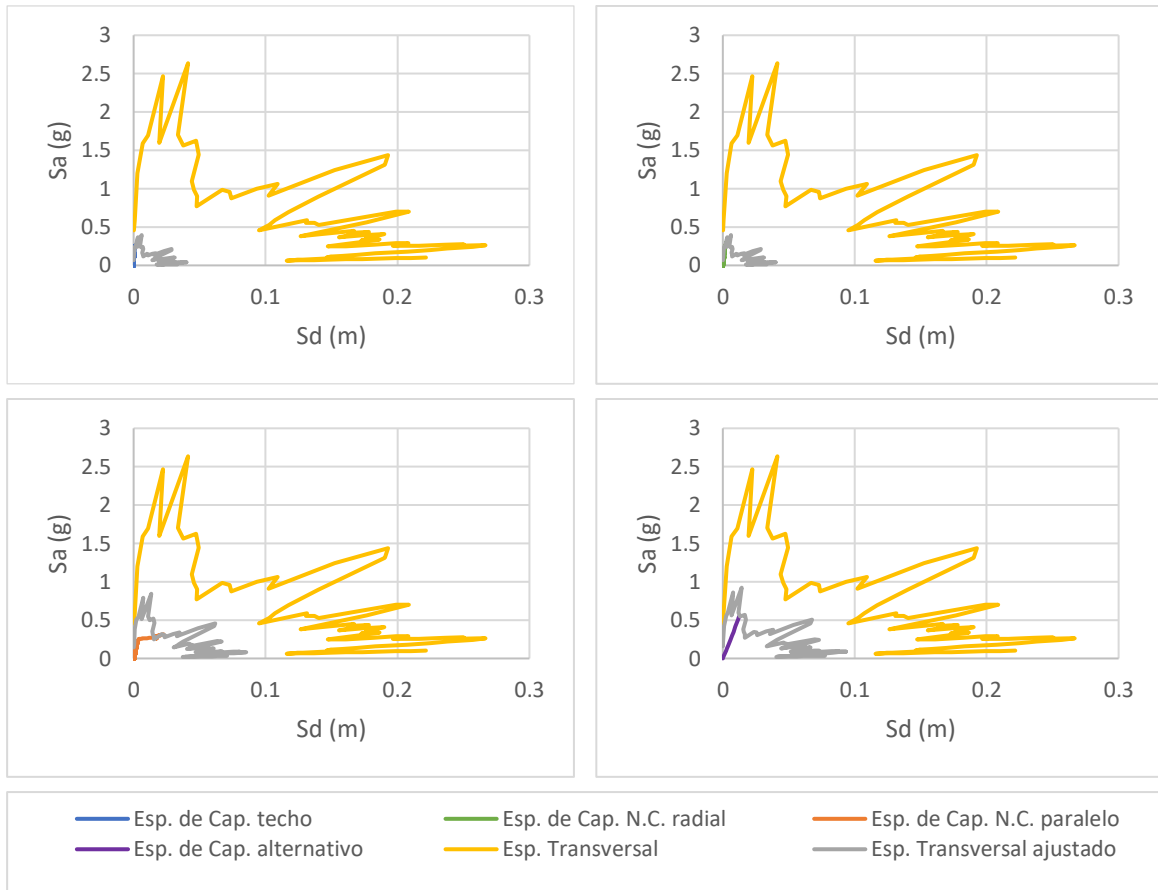


Figura 0-112. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 16

## Anexo A.5

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 17 utilizados para los análisis del presente estudio.

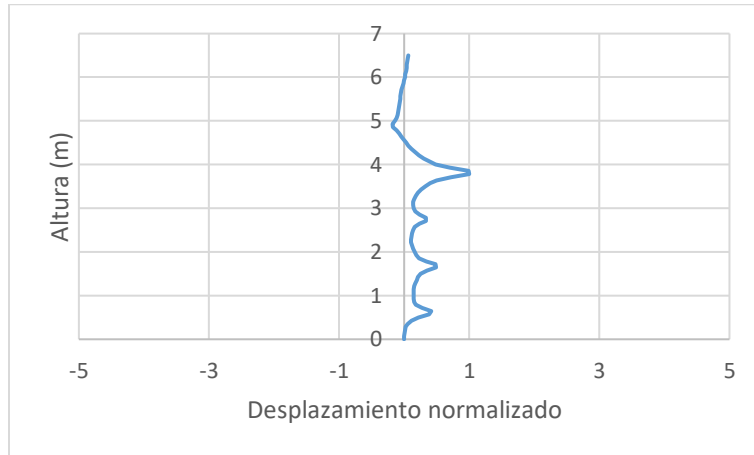


Figura 0-113. Forma modal del Modelo 17

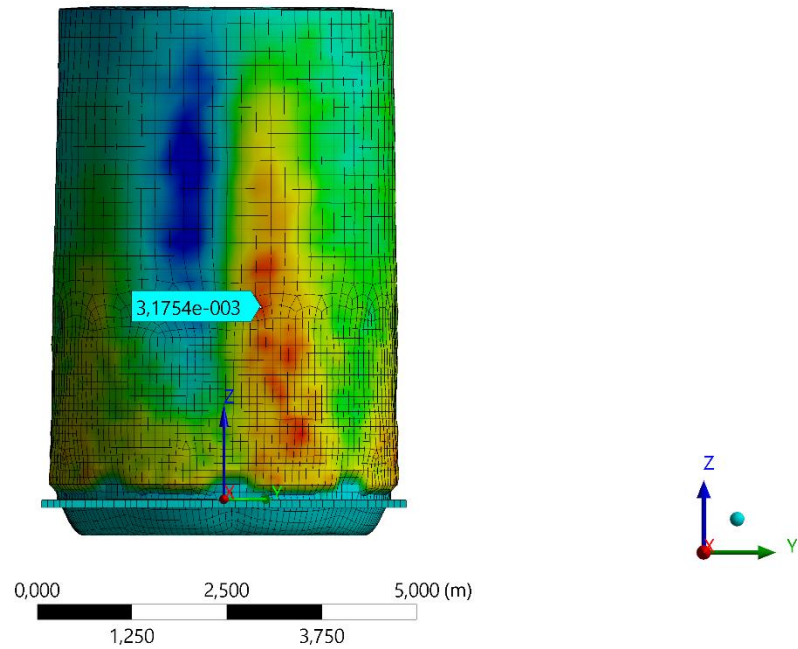


Figura 0-114. Nodo crítico del Modelo 17

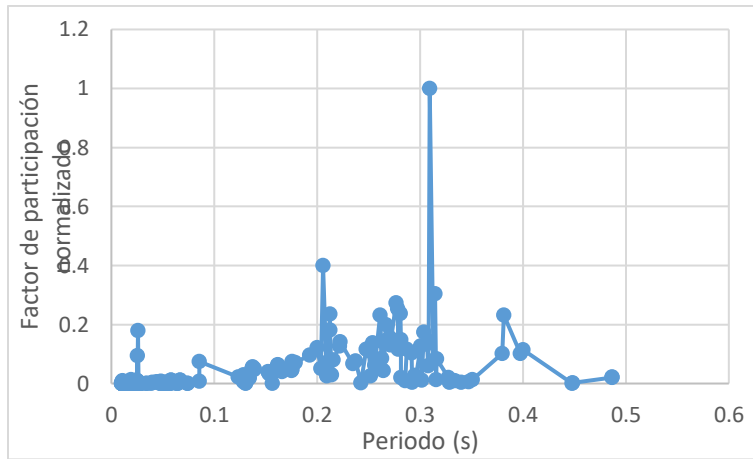


Figura 0-115. Factor de participación normalizado del Modelo 17

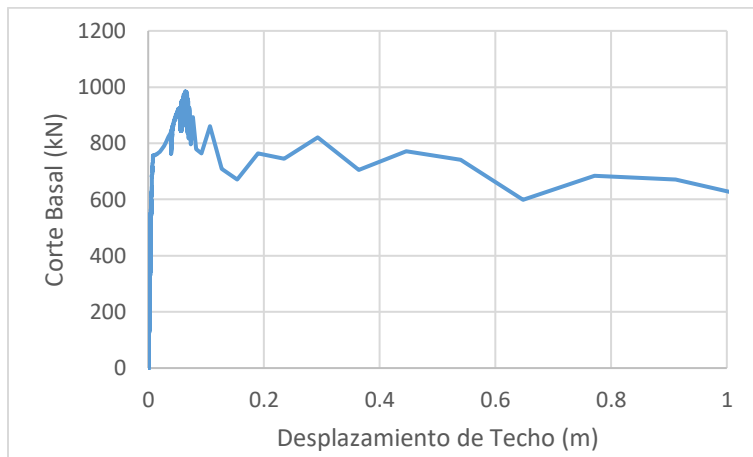


Figura 0-116. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 17

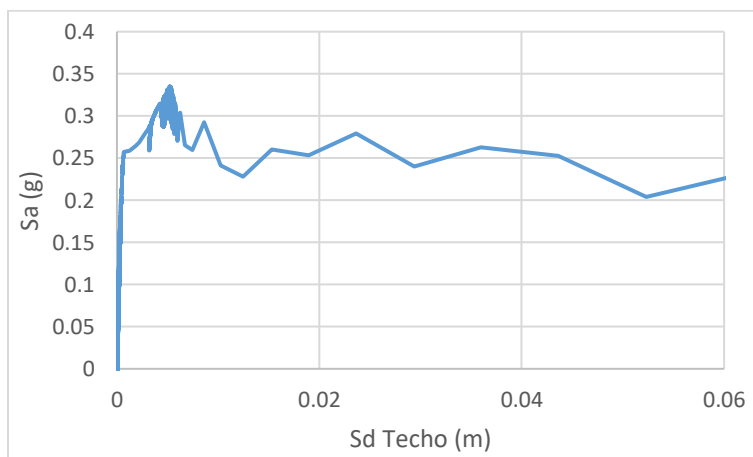


Figura 0-117. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 17

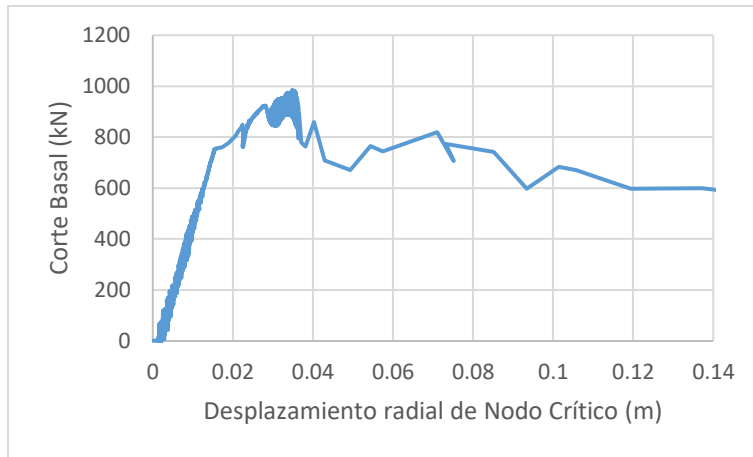


Figura 0-118. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 17

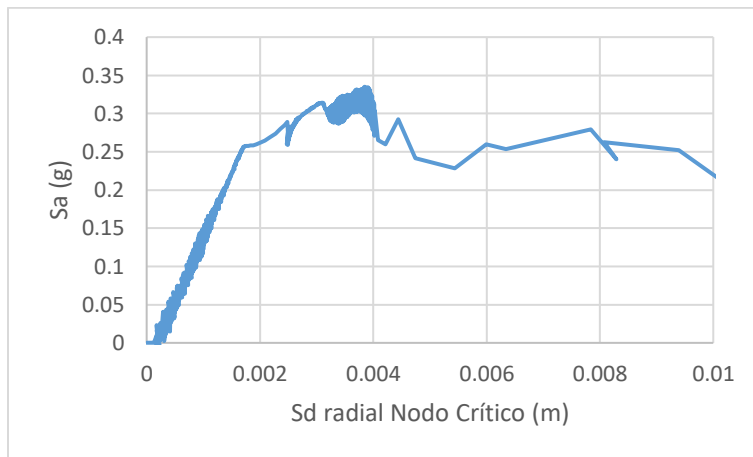


Figura 0-119. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 17

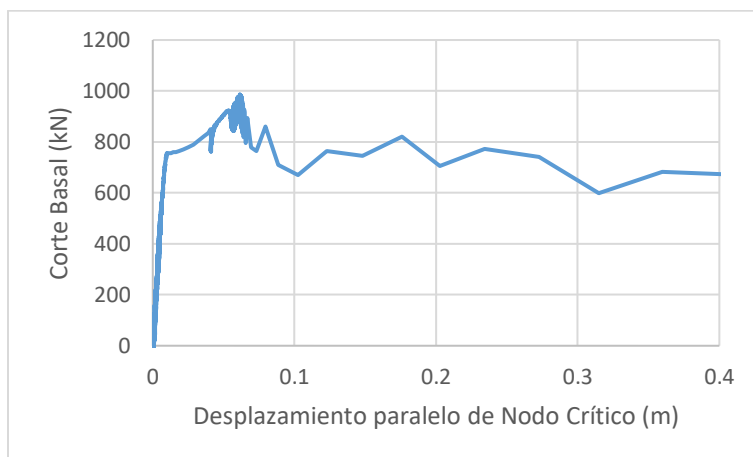


Figura 0-120. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 17

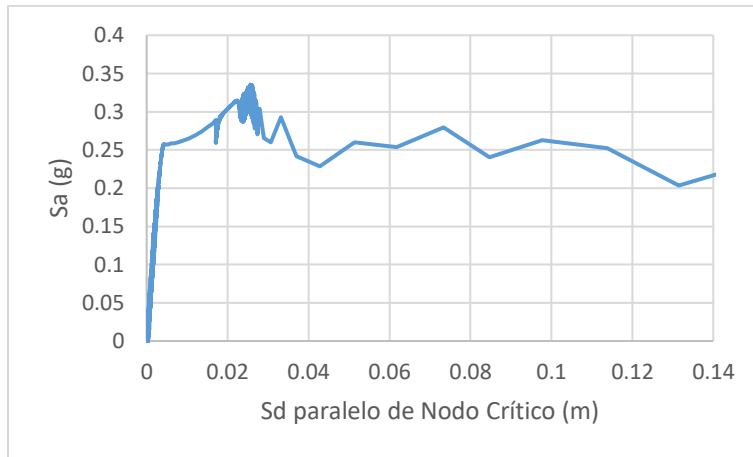


Figura 0-121. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 17

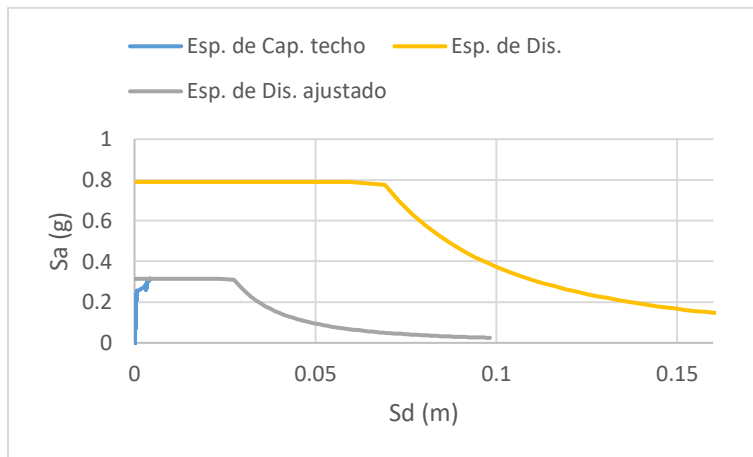


Figura 0-122. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 17 según NCh 2369

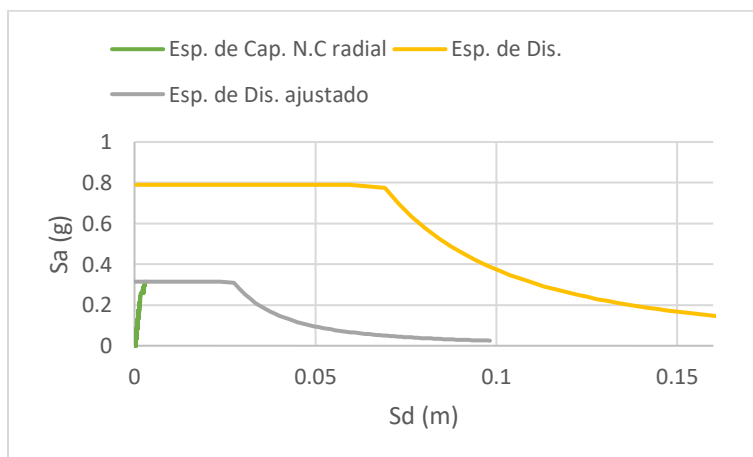


Figura 0-123. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 17 según NCh 2369

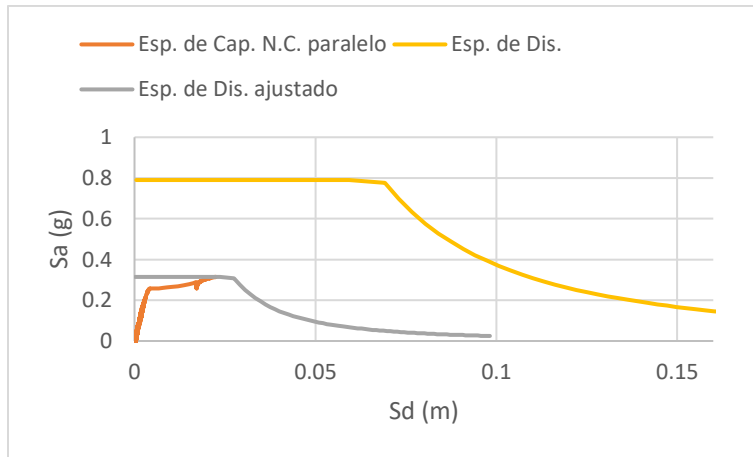


Figura 0-124. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 17 según NCh 2369

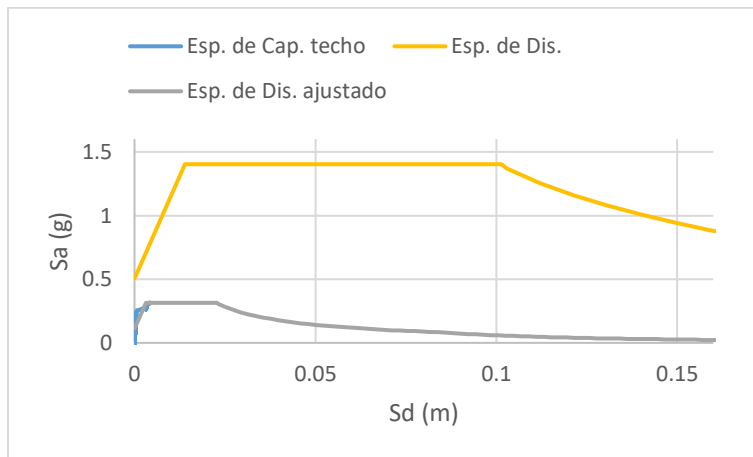


Figura 0-125. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 17 según NCh 2745

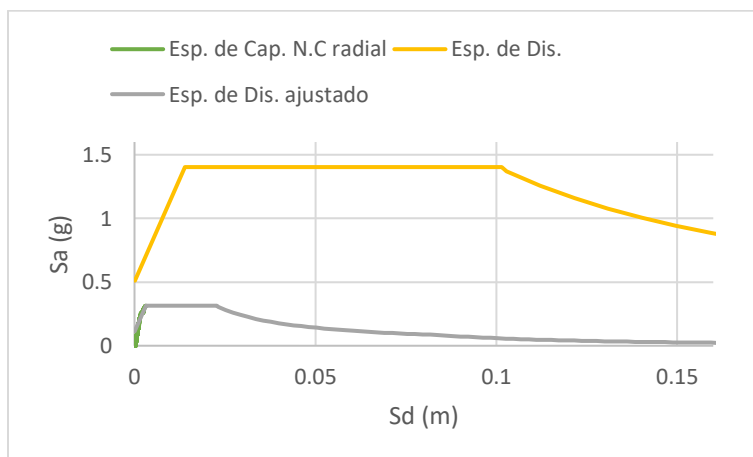


Figura 0-126. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 17 según NCh 2745

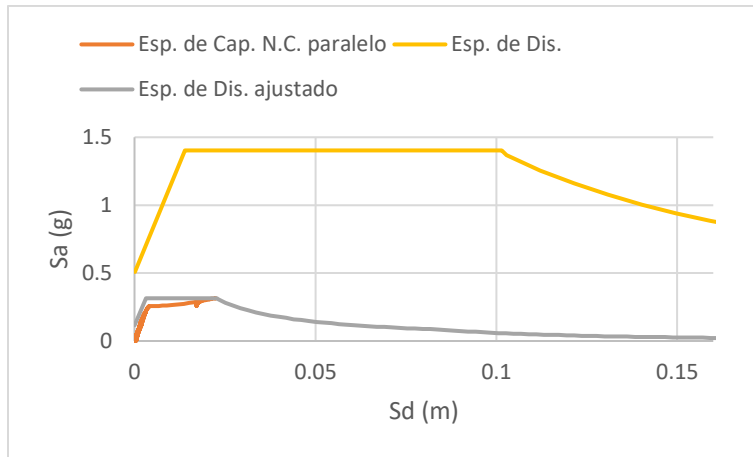


Figura 0-127. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 17 según NCh 2745

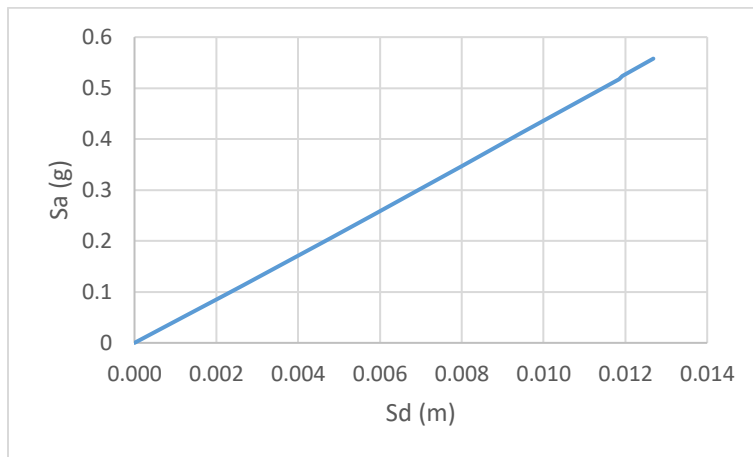


Figura 0-128. Espectro de capacidad para el Modelo 17 según método teórico

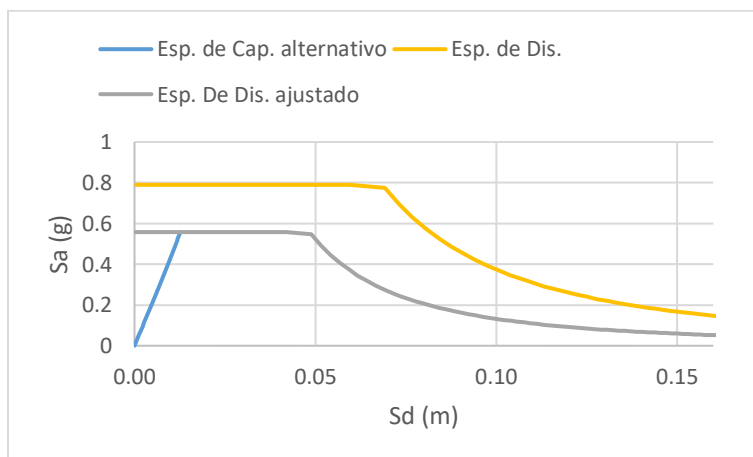


Figura 0-129. Punto de desempeño para el Modelo 17 según método teórico y NCh 2369



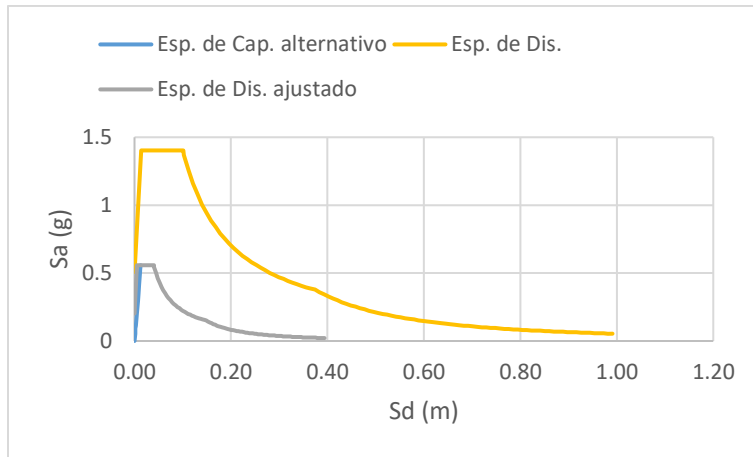


Figura 0-130. Punto de desempeño para el Modelo 17 según método teórico y NCh 2745

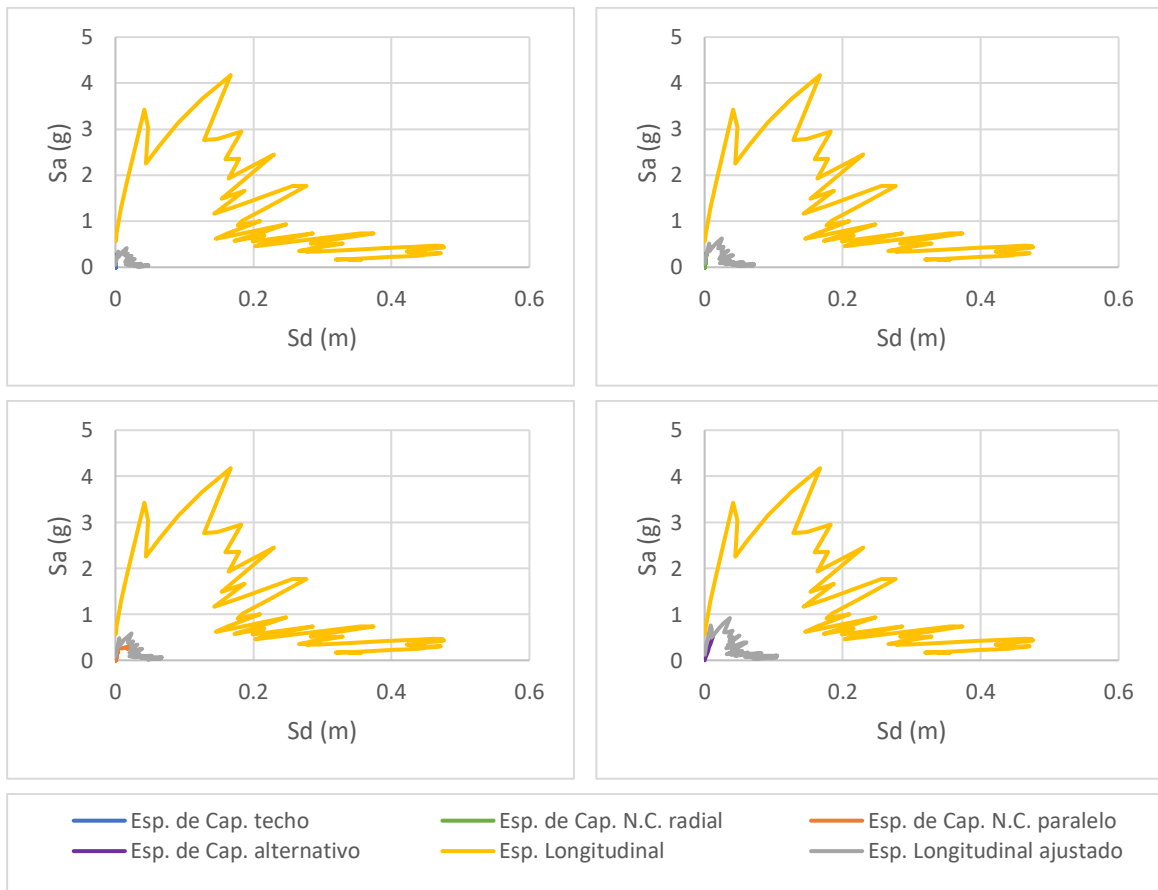


Figura 0-131. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 17

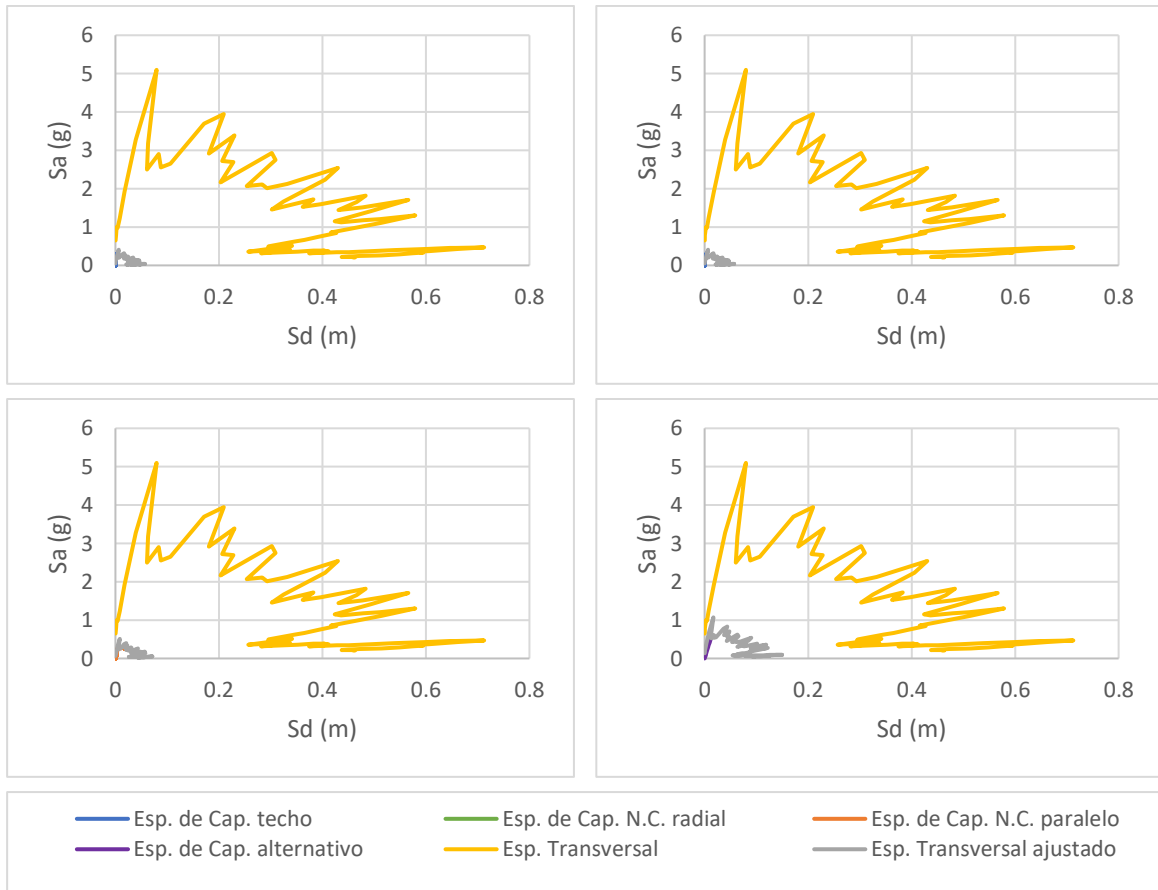


Figura 0-132. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 17

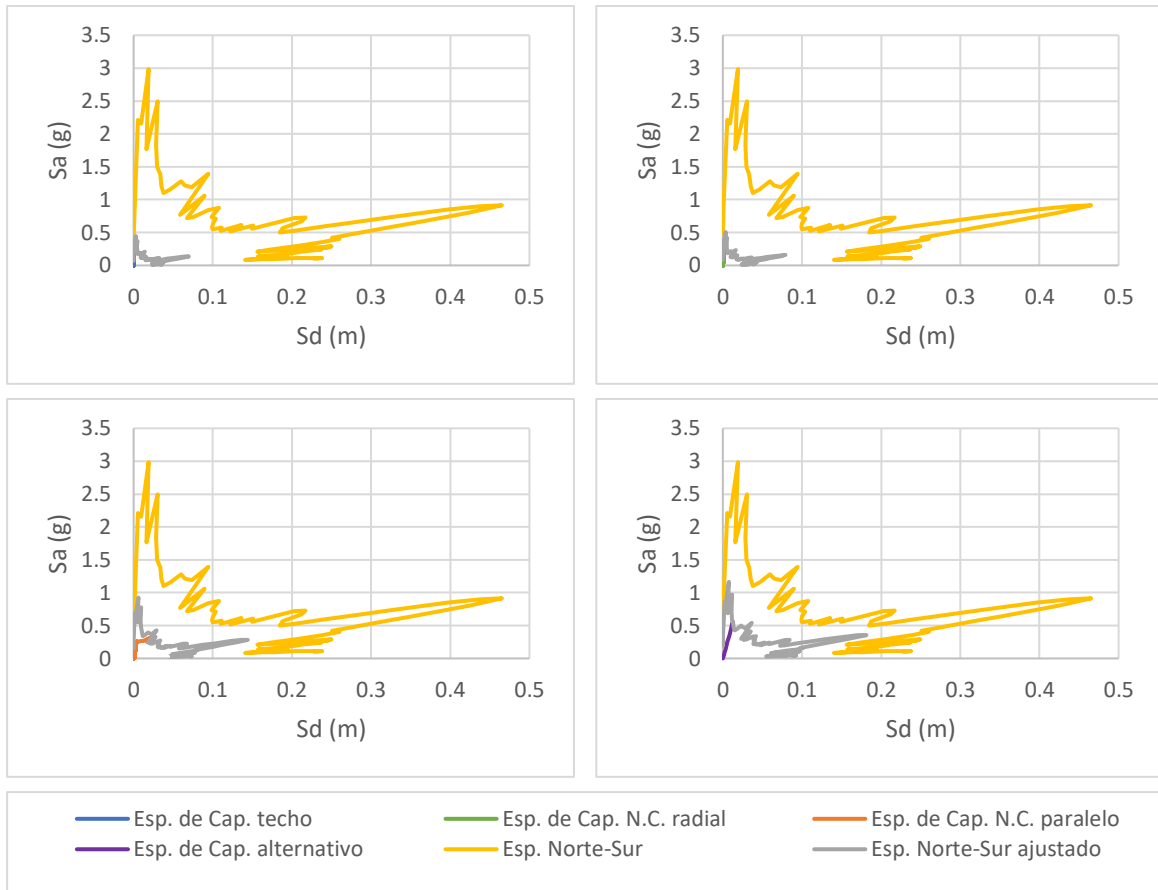


Figura 0-133. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 17

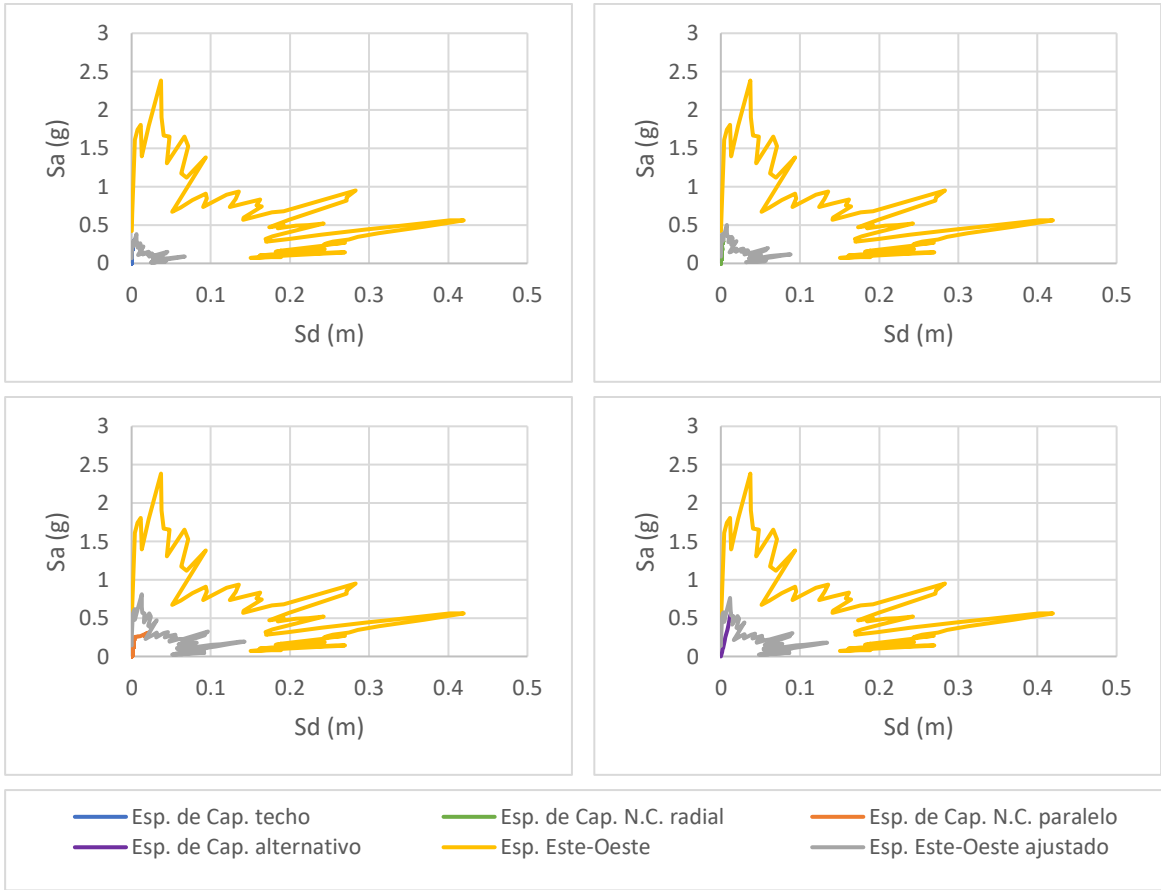


Figura 0-134. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 17

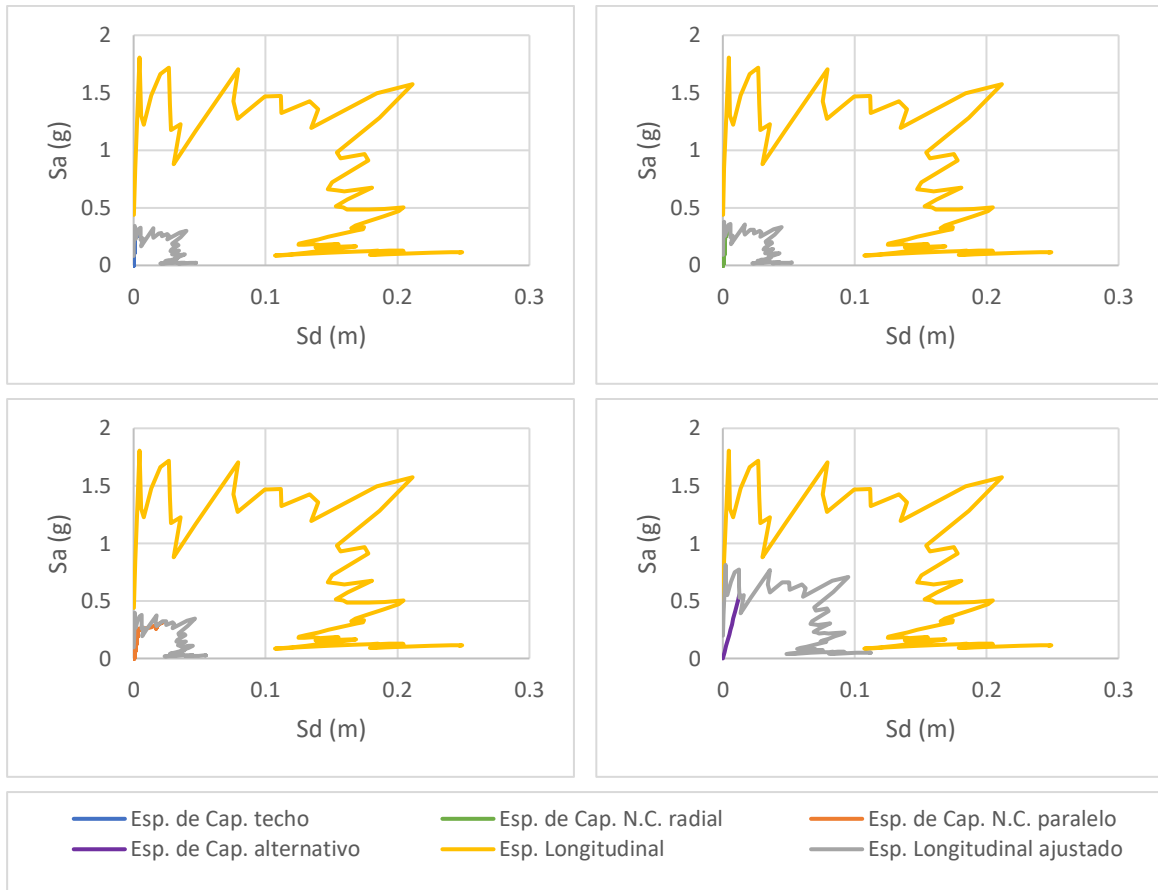


Figura 0-135. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 17

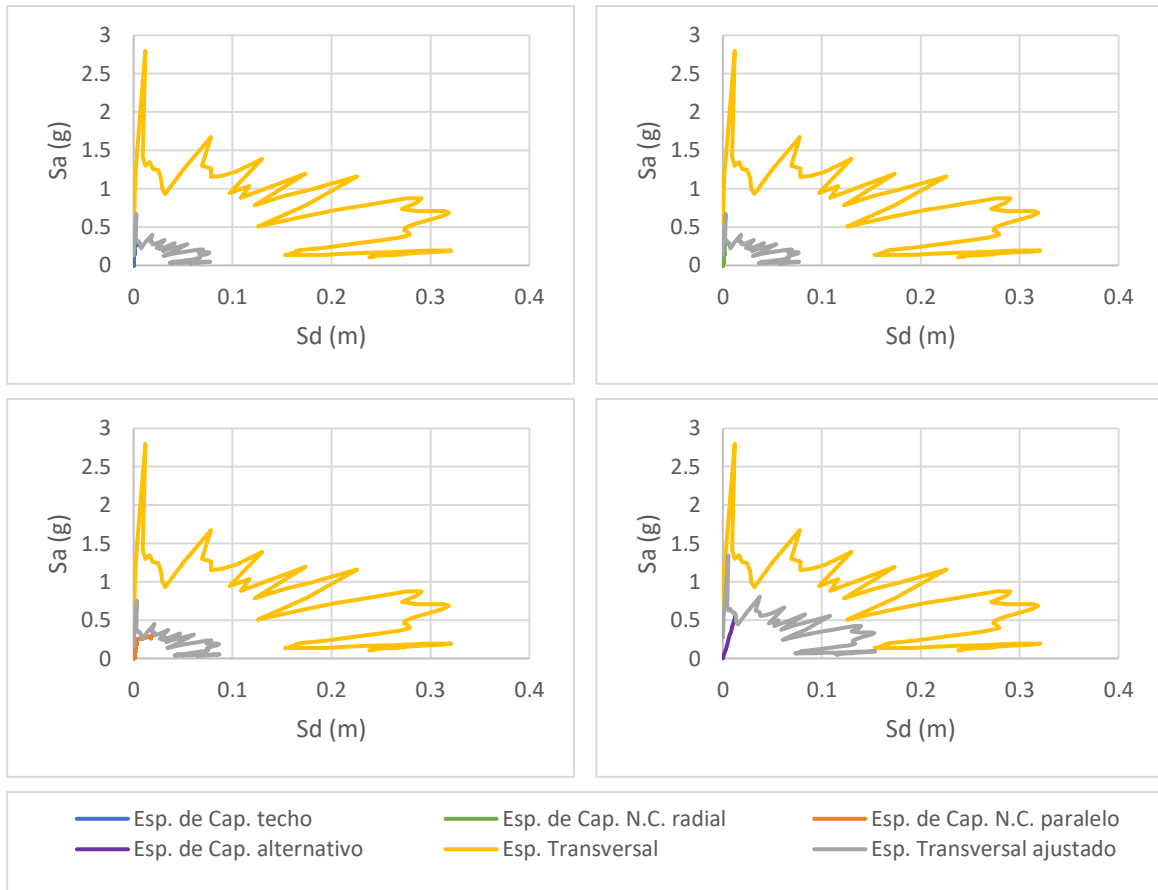


Figura 0-136. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 17

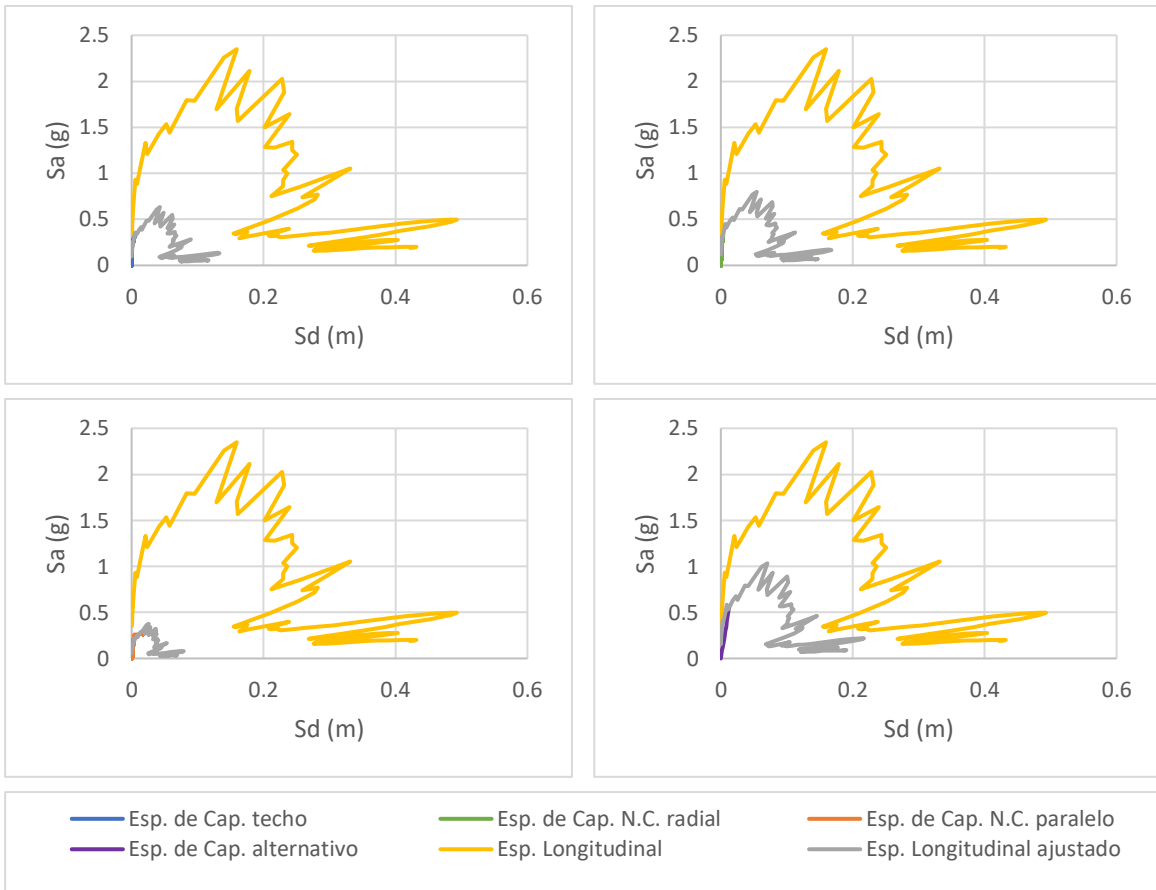


Figura 0-137. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 17

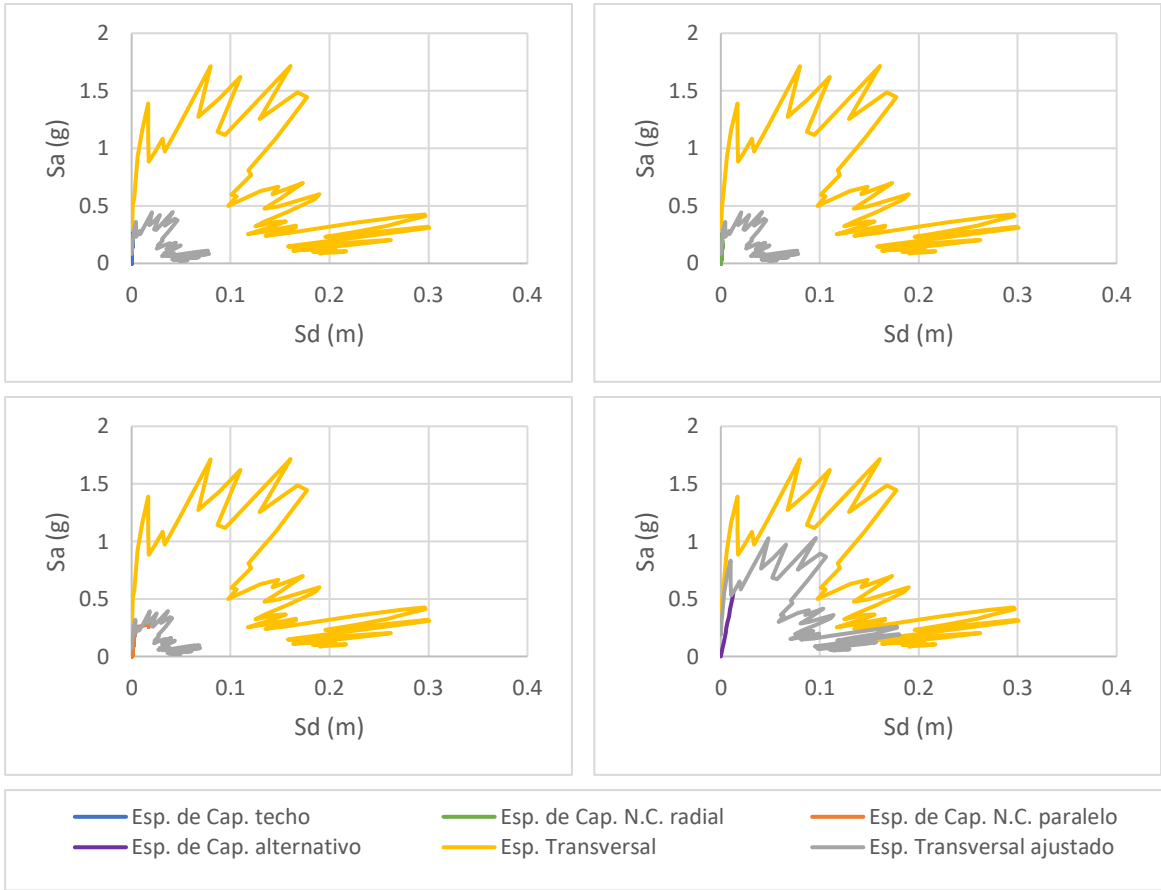


Figura 0-138. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 17



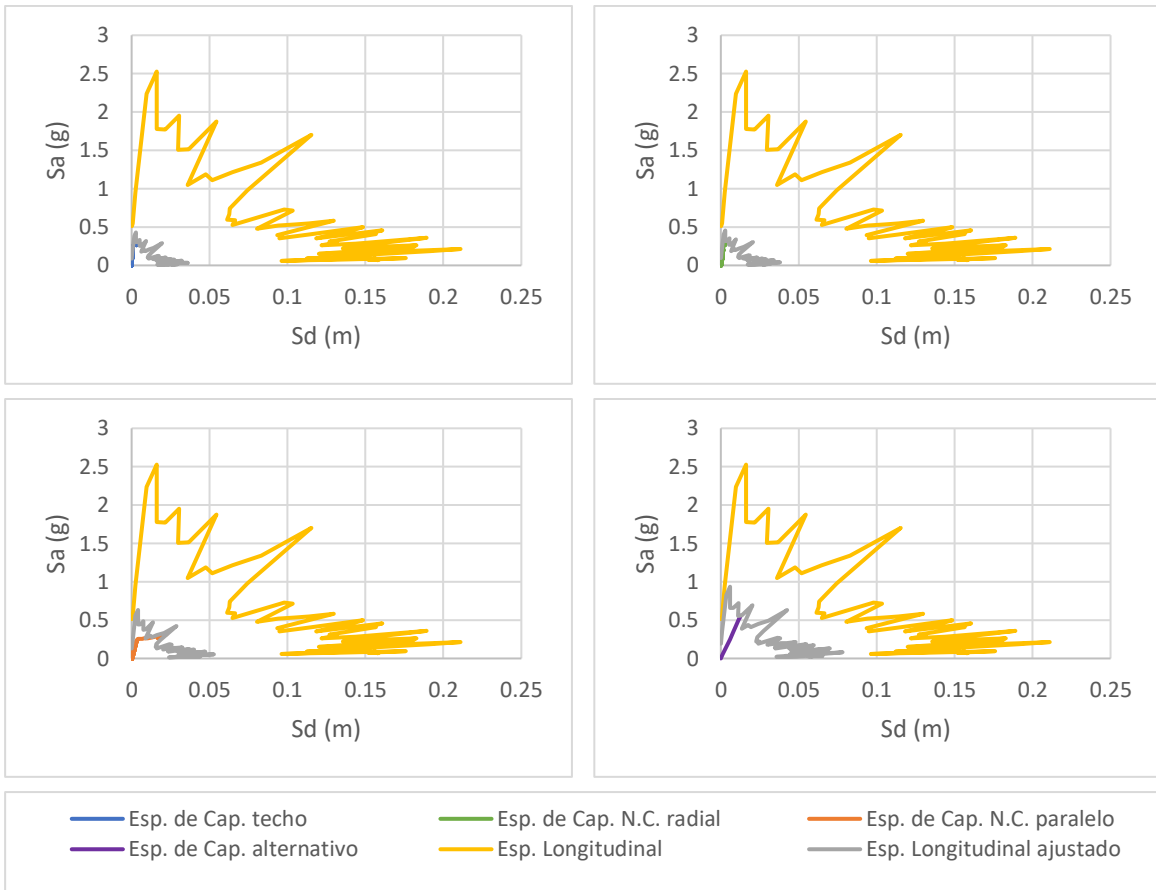


Figura 0-139. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 17

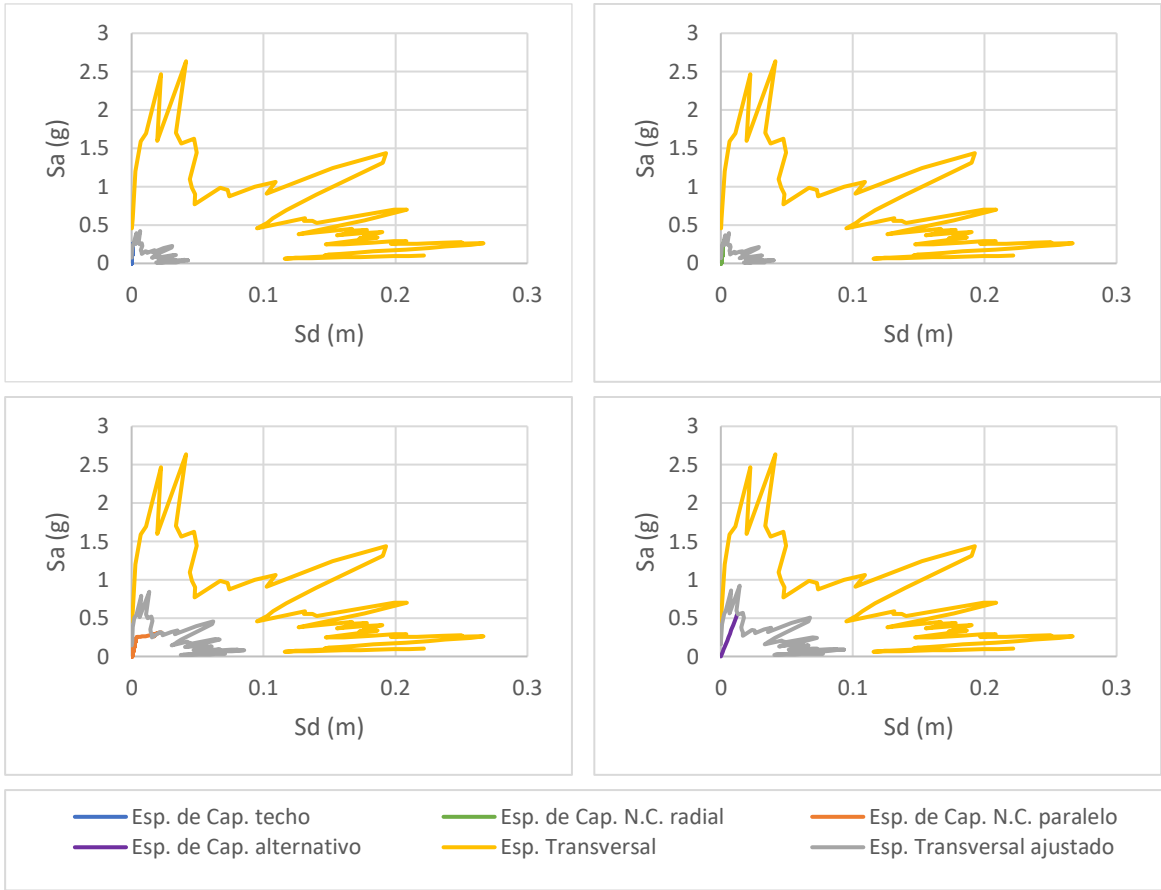


Figura 0-140. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 17

## Anexo A.6

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 18 utilizados para los análisis del presente estudio.

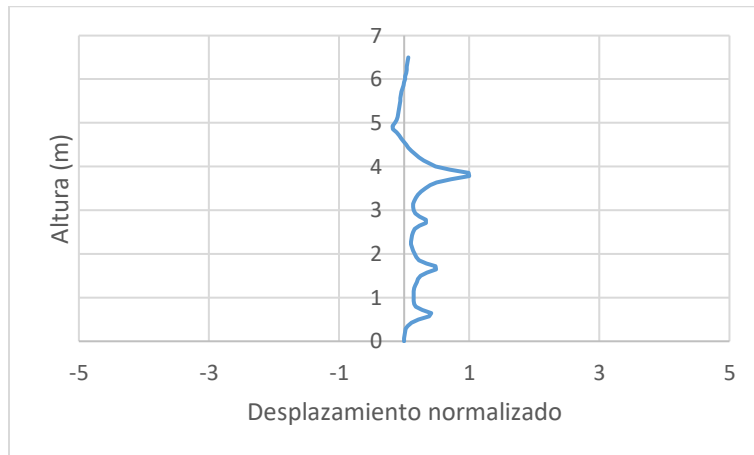


Figura 0-141. Forma modal del Modelo 18

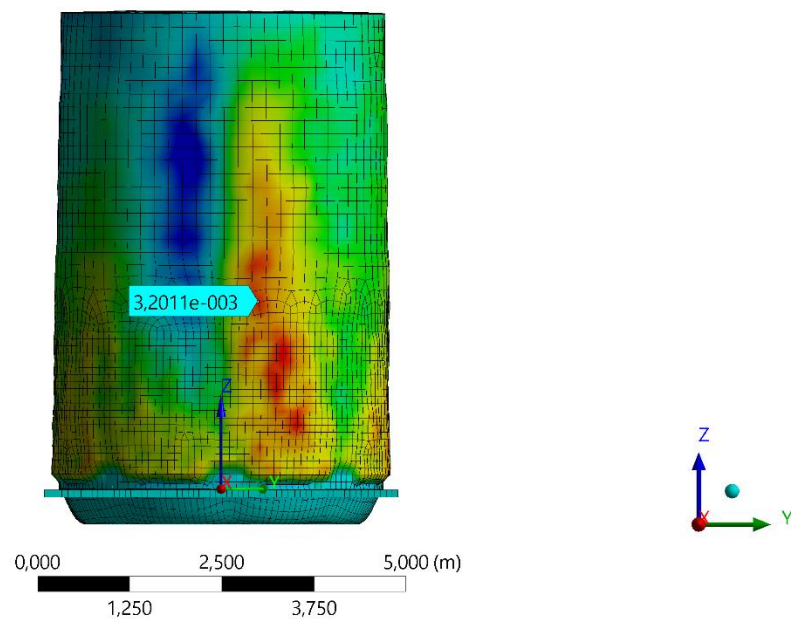


Figura 0-142. Nodo crítico del Modelo 18

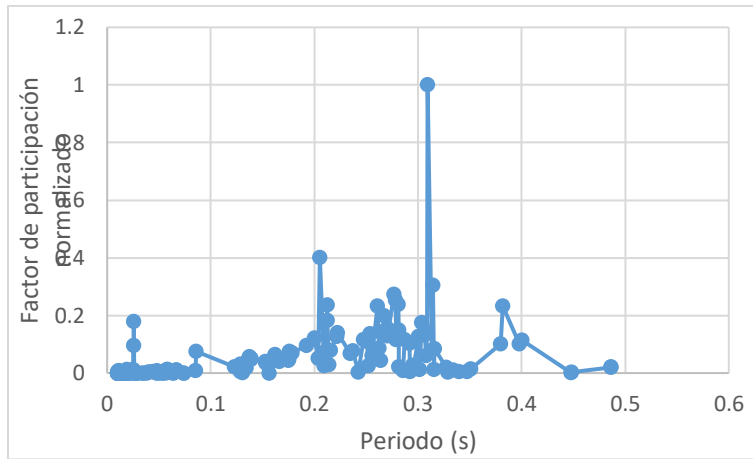


Figura 0-143. Factor de participación normalizado del Modelo 18

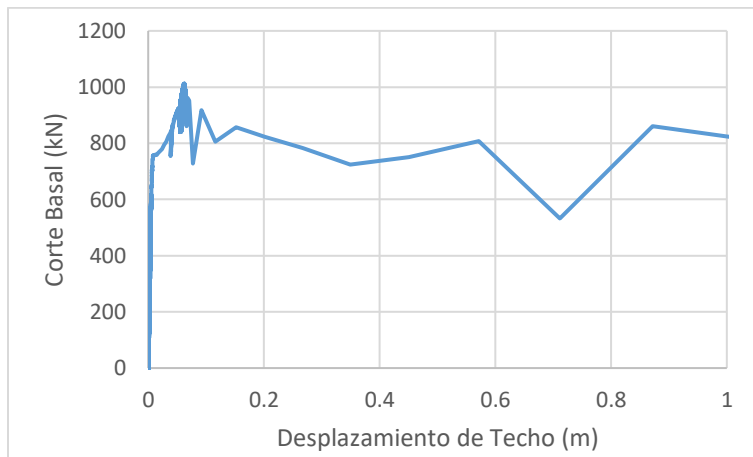


Figura 0-144. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 18

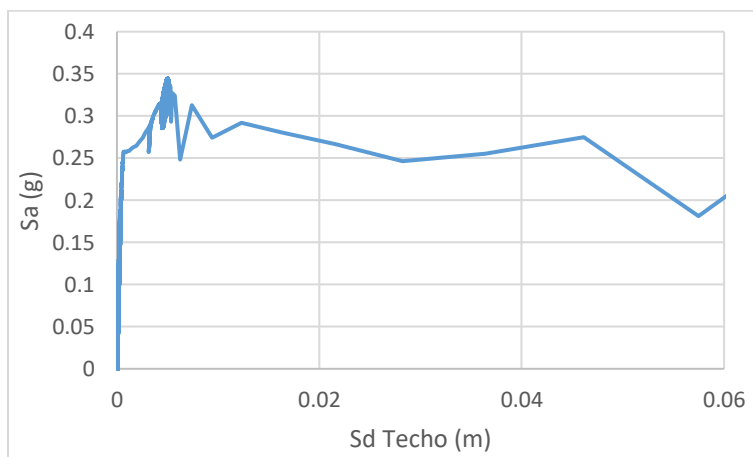


Figura 0-145. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 18

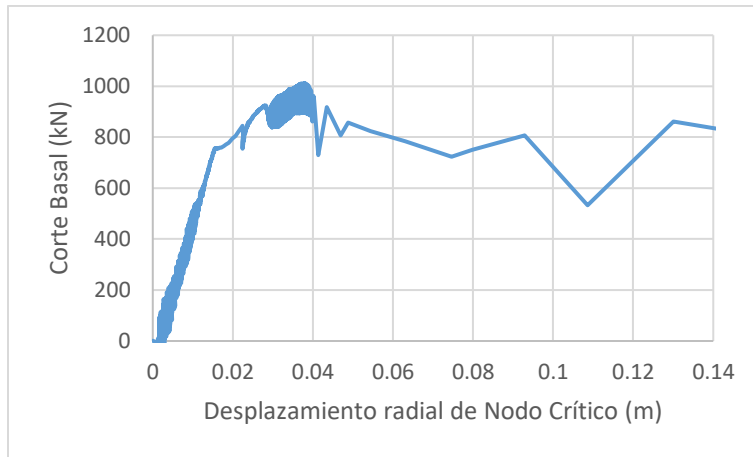


Figura 0-146. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 18

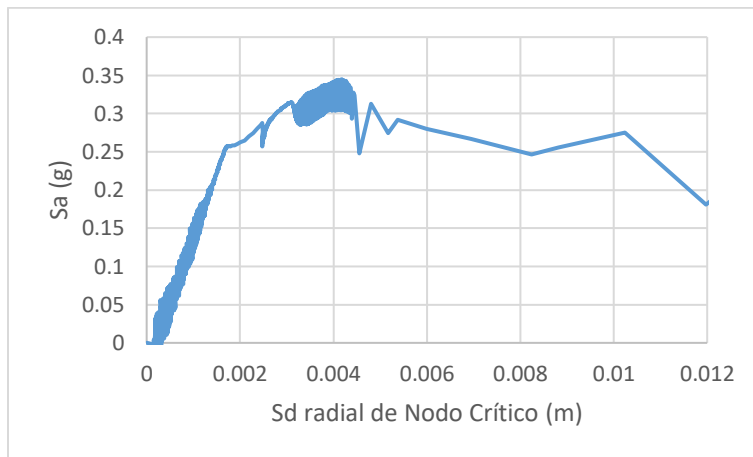


Figura 0-147. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 18

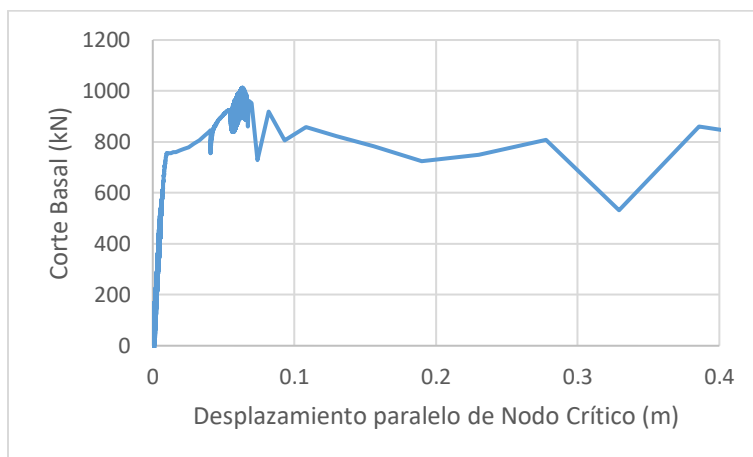


Figura 0-148. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 18

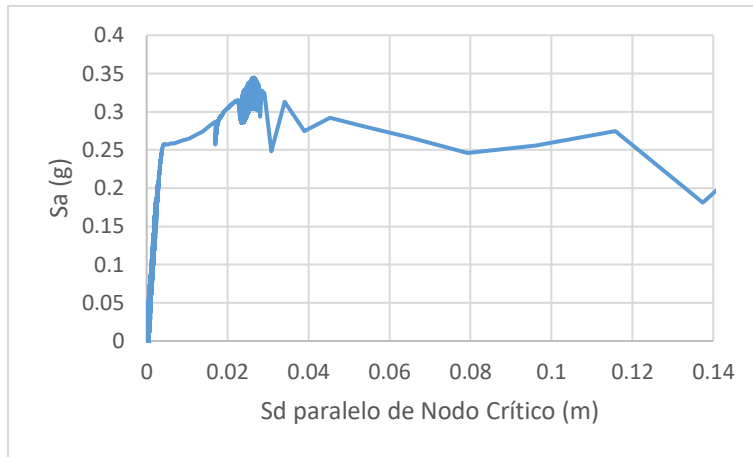


Figura 0-149. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 18

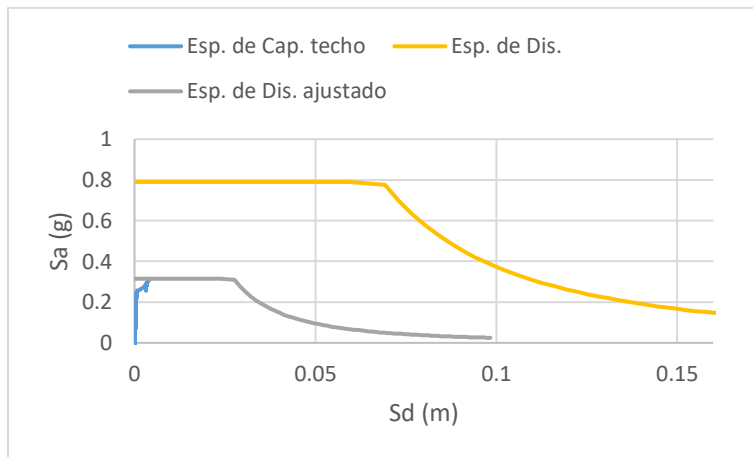


Figura 0-150. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 18 según NCh 2369

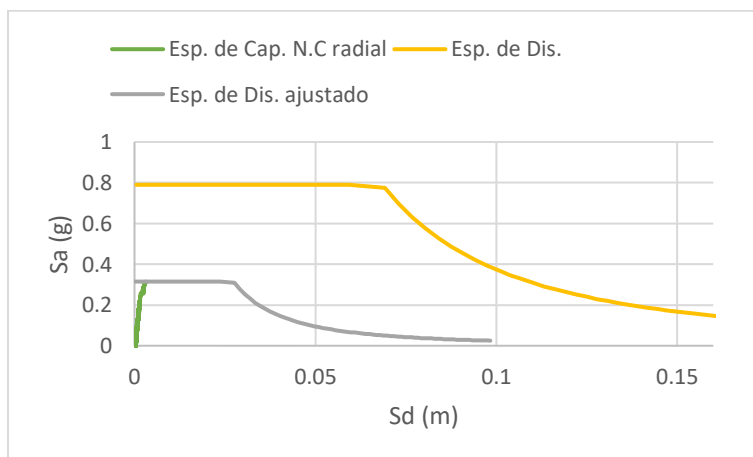


Figura 0-151. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 18 según NCh 2369

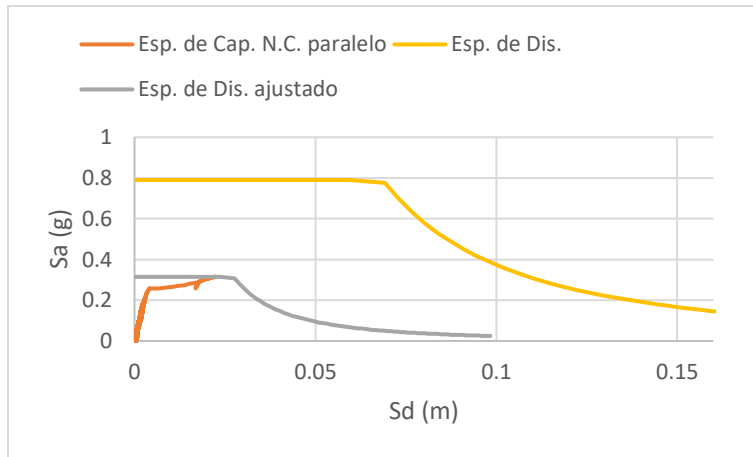


Figura 0-152. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 18 según NCh 2369

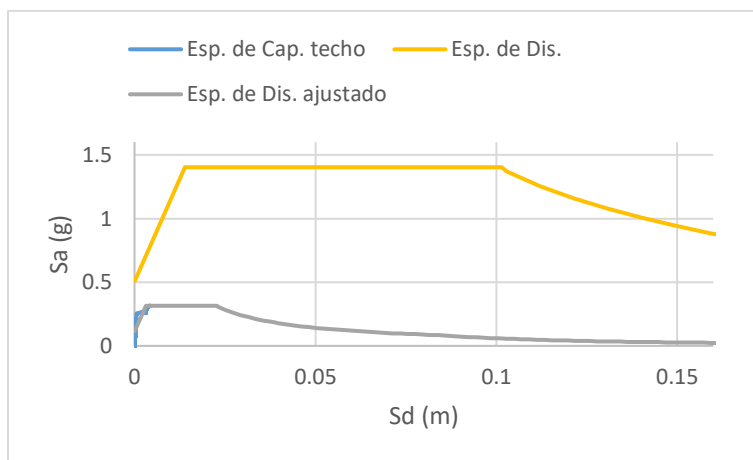


Figura 0-153. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 18 según NCh 2745

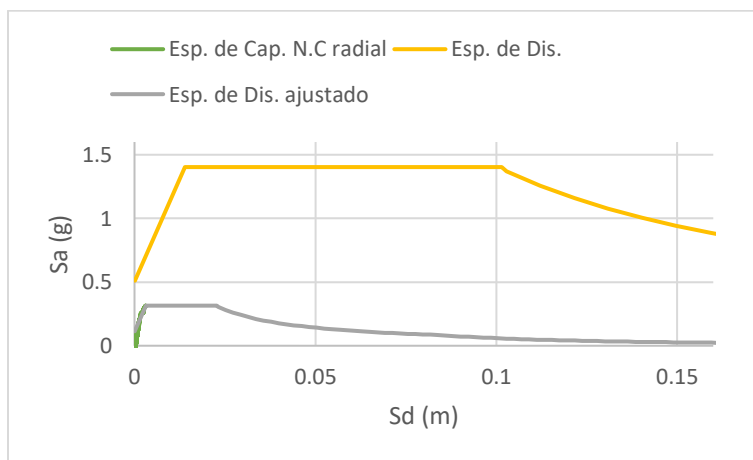


Figura 0-154. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 18 según NCh 2745

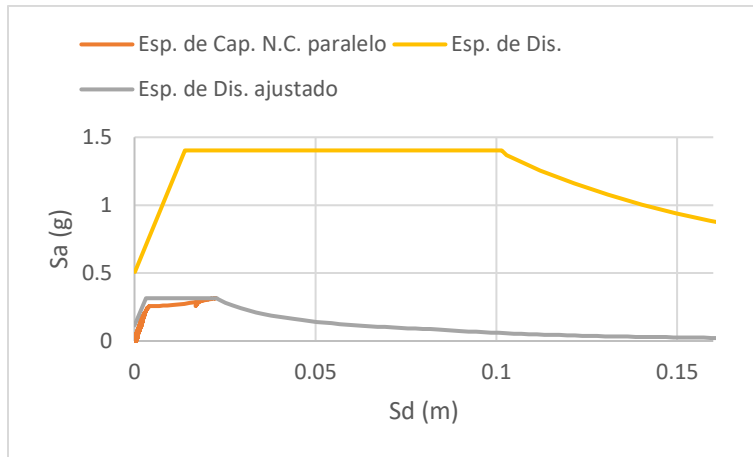


Figura 0-155. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 18 según NCh 2745

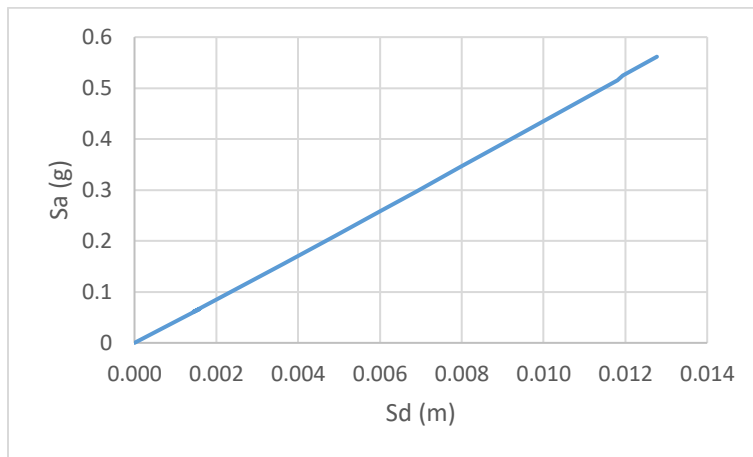


Figura 0-156. Espectro de capacidad para el Modelo 18 según método teórico

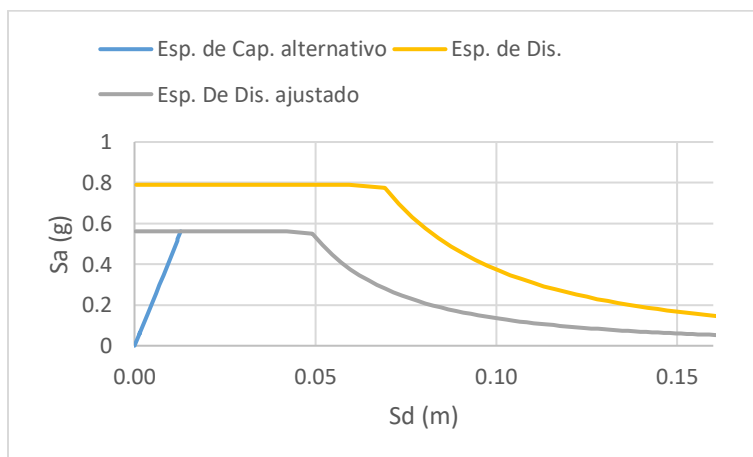


Figura 0-157. Punto de desempeño para el Modelo 18 según método teórico y NCh 2369



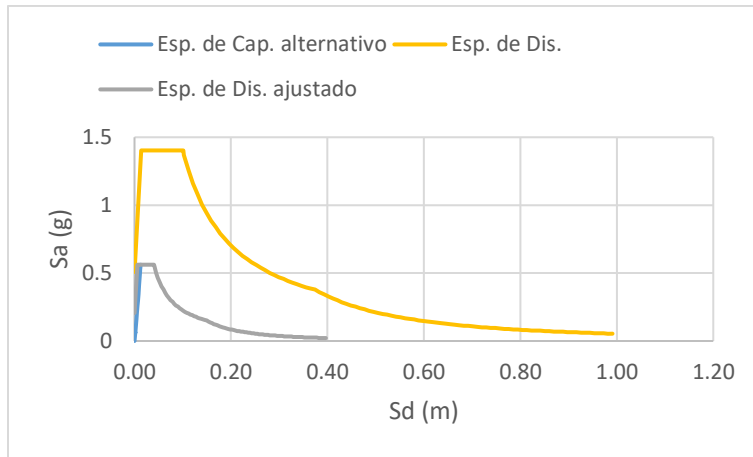


Figura 0-158. Punto de desempeño para el Modelo 18 según método teórico y NCh 2745

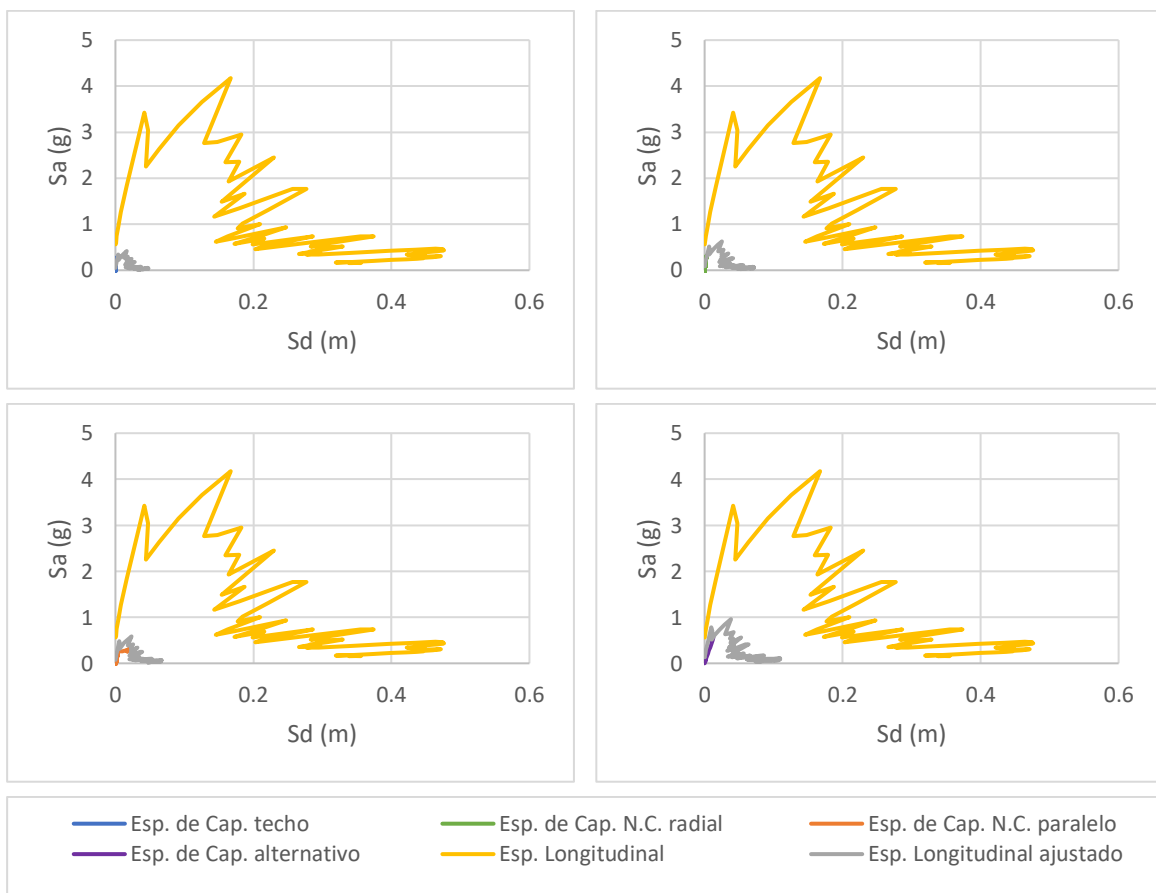


Figura 0-159. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 18

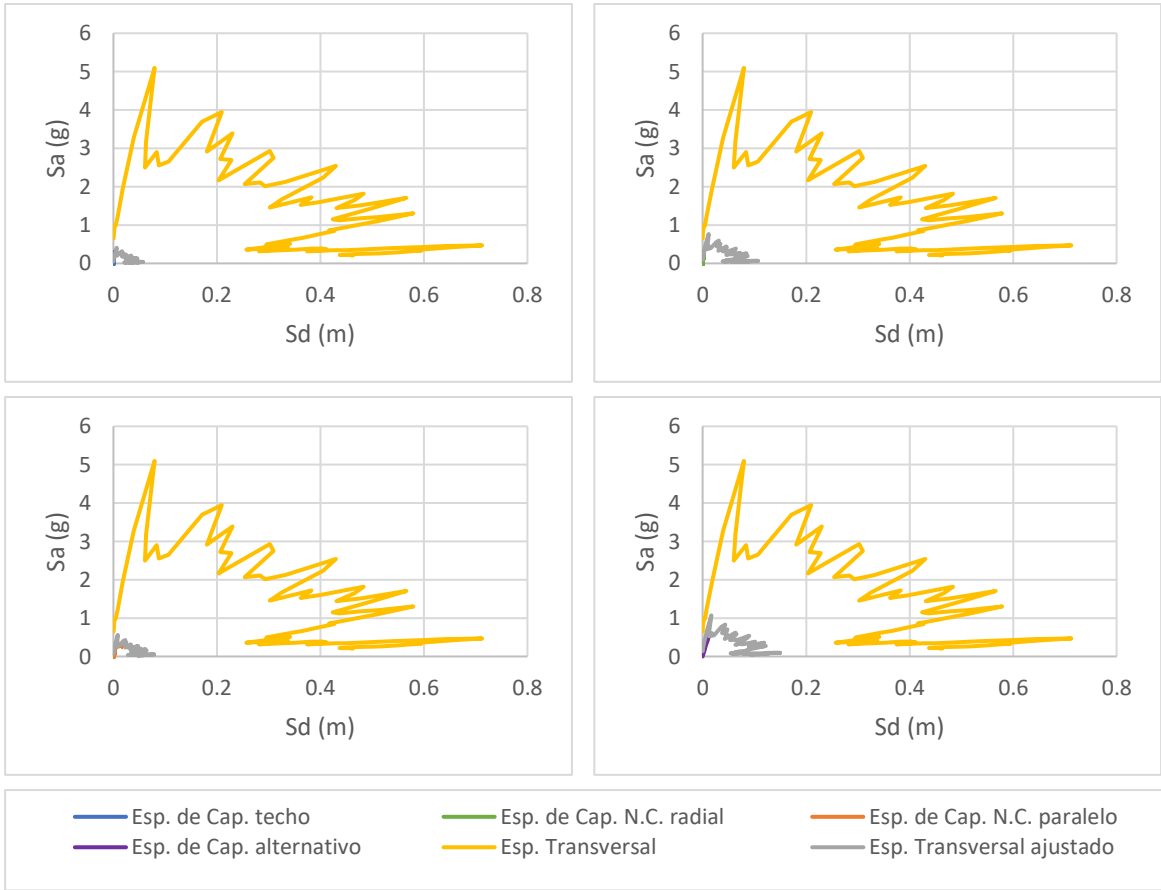


Figura 0-160. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 18

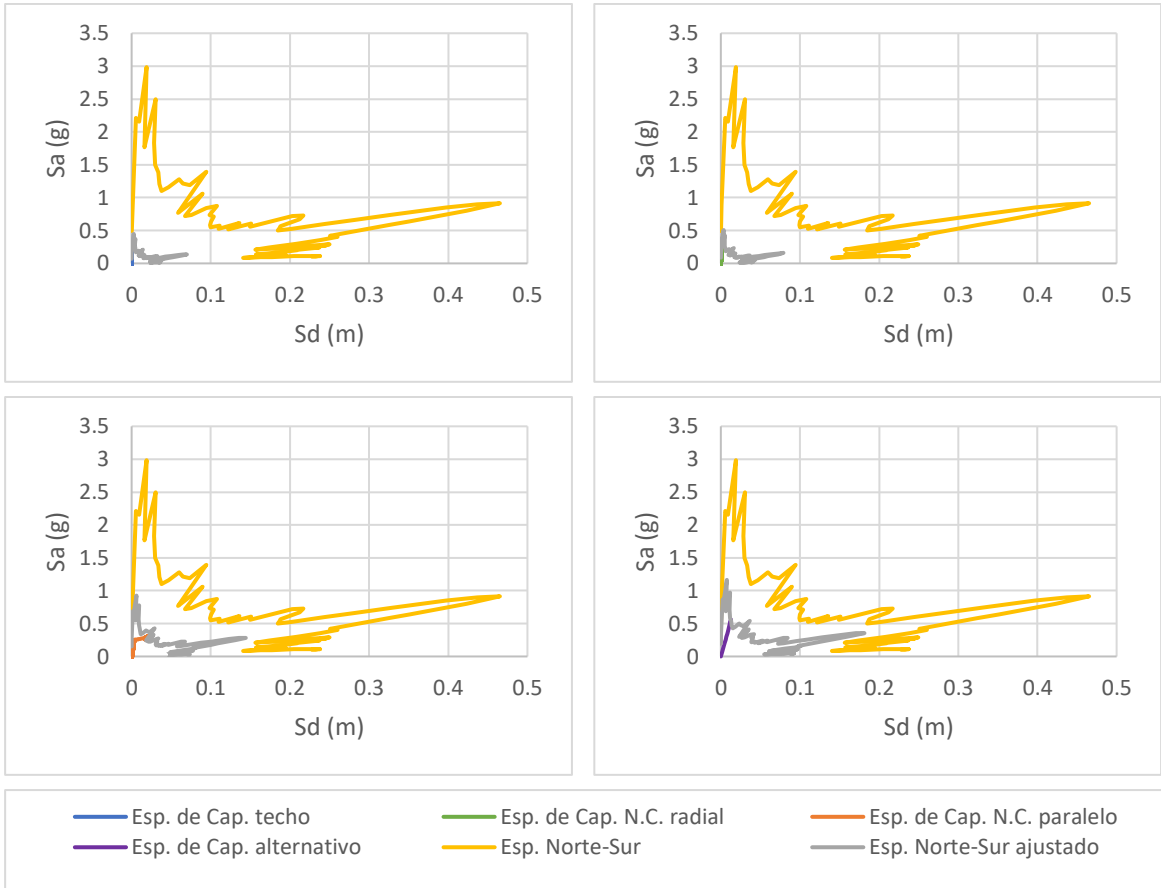


Figura 0-161. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 18

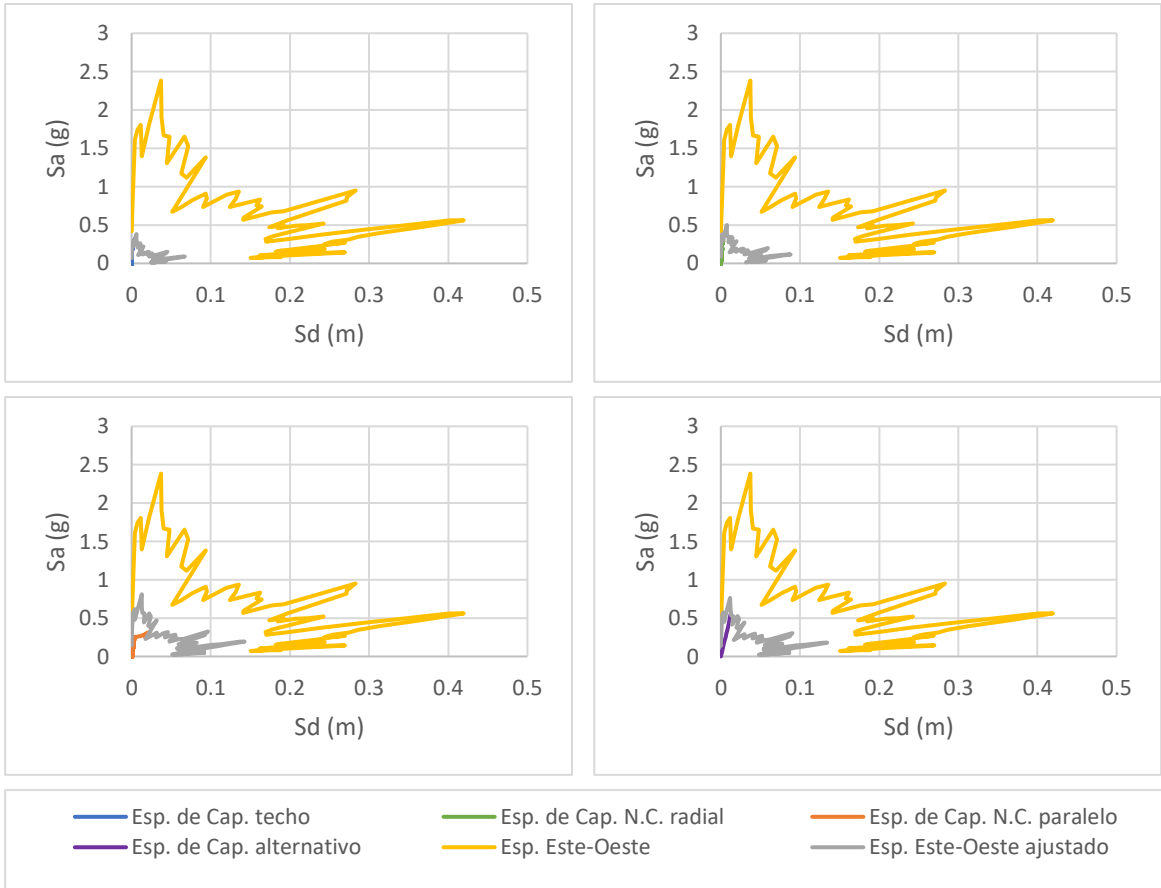


Figura 0-162. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 18

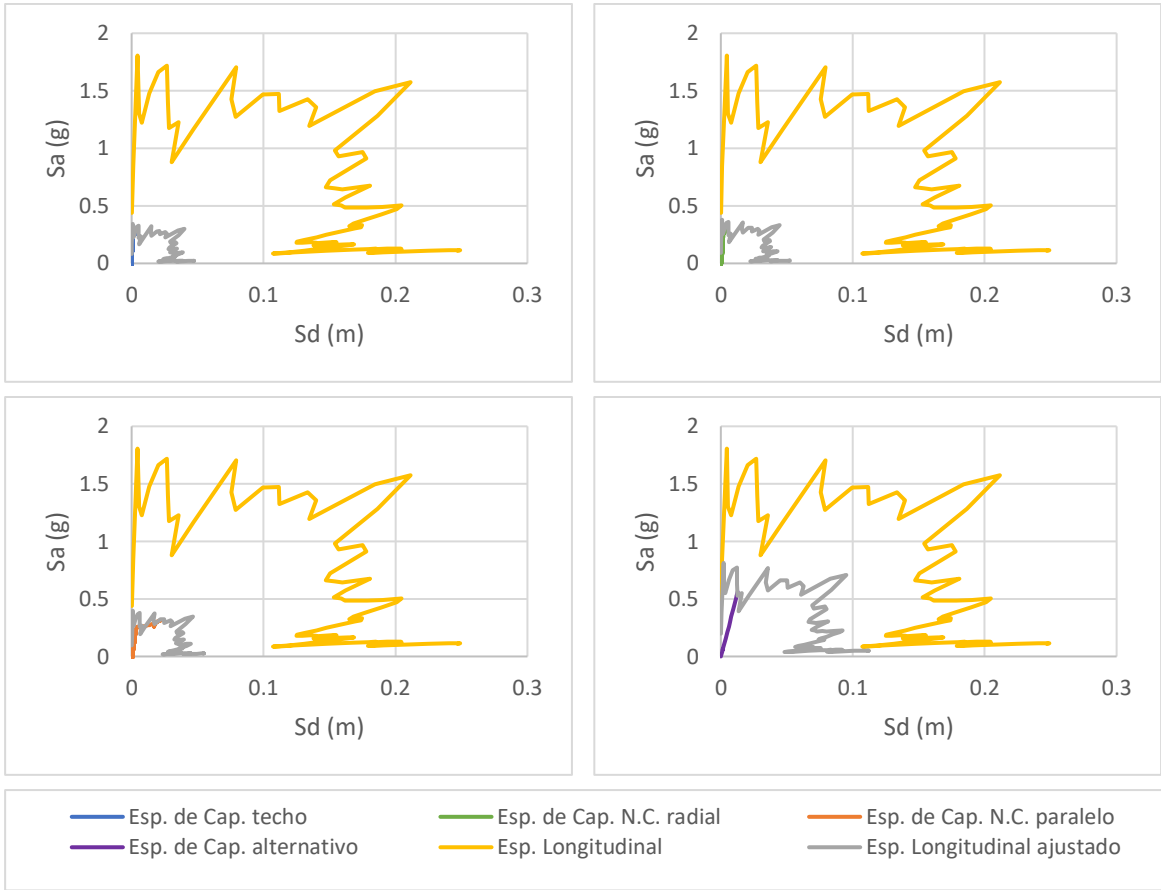


Figura 0-163. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 18

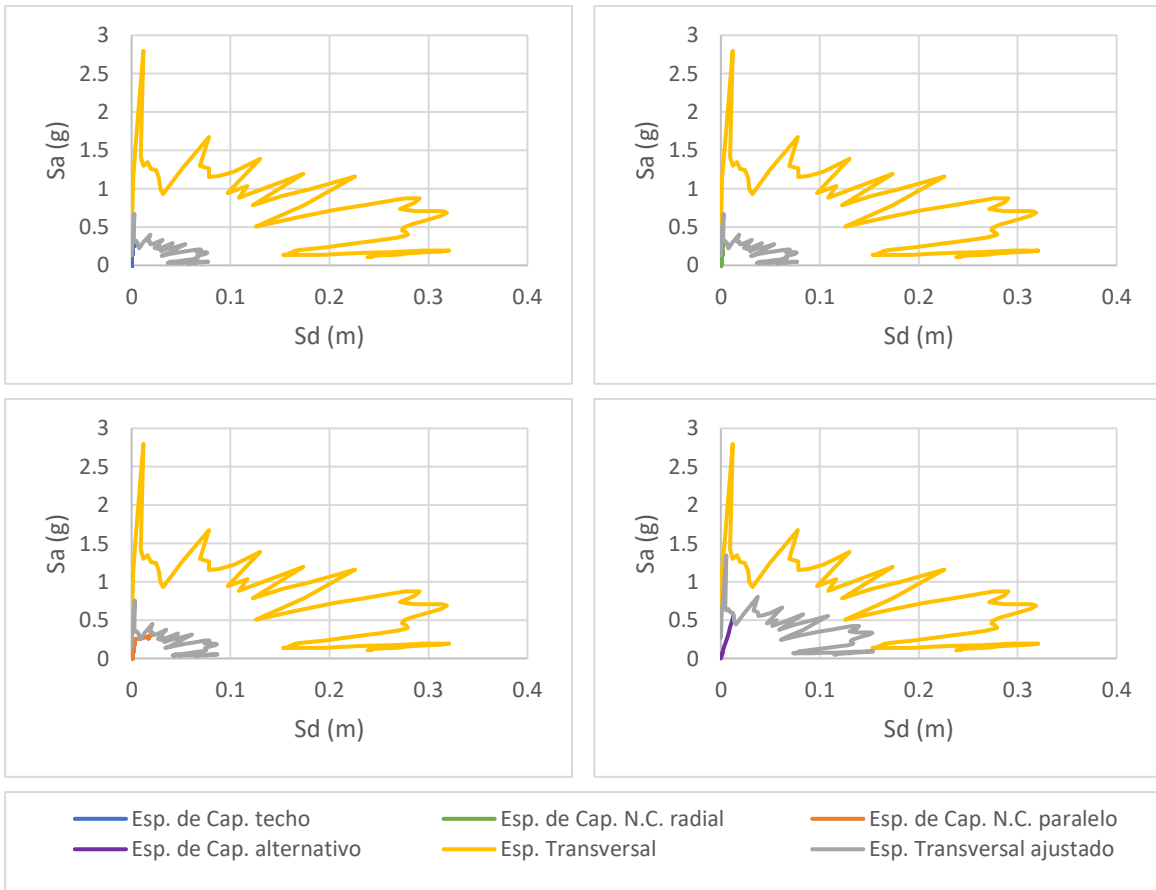


Figura 0-164. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 18

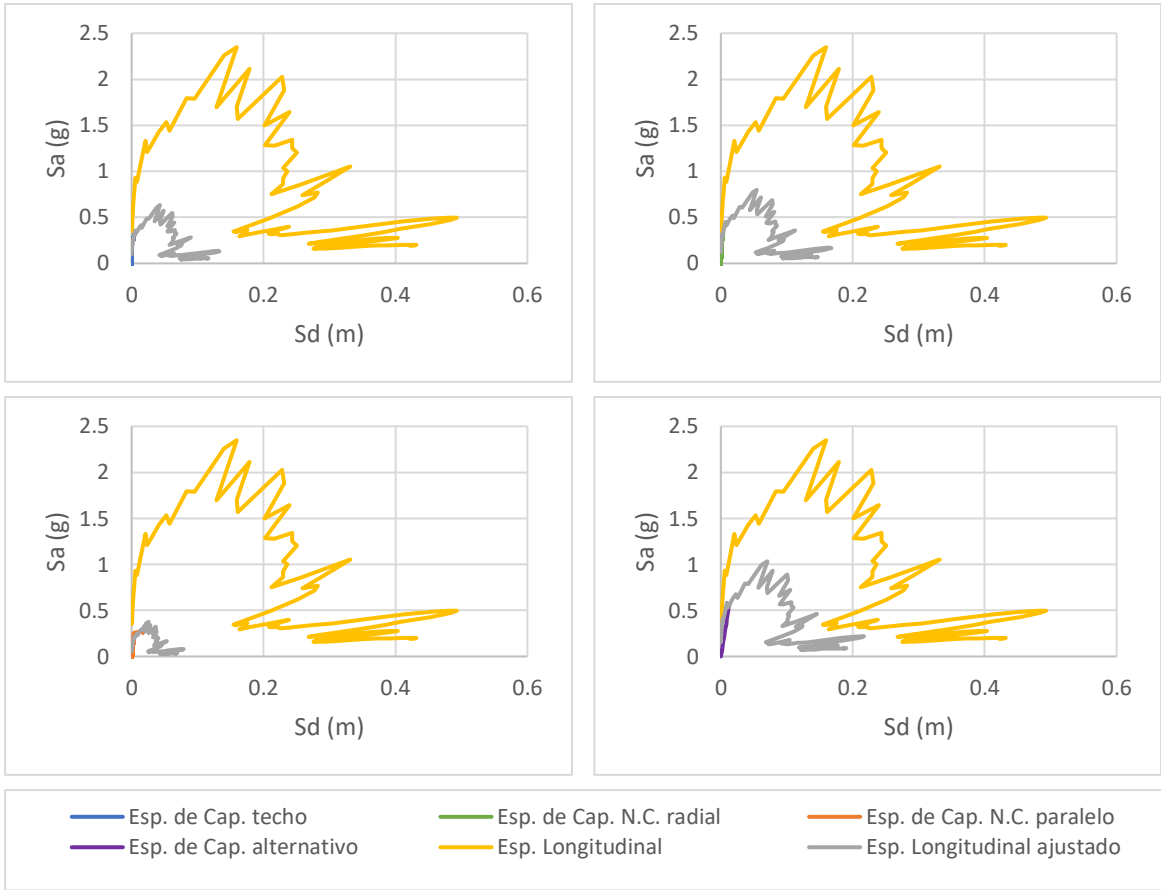


Figura 0-165. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 18

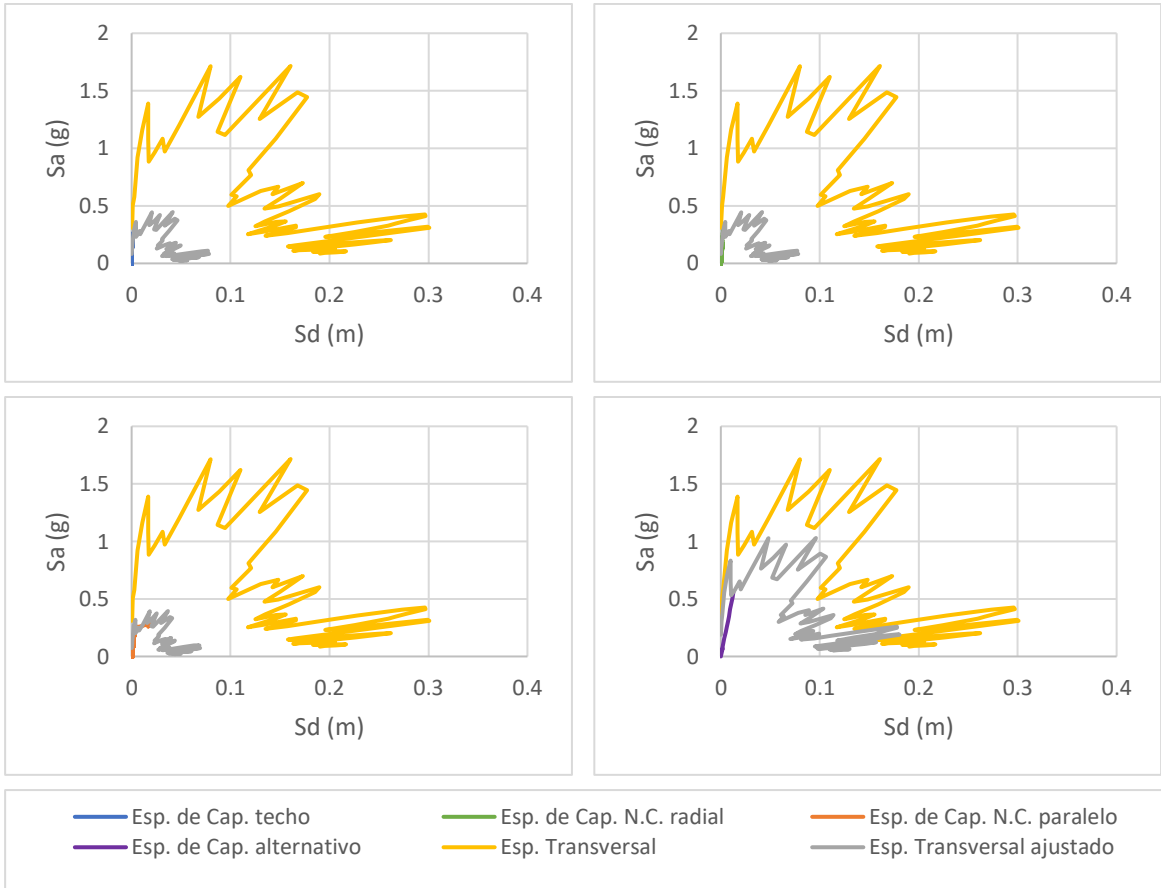


Figura 0-166. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 18



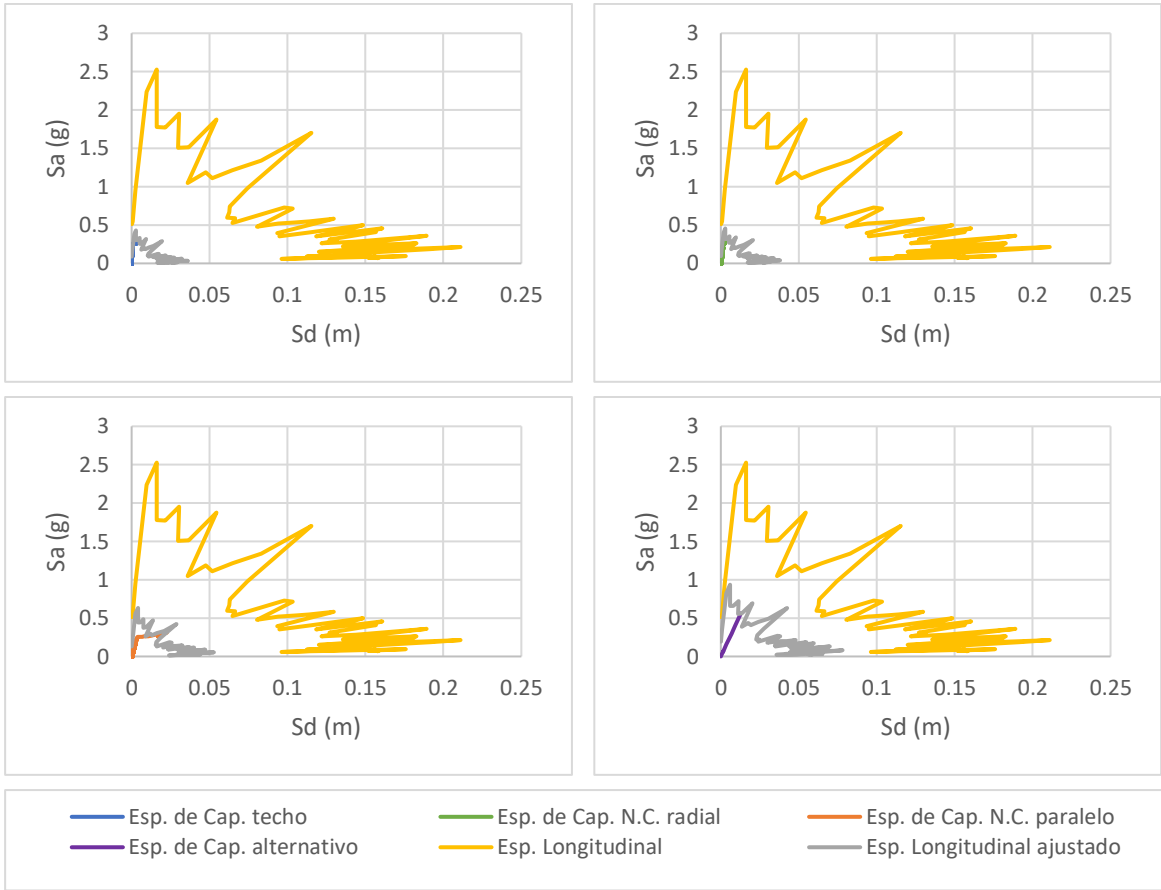


Figura 0-167. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 18

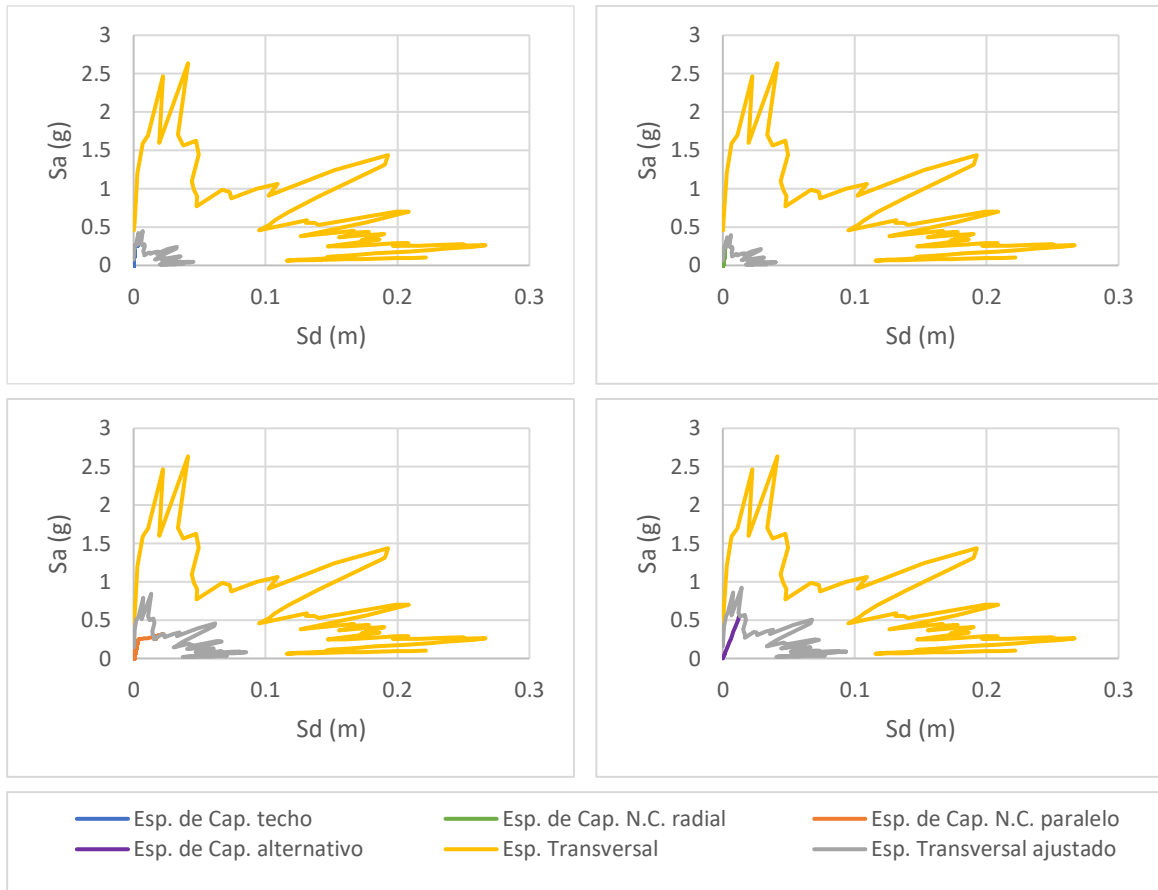


Figura 0-168. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 18

## Anexo B

A continuación, se presentan la totalidad de los gráficos utilizados en los análisis del presente estudio para el estanque 25.

### Anexo B.1

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 7 utilizados para los análisis del presente estudio.

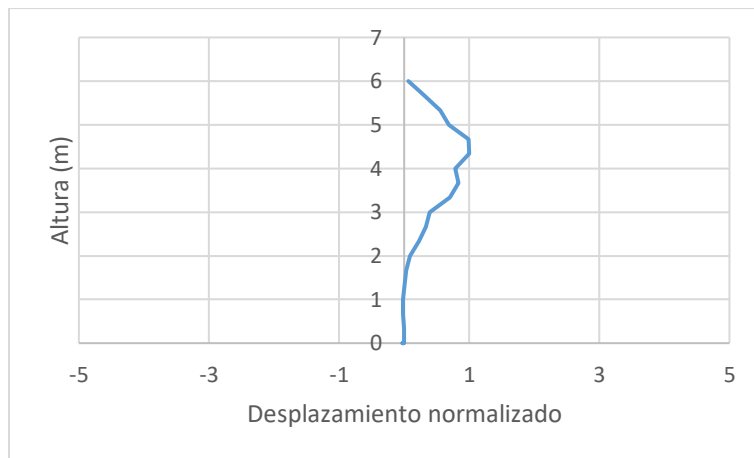


Figura 0-1. Forma modal del Modelo 7

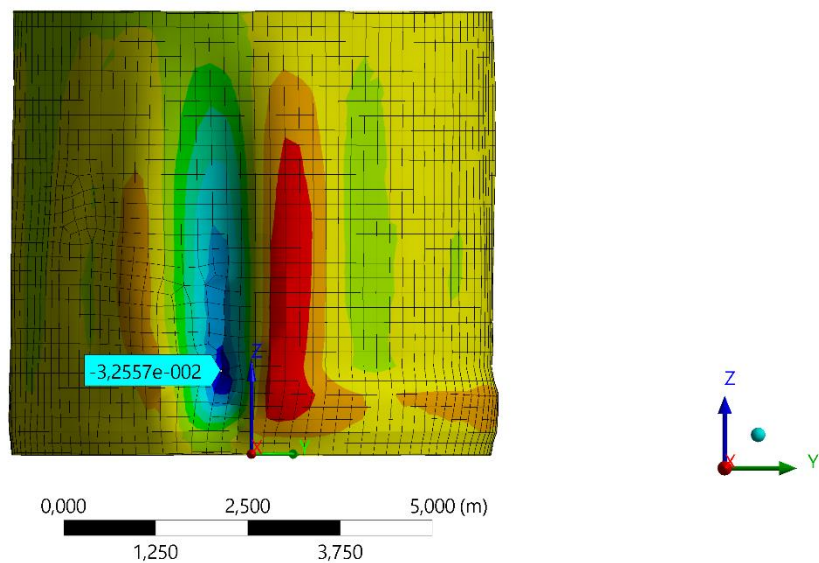


Figura 0-2. Nodo crítico del Modelo 7

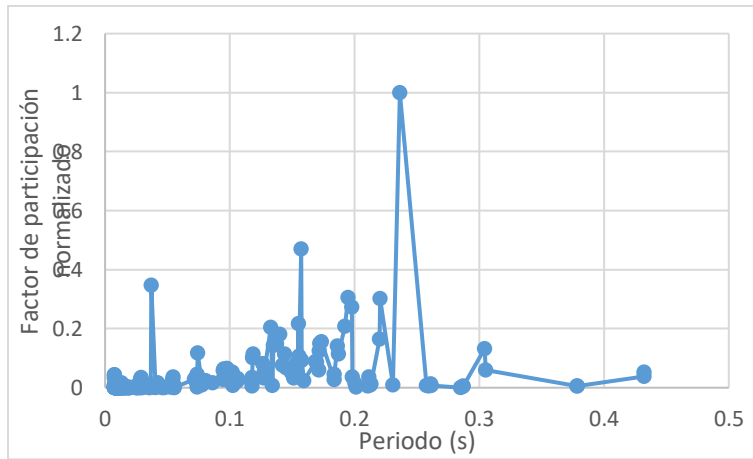


Figura 0-3. Factor de participación normalizado del Modelo 7

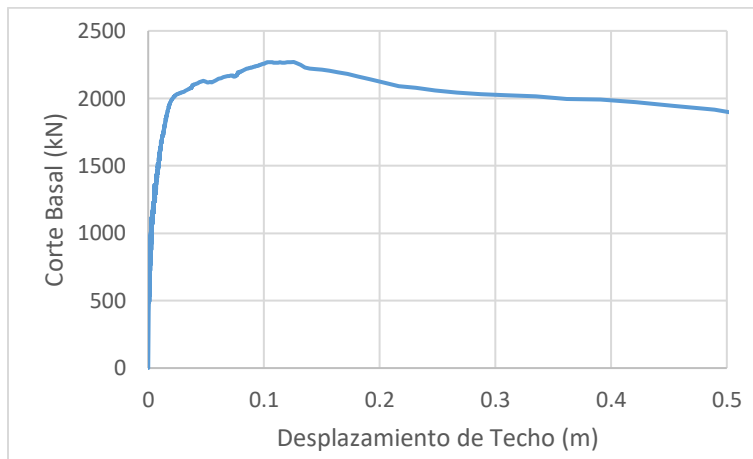


Figura 0-4. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 7

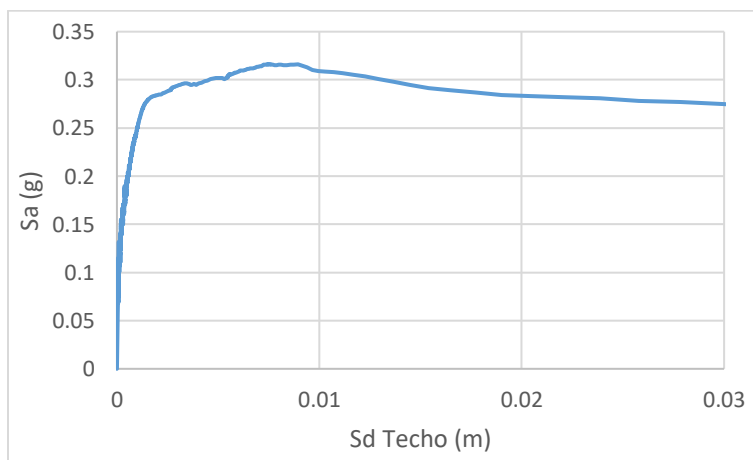


Figura 0-5. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 7

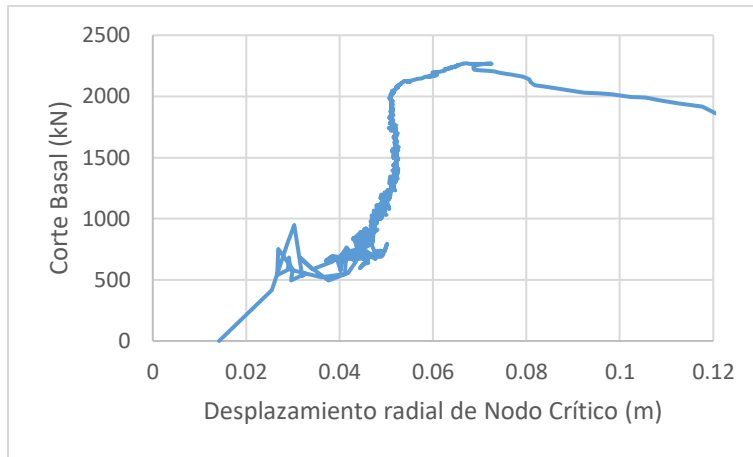


Figura 0-6. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 7

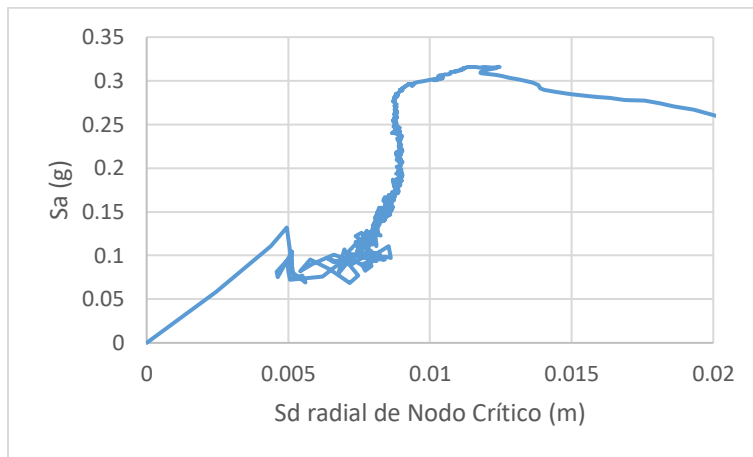


Figura 0-7. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 7

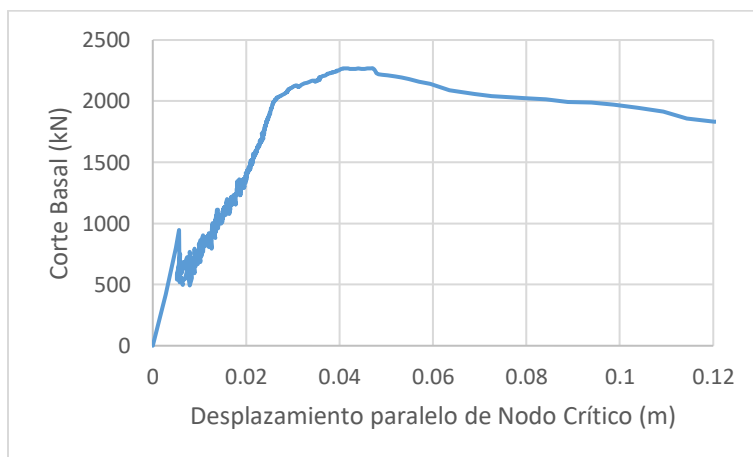


Figura 0-8. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 7

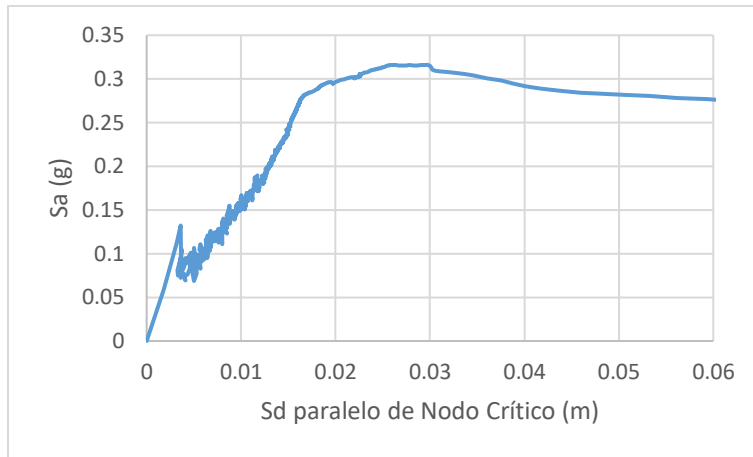


Figura 0-9. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 7

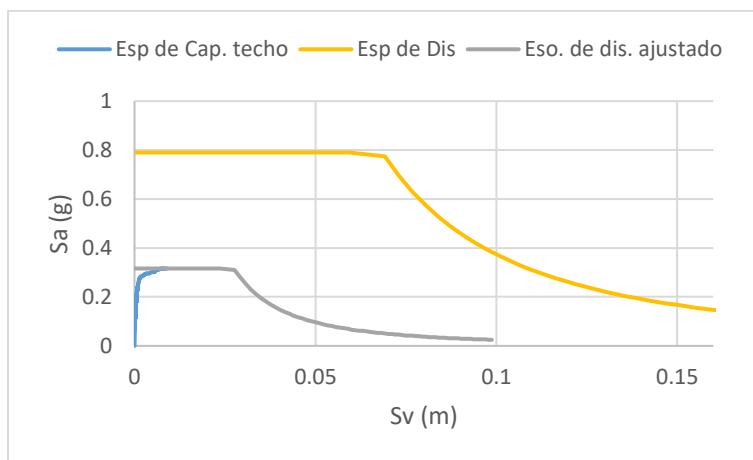


Figura 0-10. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 7 según NCh 2369

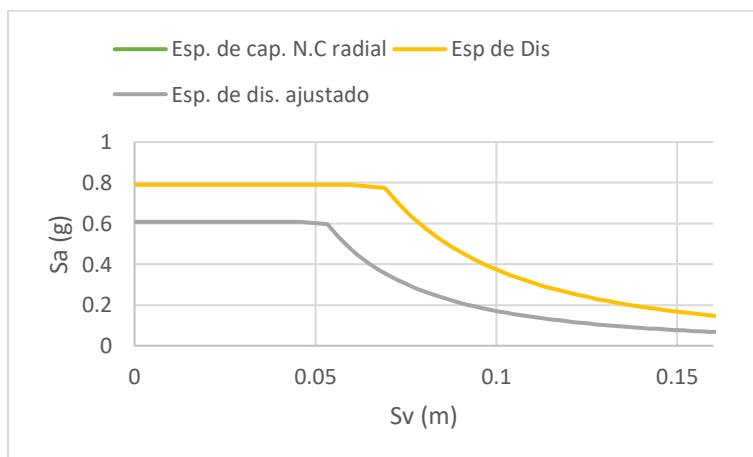


Figura 0-11. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 7 según NCh 2369

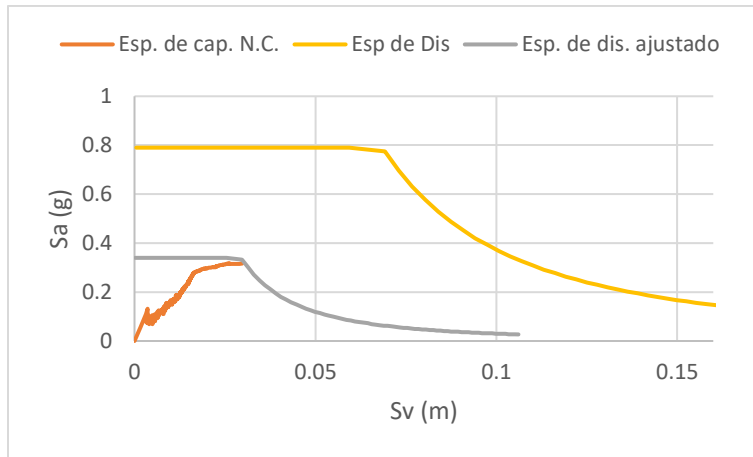


Figura 0-12. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 7 según NCh 2369

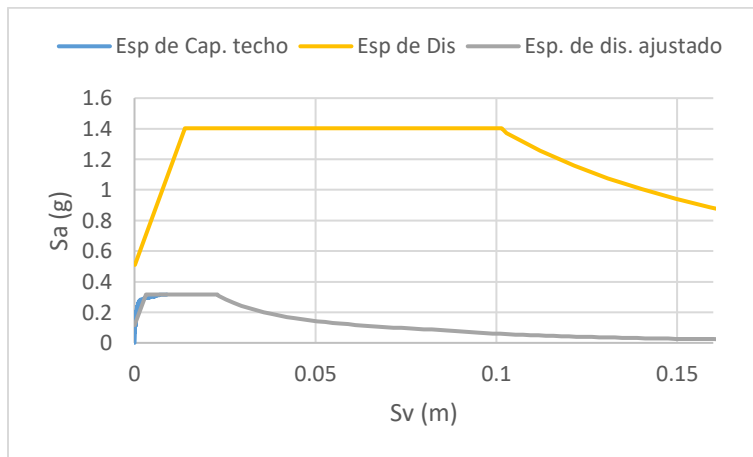


Figura 0-13. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 7 según NCh 2745

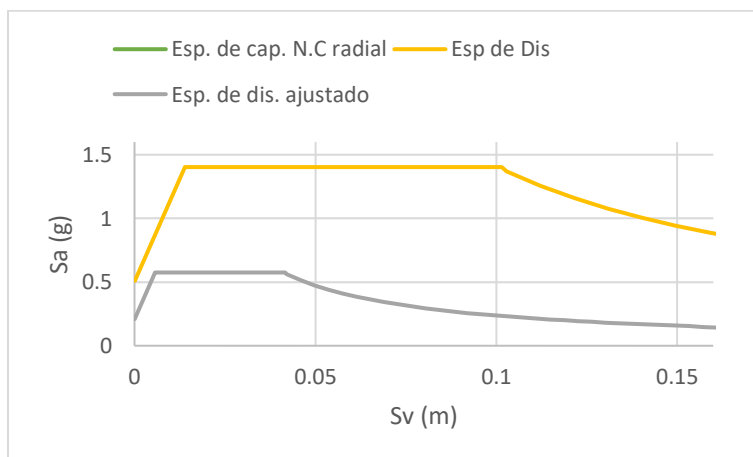


Figura 0-14. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 7 según NCh 2745

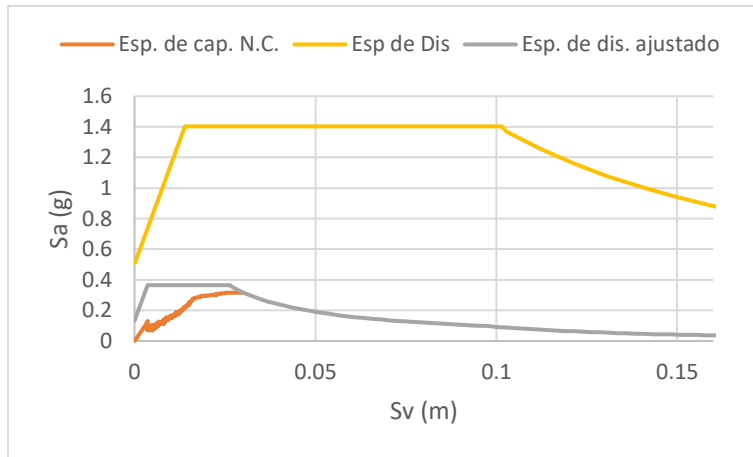


Figura 0-15. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 7 según NCh 2745

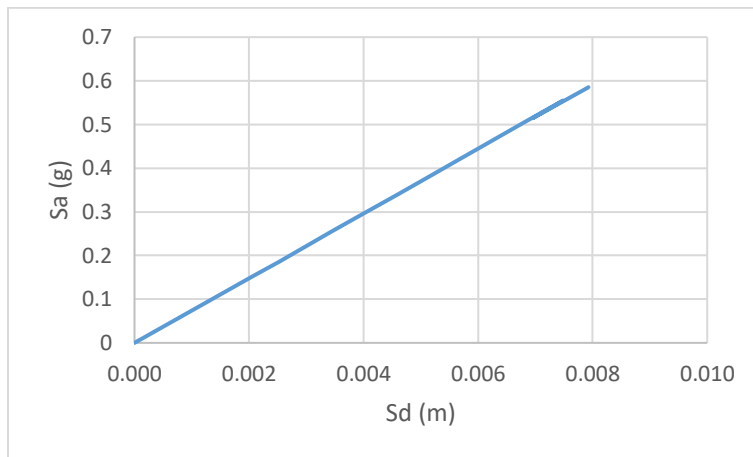


Figura 0-16. Espectro de capacidad para el Modelo 7 según método teórico

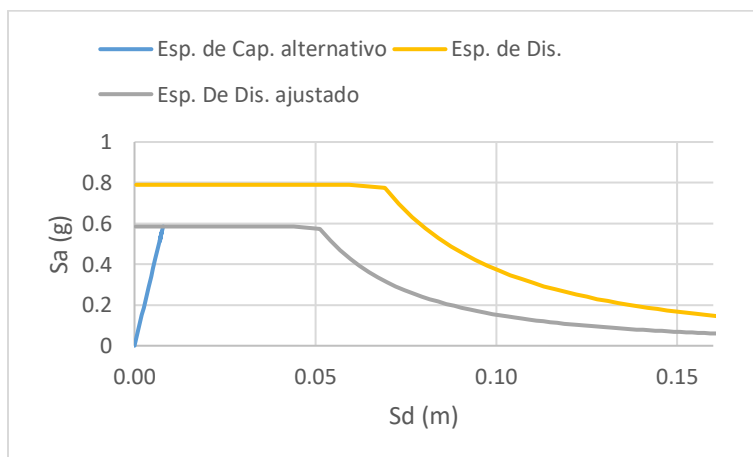


Figura 0-17. Punto de desempeño para el Modelo 7 según método teórico y NCh 2369



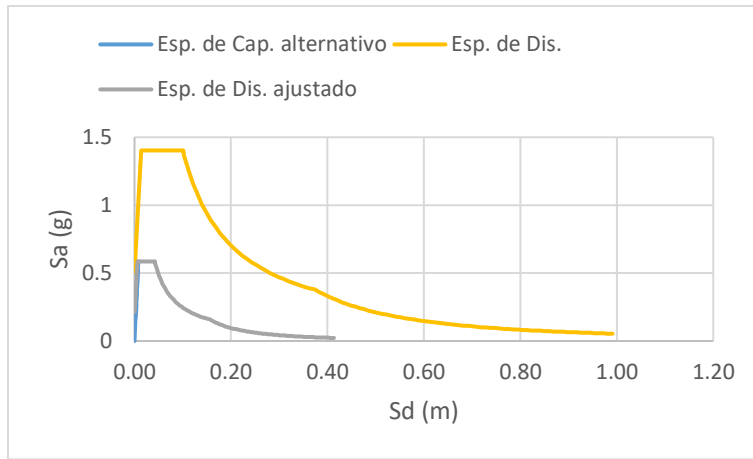


Figura 0-18. Punto de desempeño para el Modelo 7 según método teórico y NCh 2745

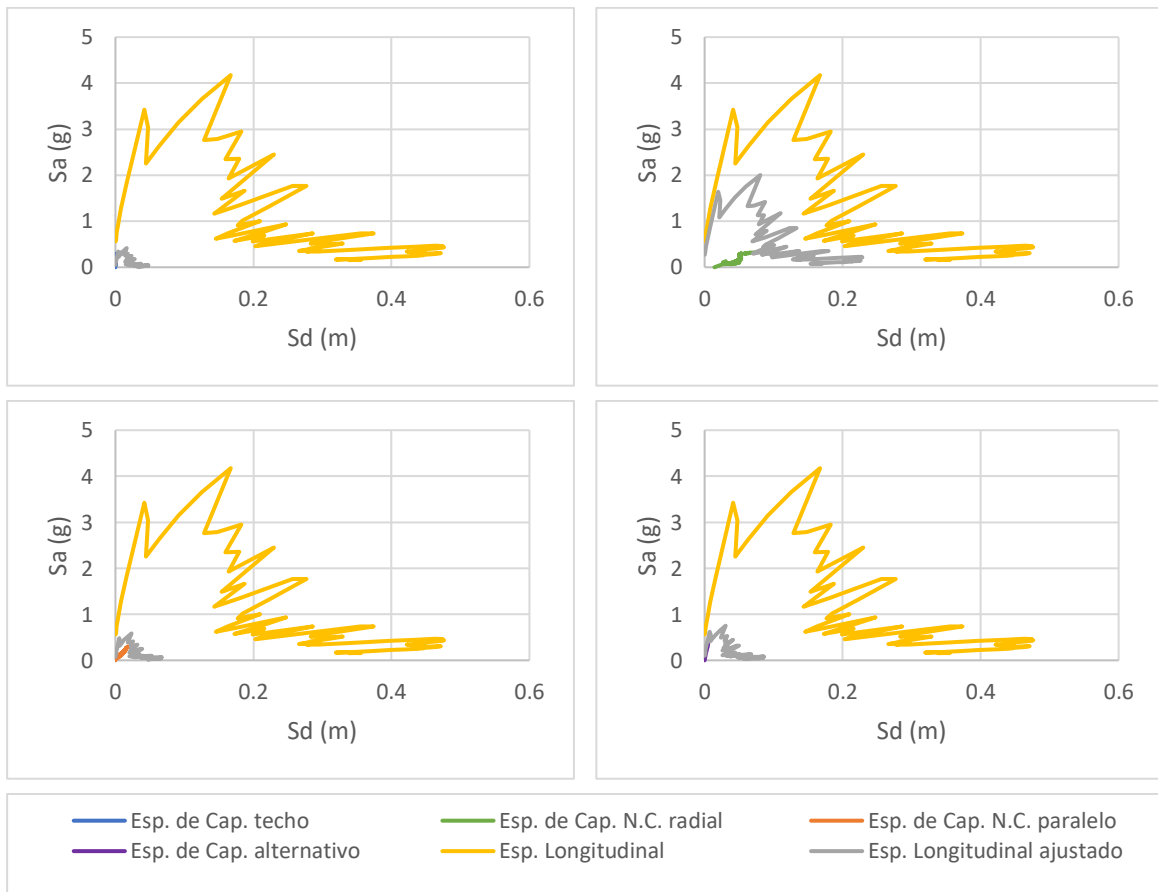


Figura 0-19. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 7

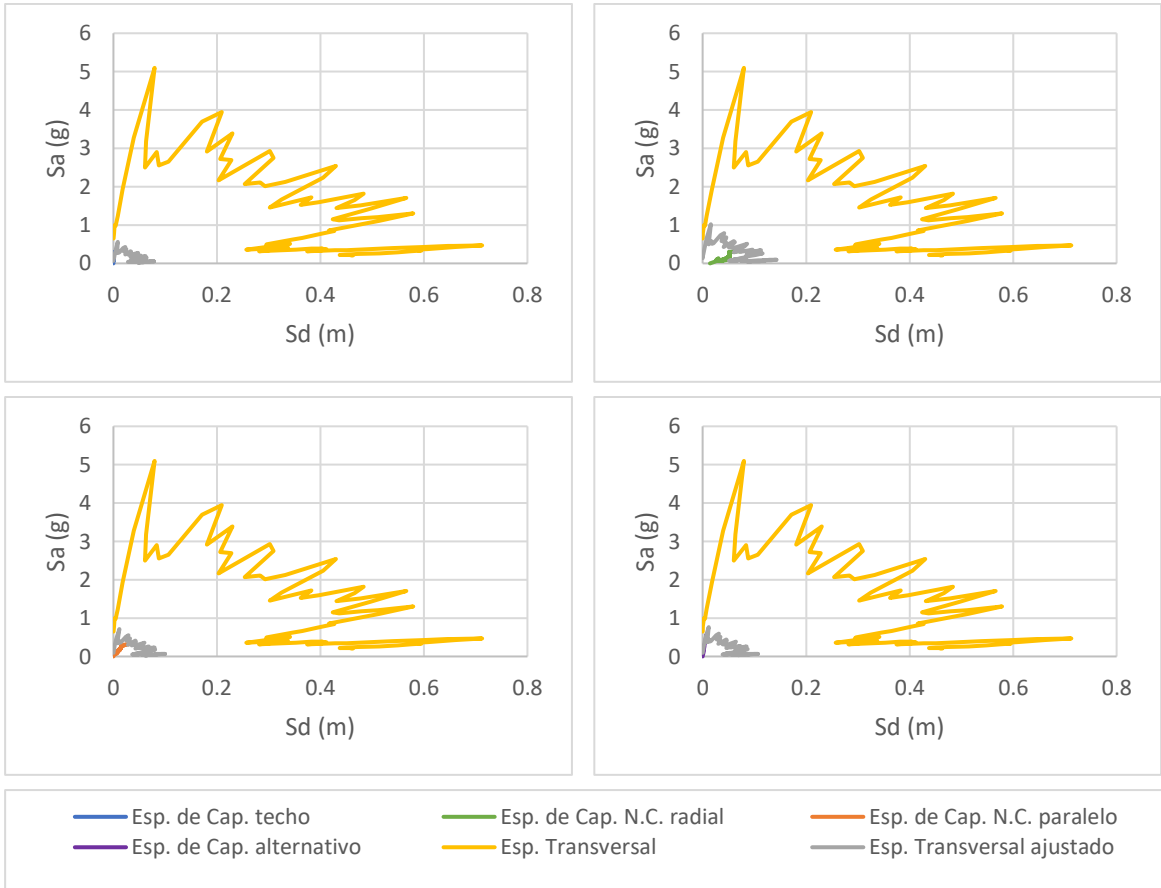


Figura 0-20. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 7

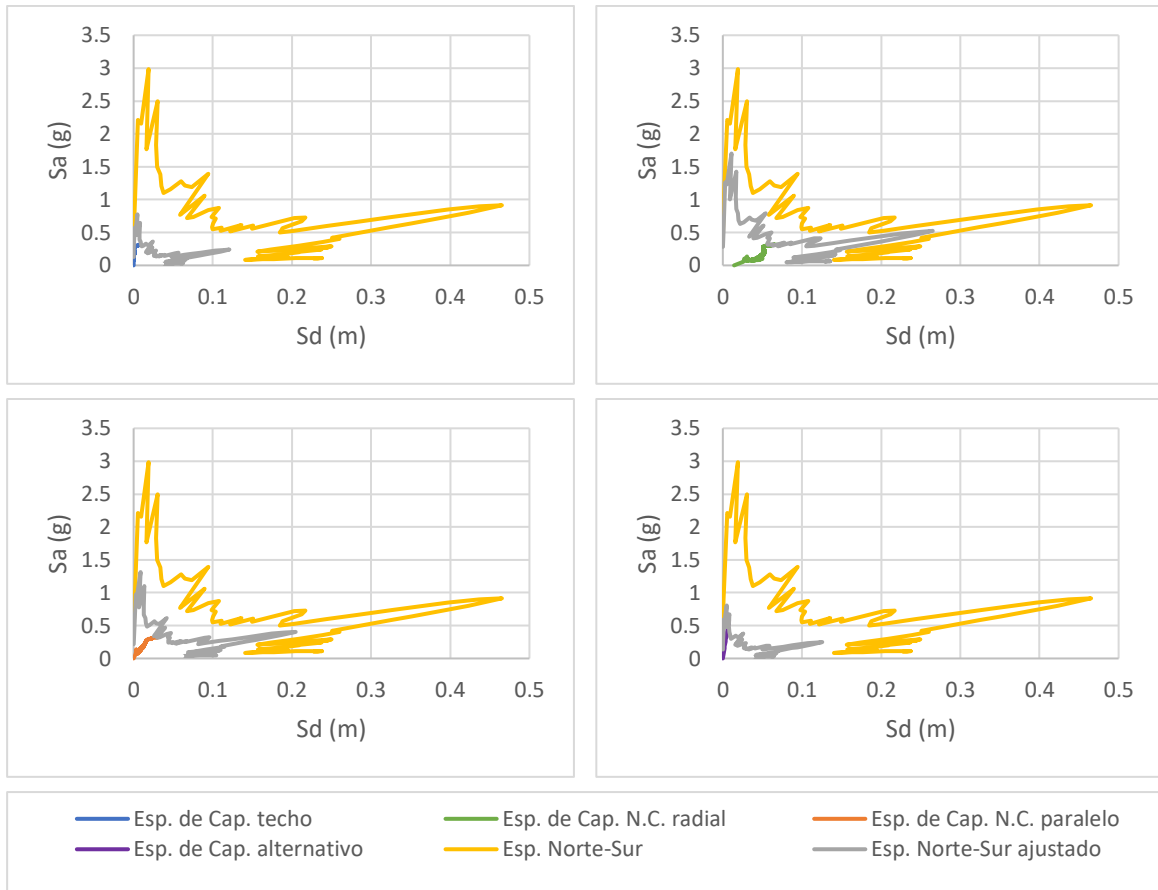


Figura 0-21. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 7

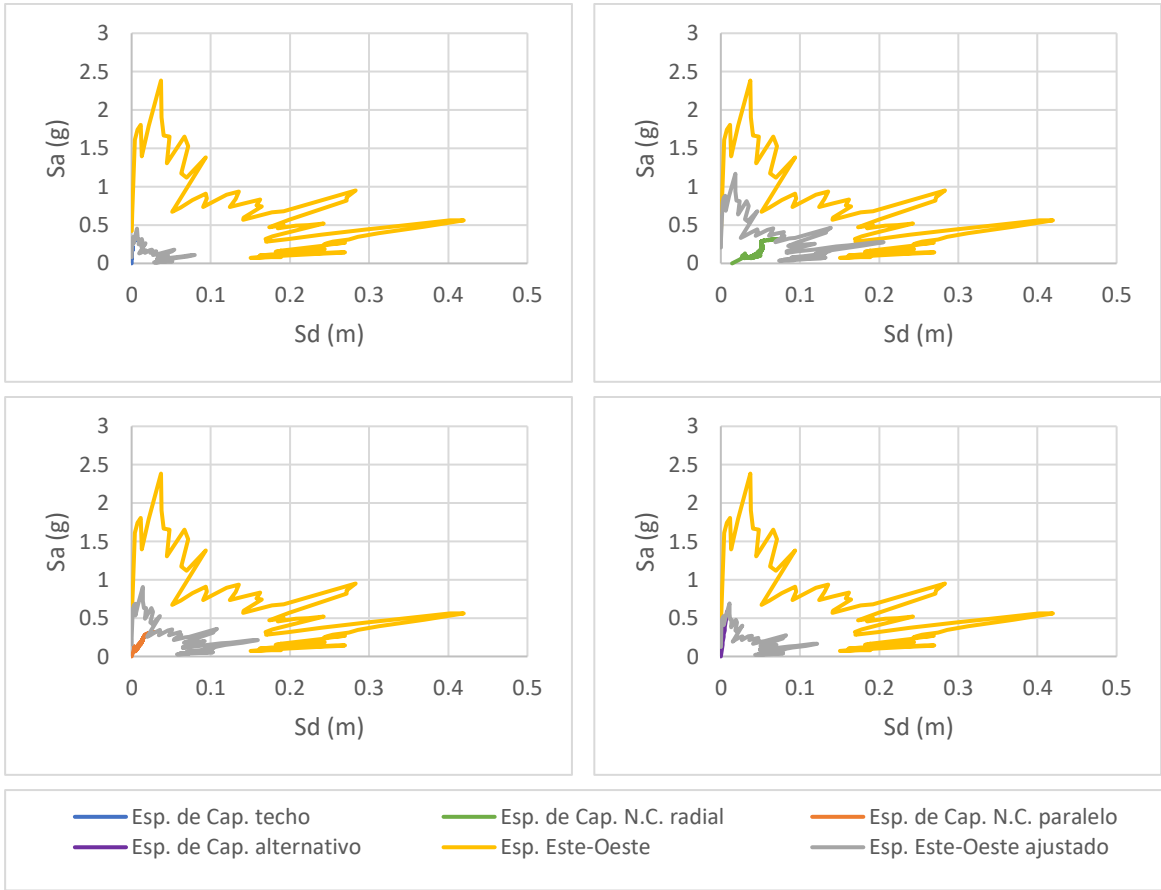


Figura 0-22. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 7

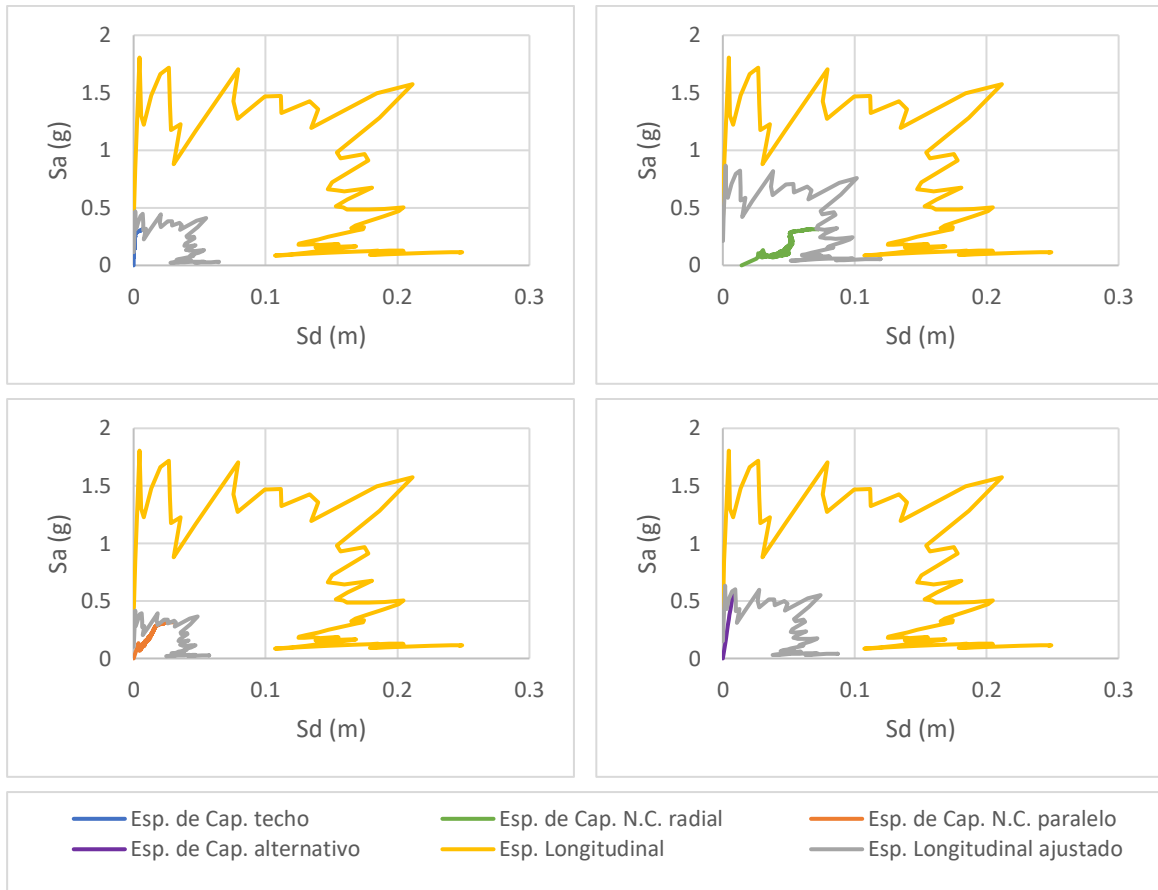


Figura 0-23. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 7

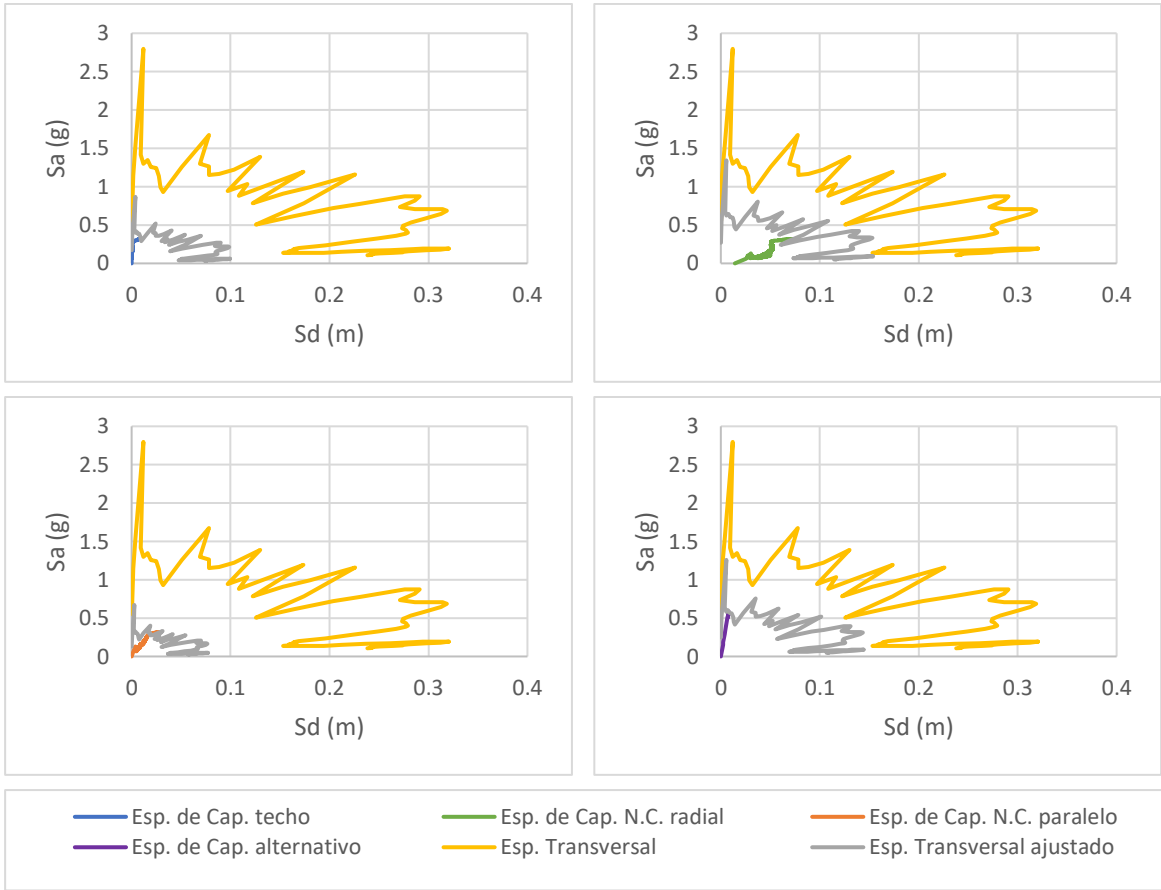


Figura 0-24. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 7

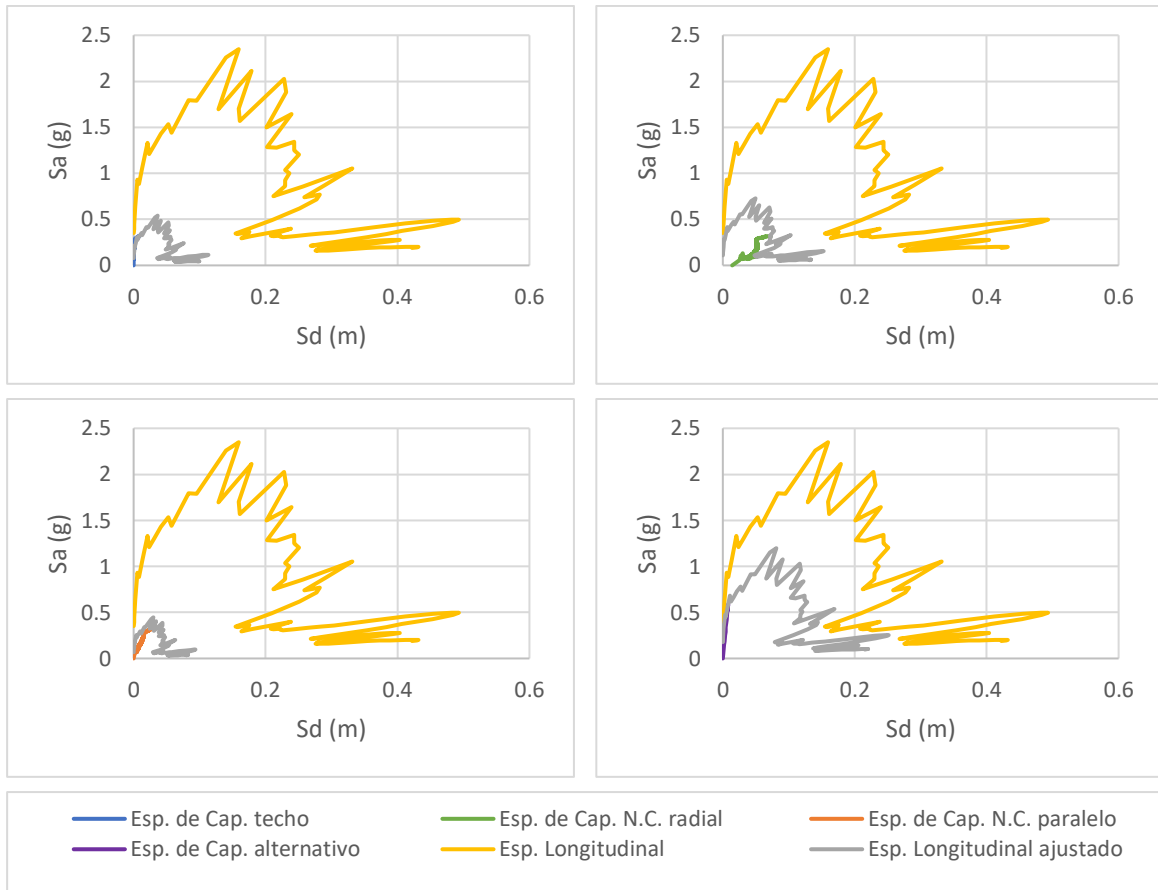


Figura 0-25. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 7

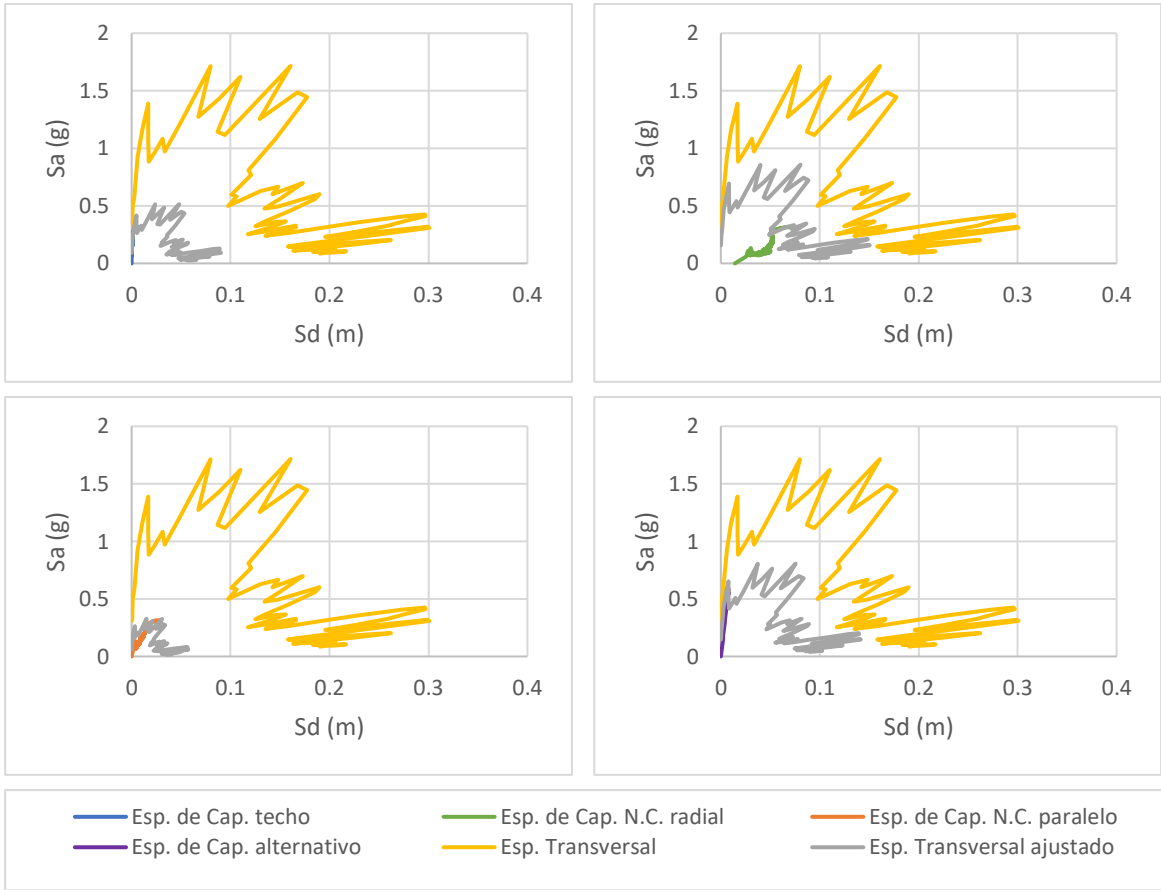


Figura 0-26. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 7



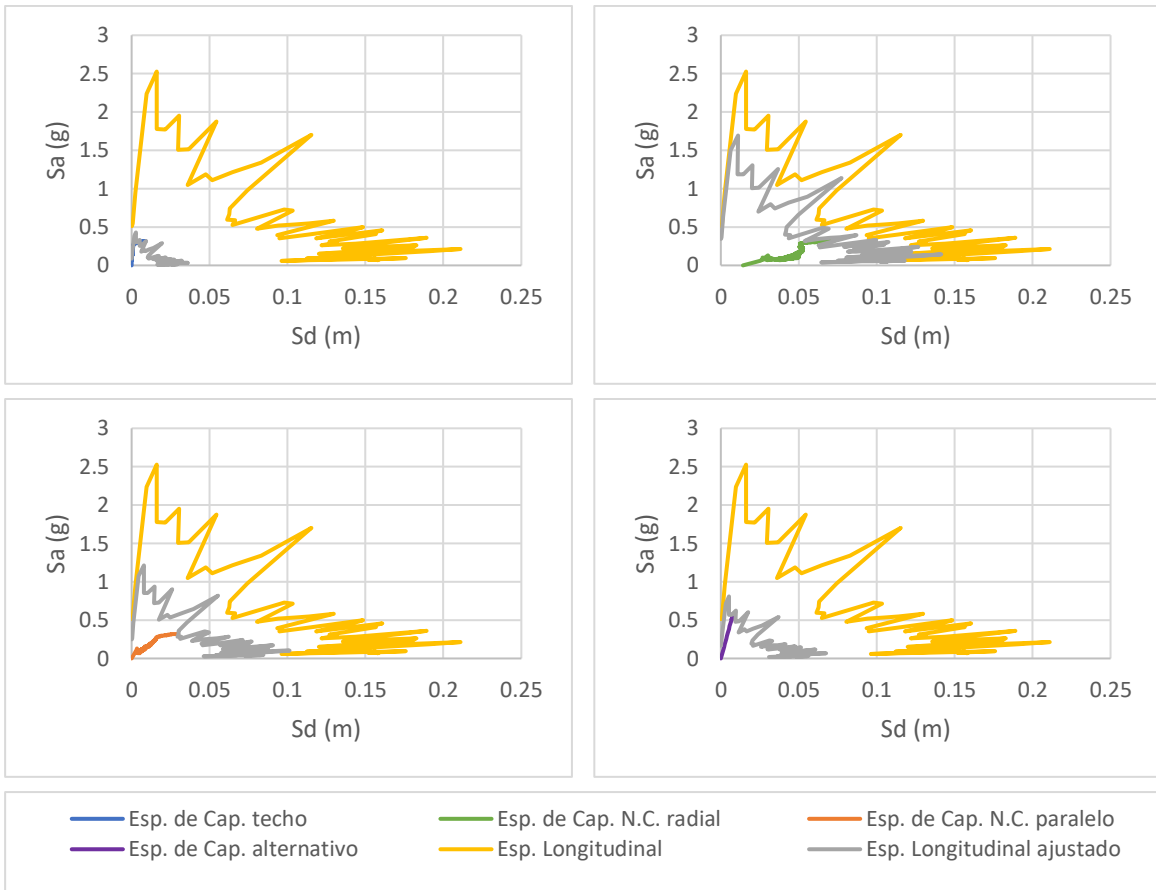


Figura 0-27. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 7

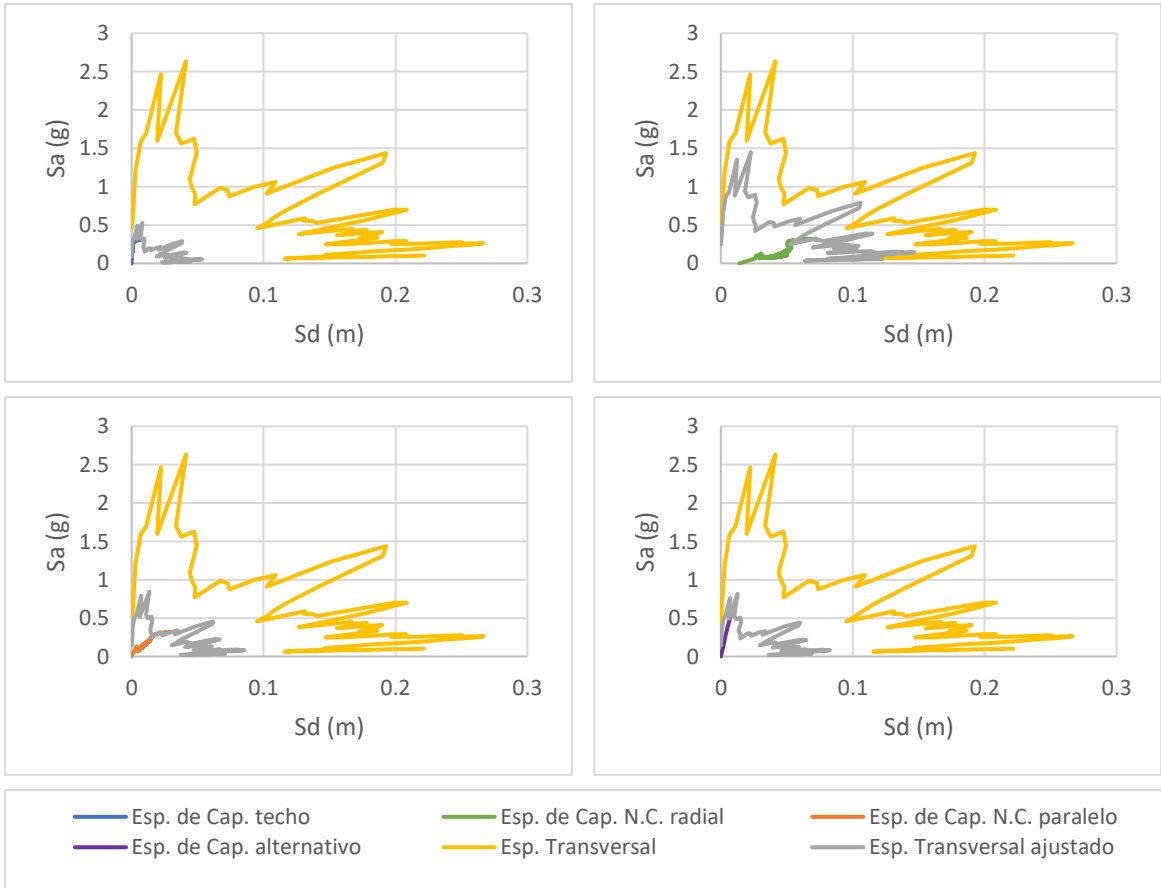


Figura 0-28. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 7

## Anexo B.2

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 10 utilizados para los análisis del presente estudio.

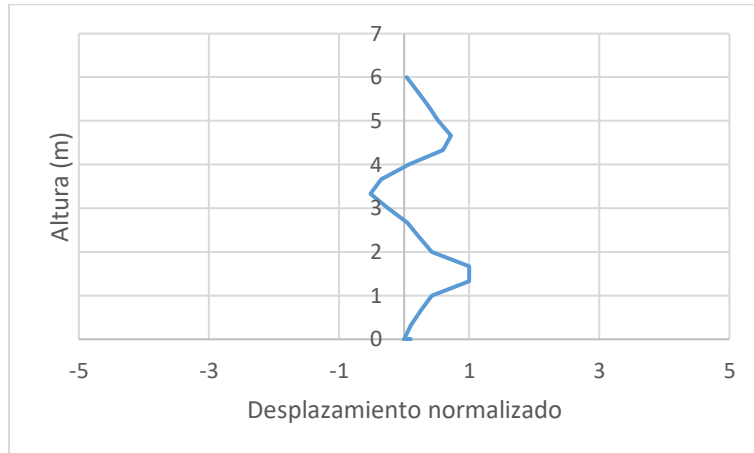


Figura 0-29. Forma modal del Modelo 10

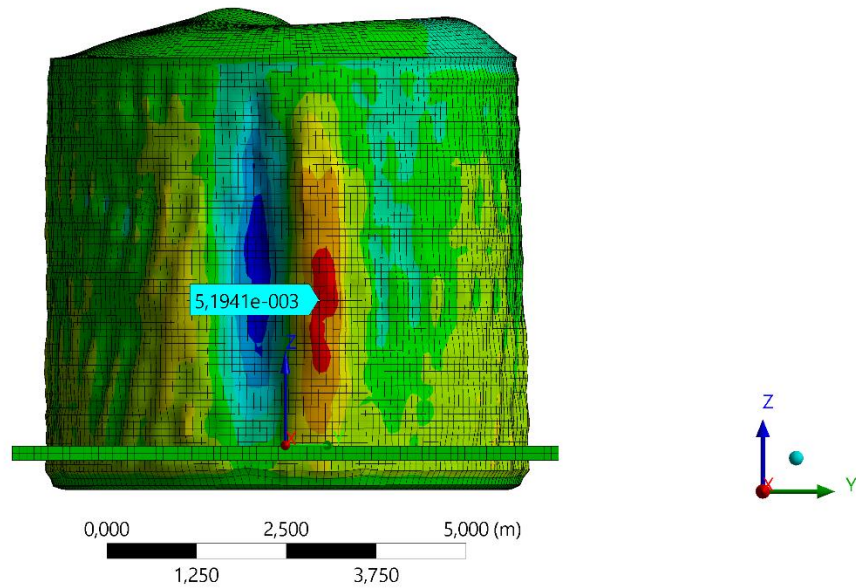


Figura 0-30. Nodo crítico del Modelo 10

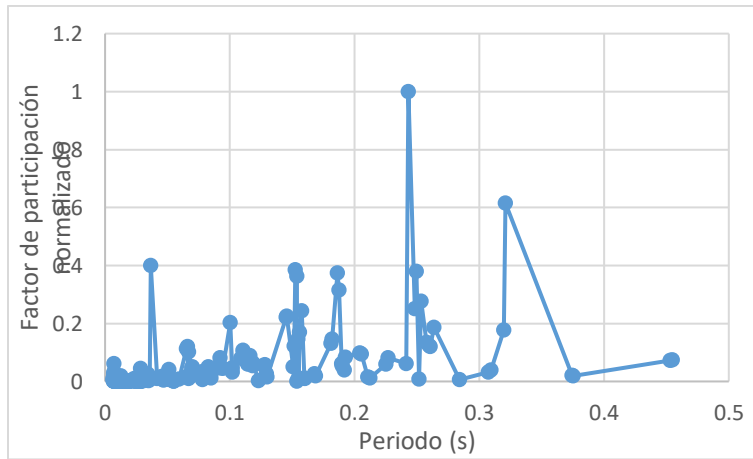


Figura 0-31. Factor de participación normalizado del Modelo 10

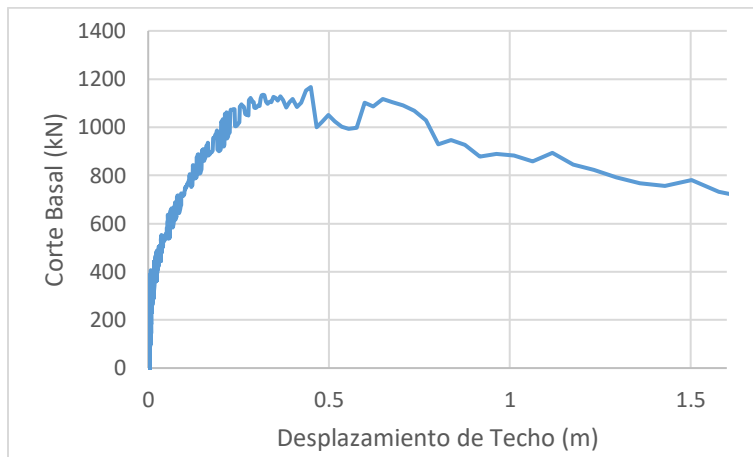


Figura 0-32. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 10

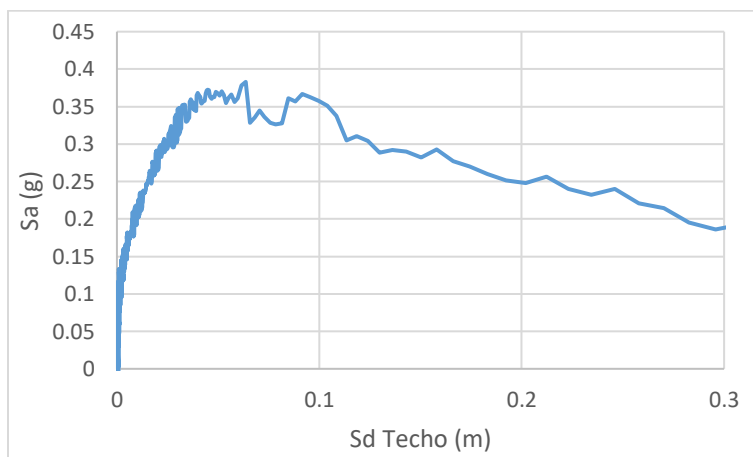


Figura 0-33. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 10

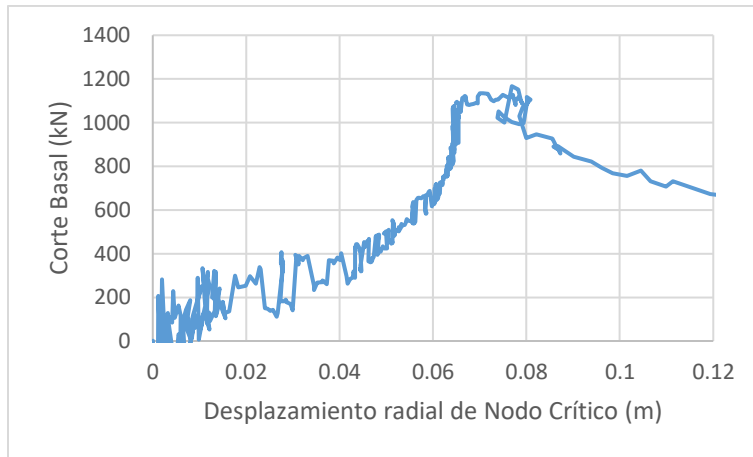


Figura 0-34. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 10

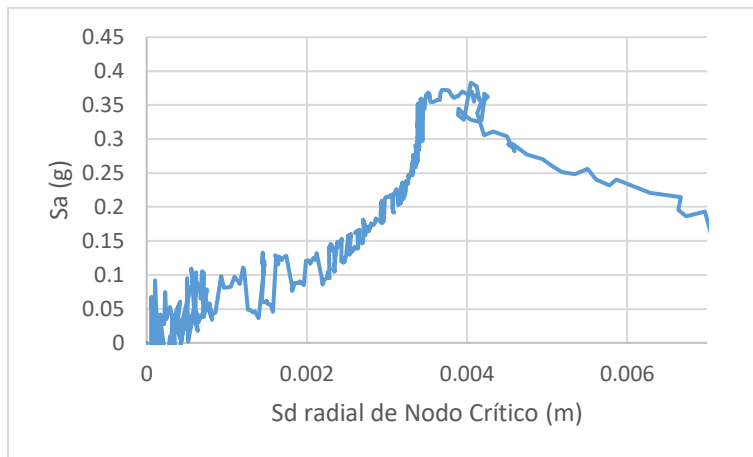


Figura 0-35. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 10

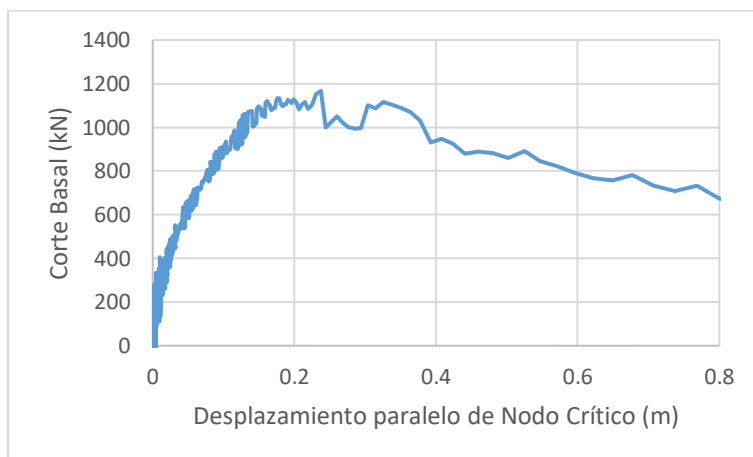


Figura 0-36. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 10

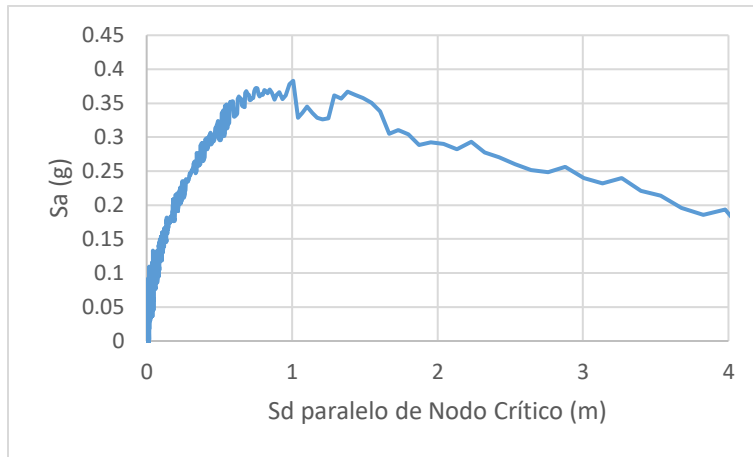


Figura 0-37. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 10

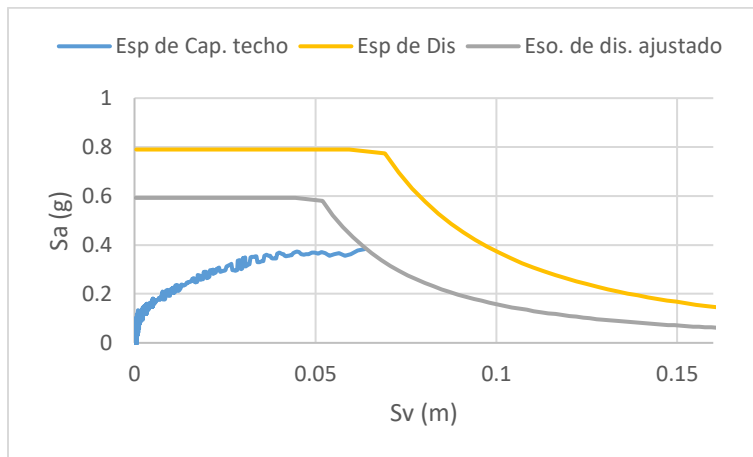


Figura 0-38. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 10 según NCh 2369

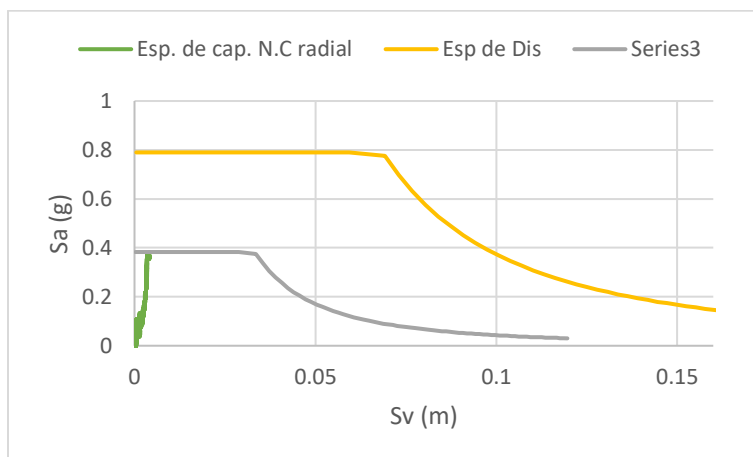


Figura 0-39. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 10 según NCh 2369

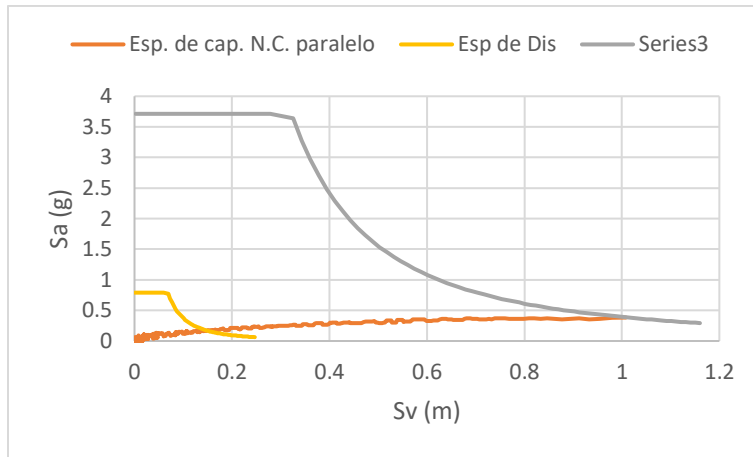


Figura 0-40. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 10 según NCh 2369

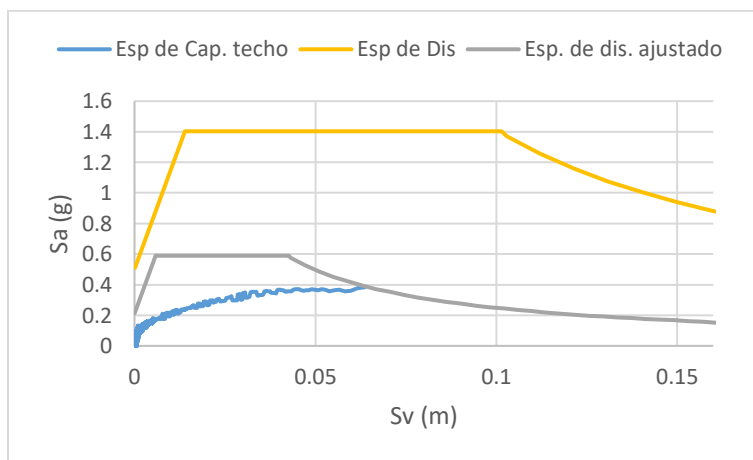


Figura 0-41. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 10 según NCh 2745

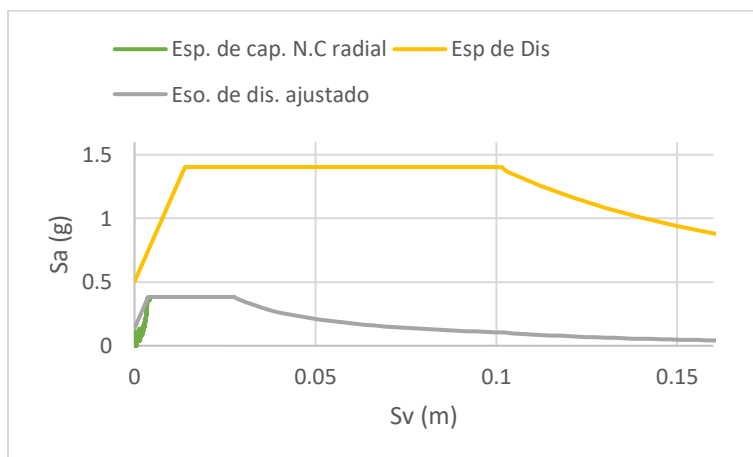


Figura 0-42. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 10 según NCh 2745

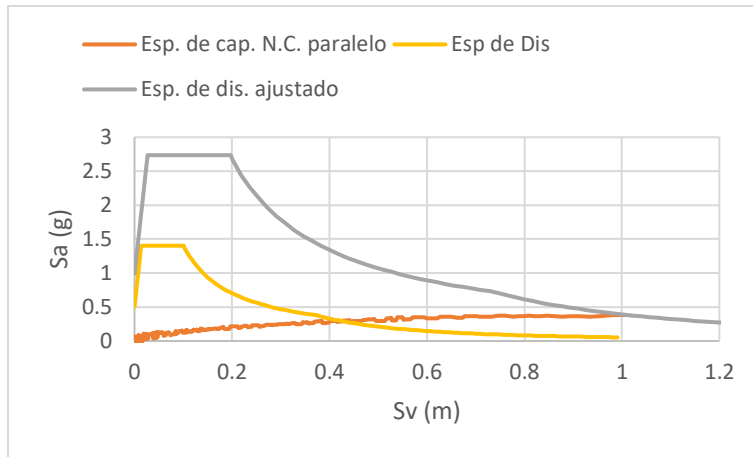


Figura 0-43. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 10 según NCh 2745

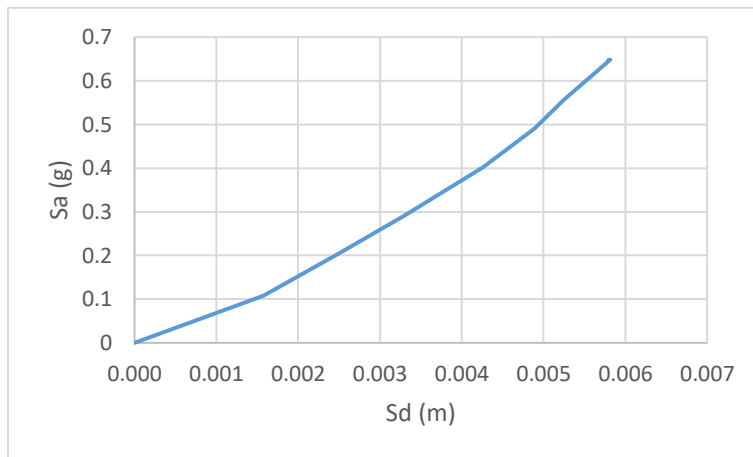


Figura 0-44. Espectro de capacidad para el Modelo 10 según método teórico

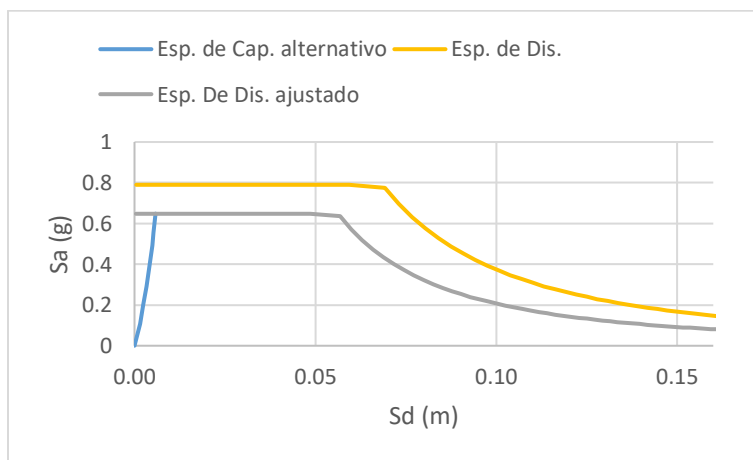


Figura 0-45. Punto de desempeño para el Modelo 10 según método teórico y NCh 2369



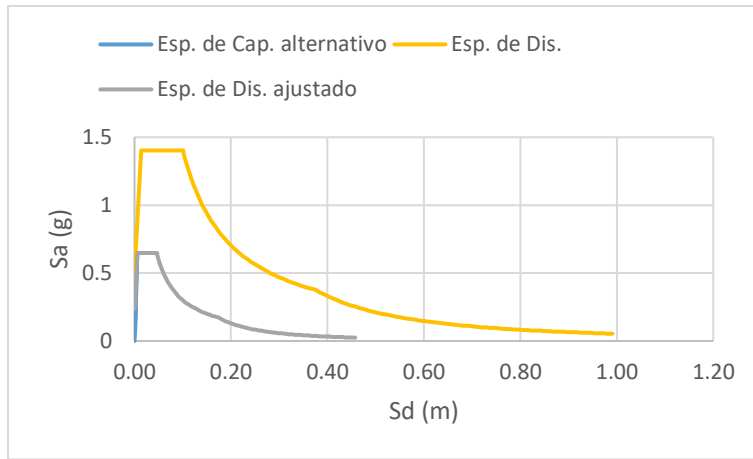


Figura 0-46. Punto de desempeño para el Modelo 10 según método teórico y NCh 2745

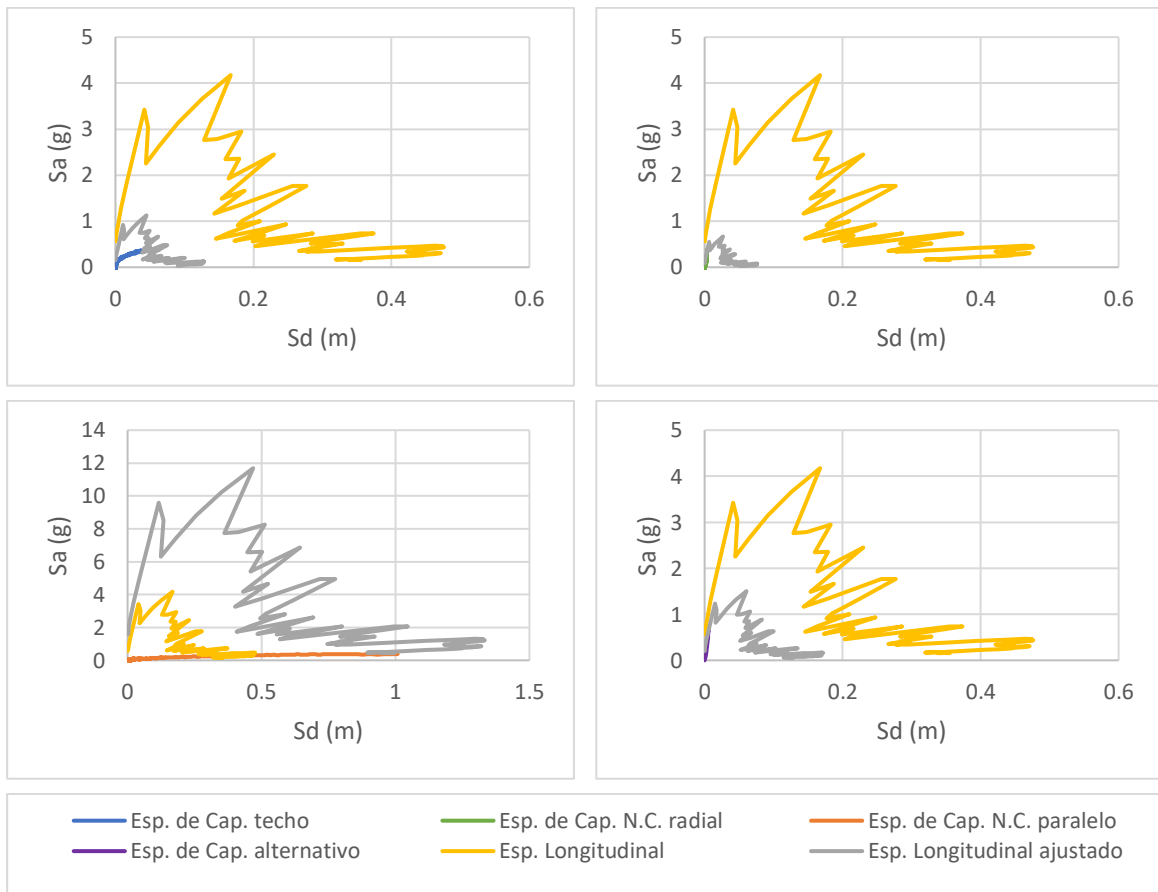


Figura 0-47. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 10

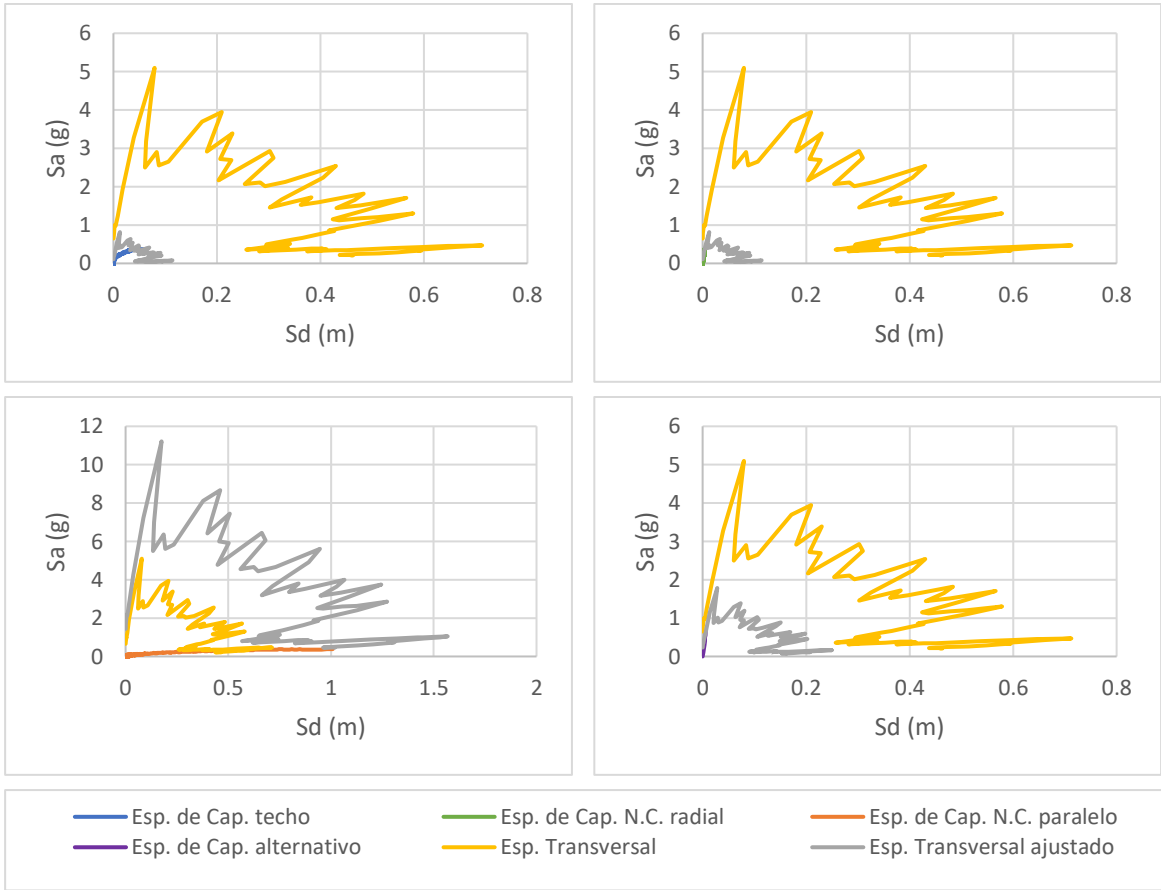


Figura 0-48. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 10

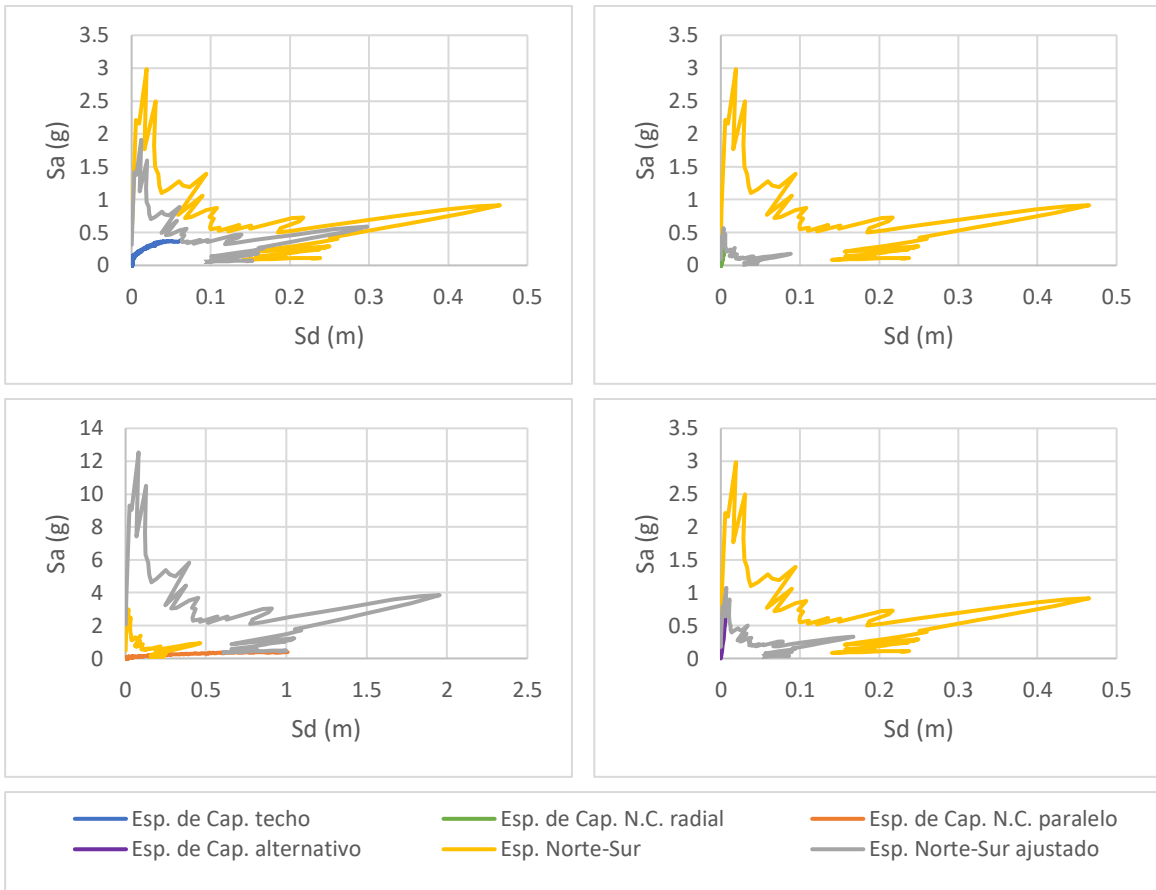


Figura 0-49. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 10

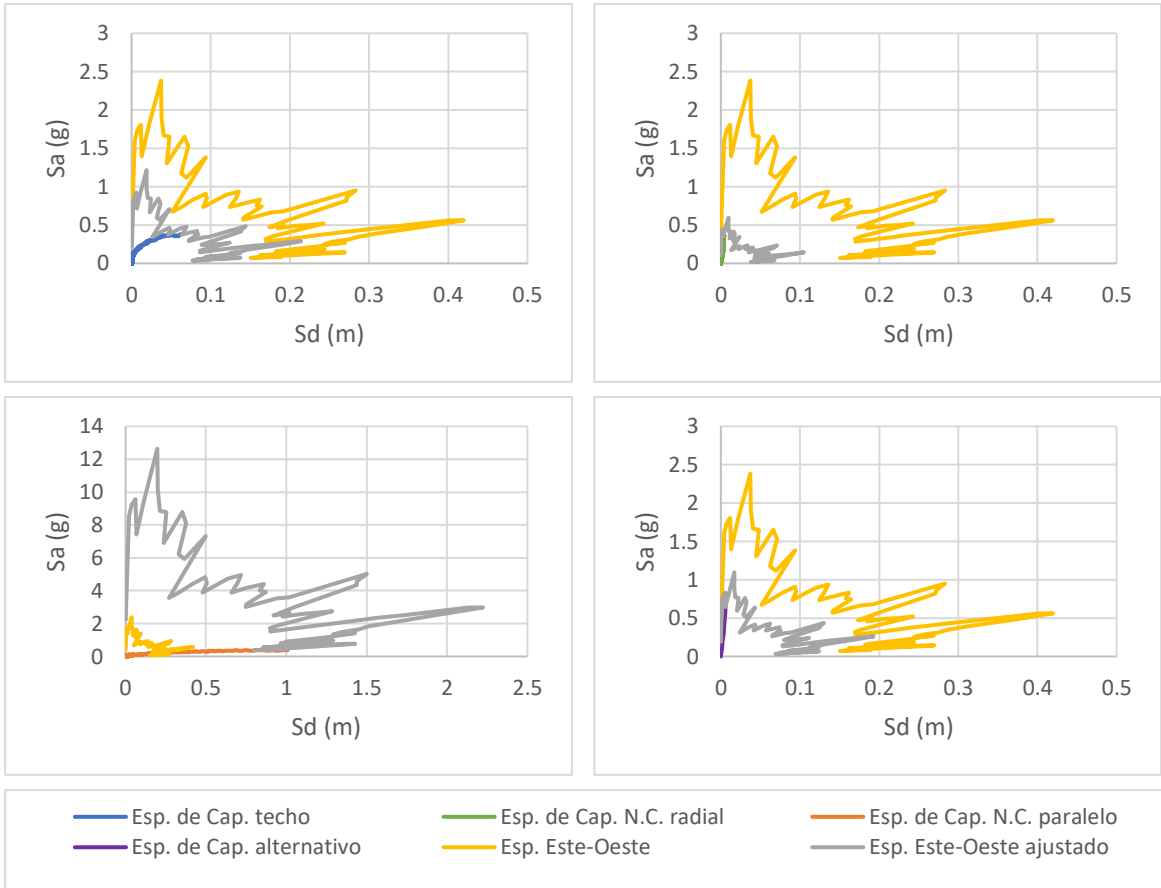


Figura 0-50. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 10

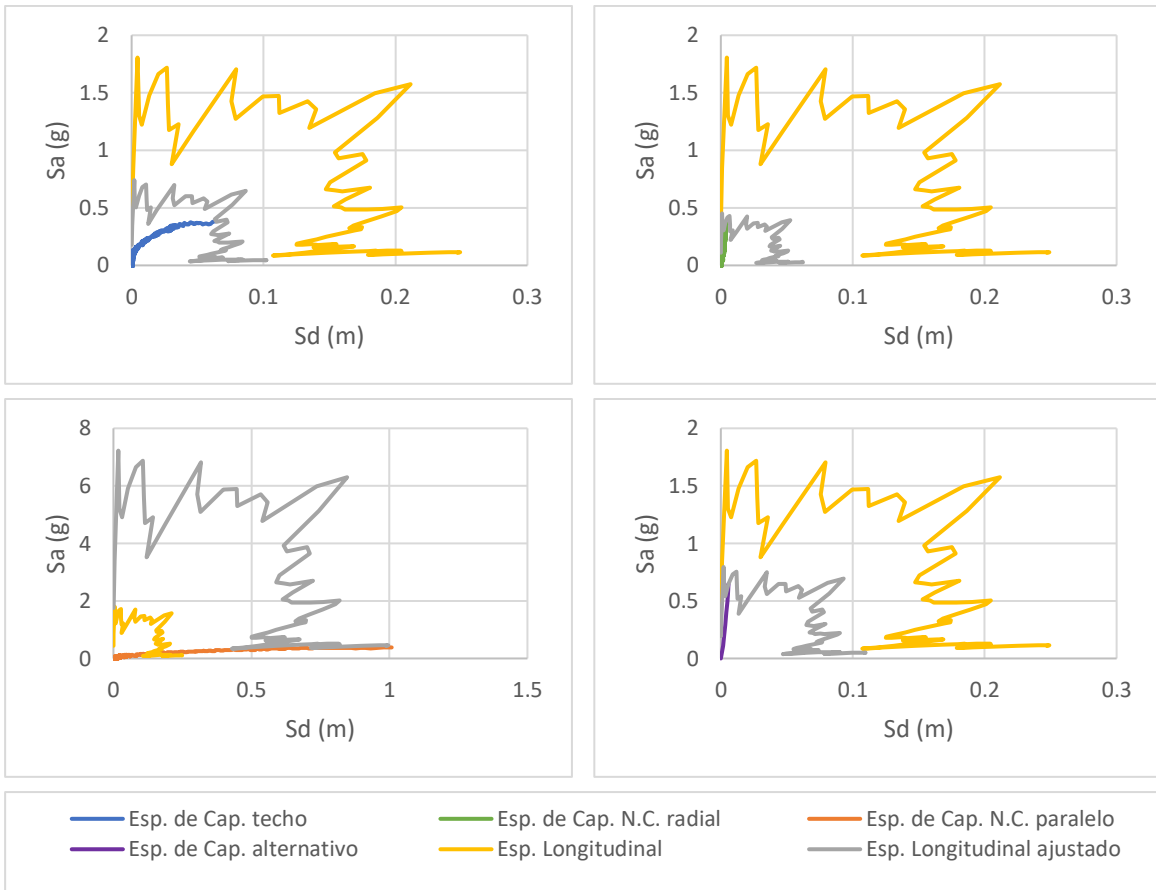


Figura 0-51. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 10

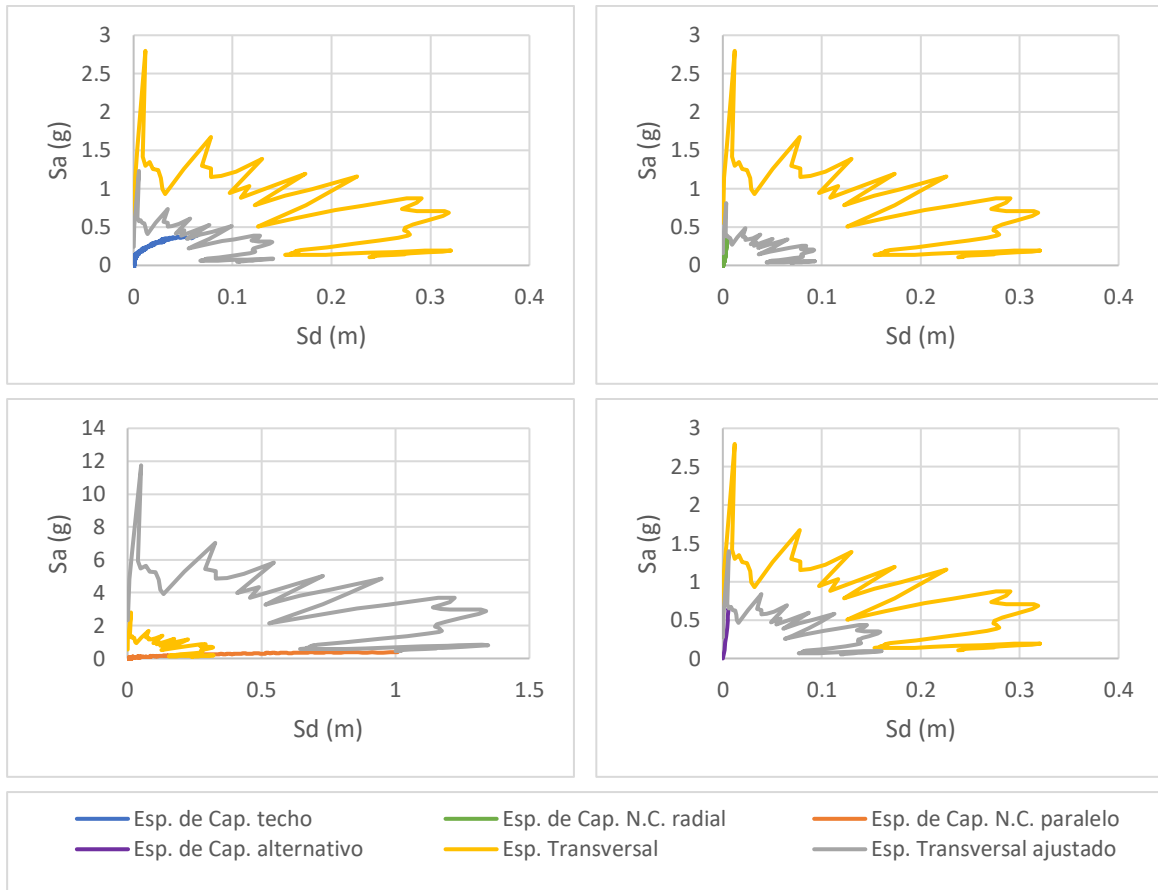


Figura 0-52. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 10

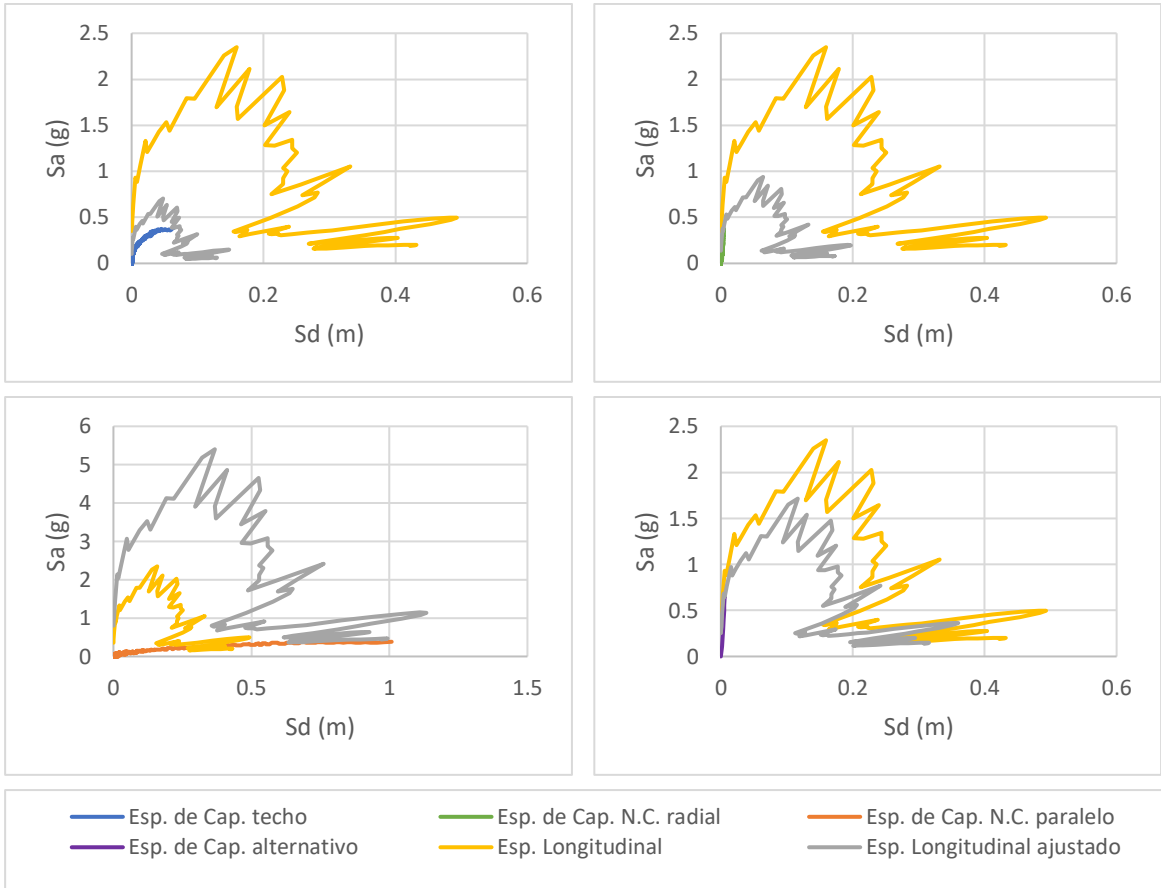


Figura 0-53. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 10

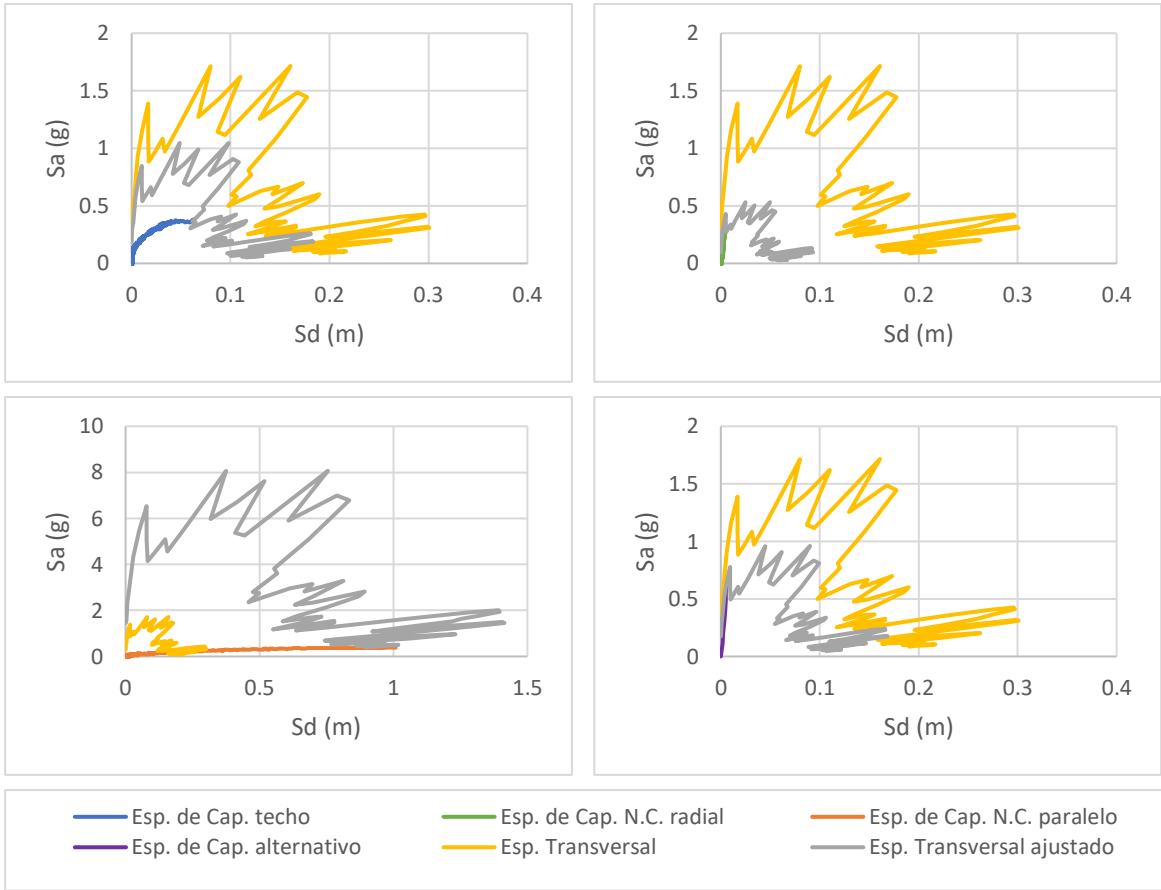


Figura 0-54. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 10



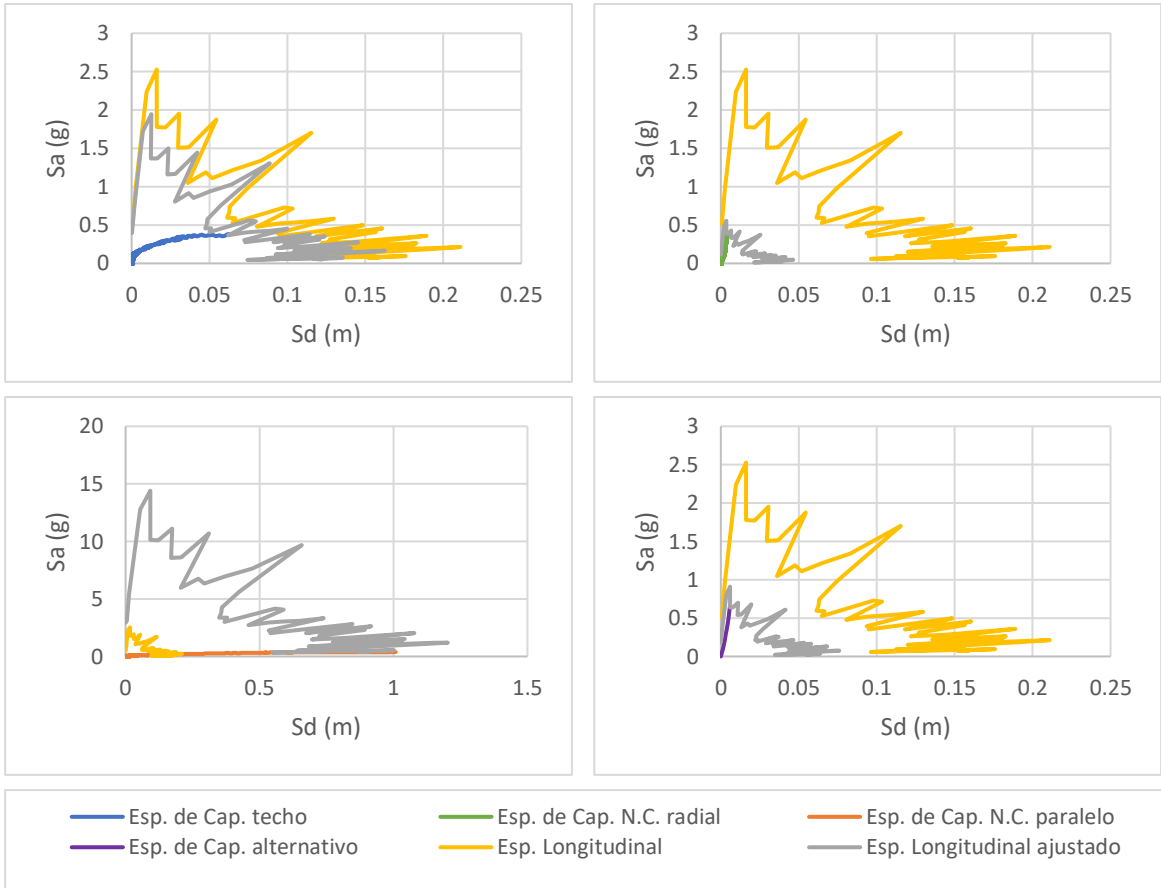


Figura 0-55. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 10

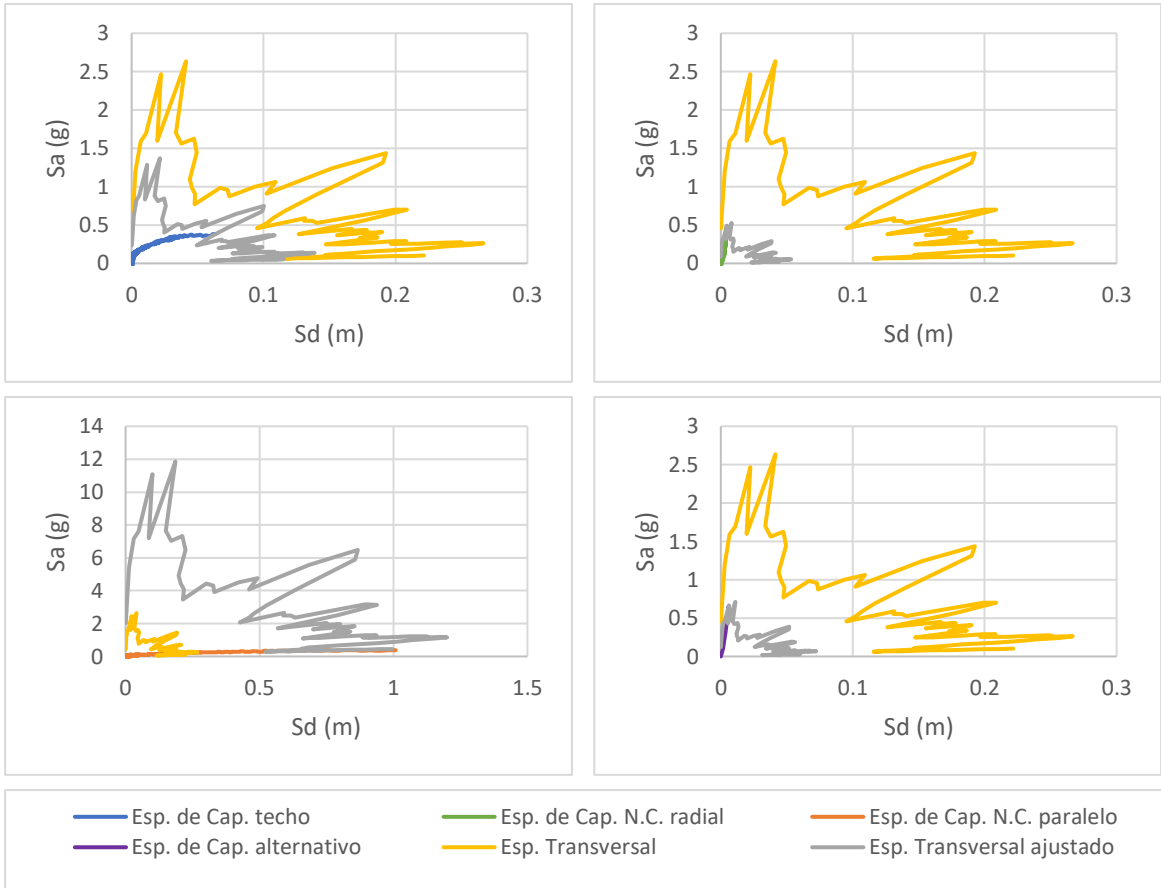


Figura 0-56. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 10

### Anexo B.3

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 12 utilizados para los análisis del presente estudio.

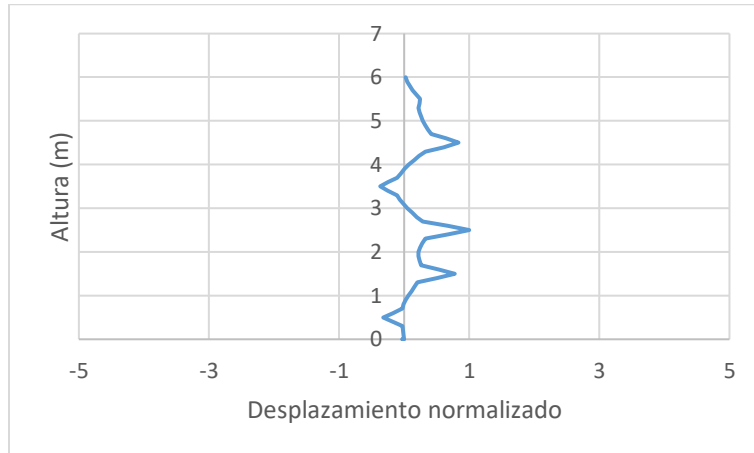


Figura 0-57. Forma modal del Modelo 12

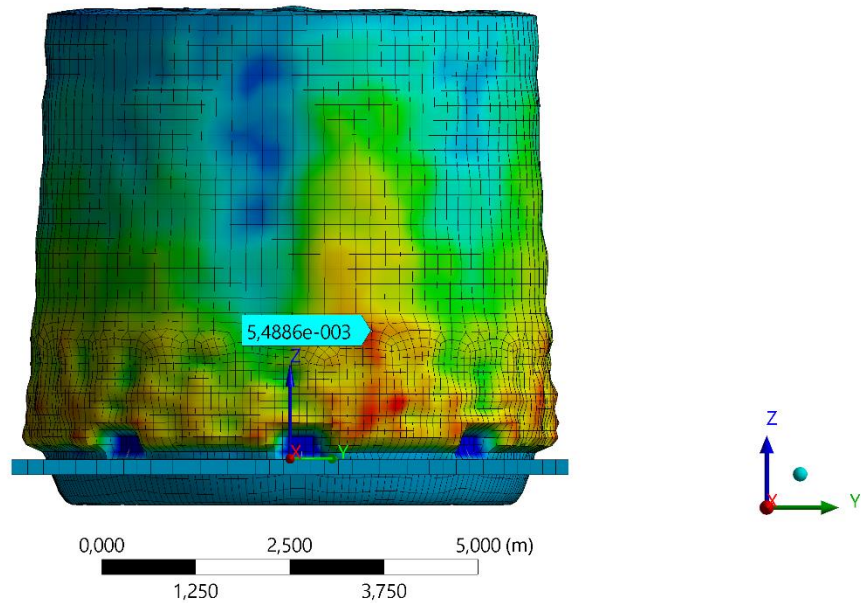


Figura 0-58. Nodo crítico del Modelo 12

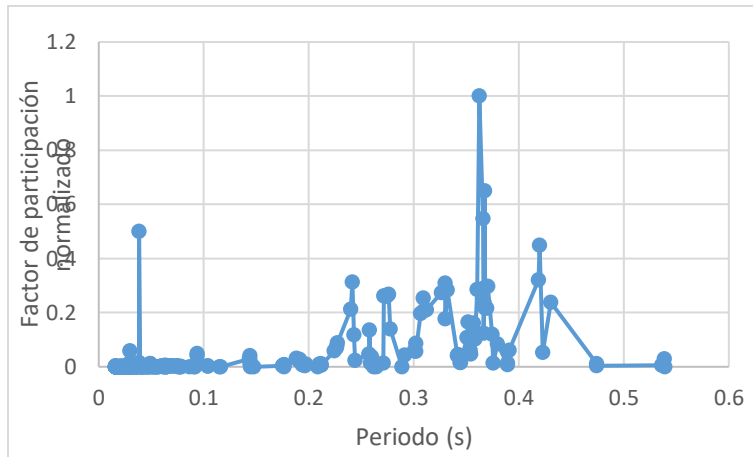


Figura 0-59. Factor de participación normalizado del Modelo 12

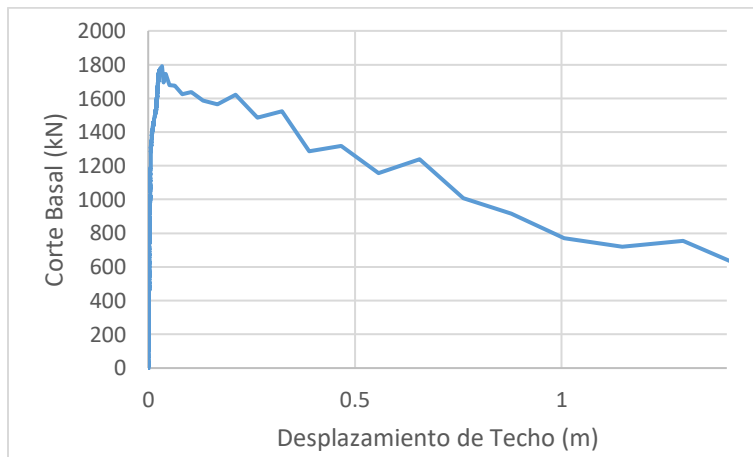


Figura 0-60. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 12

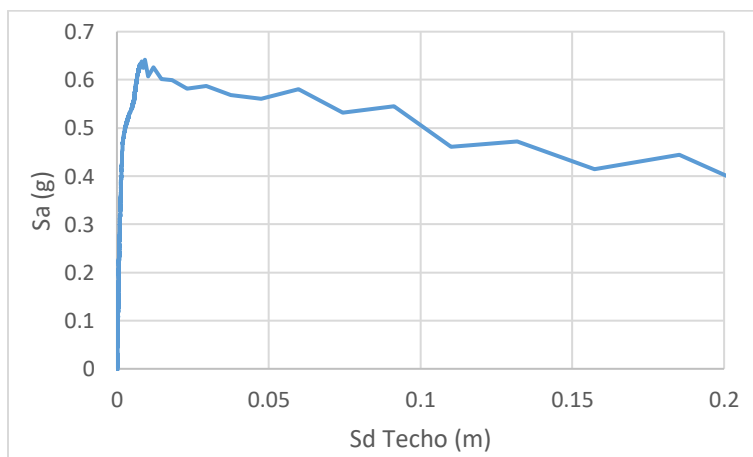


Figura 0-61. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 12

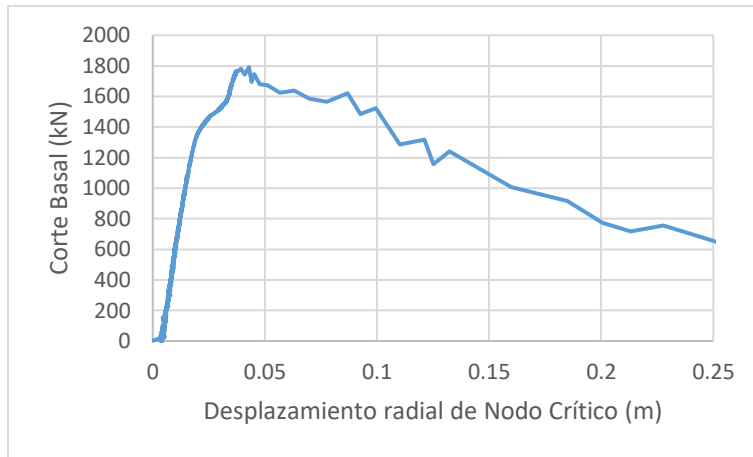


Figura 0-62. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 12

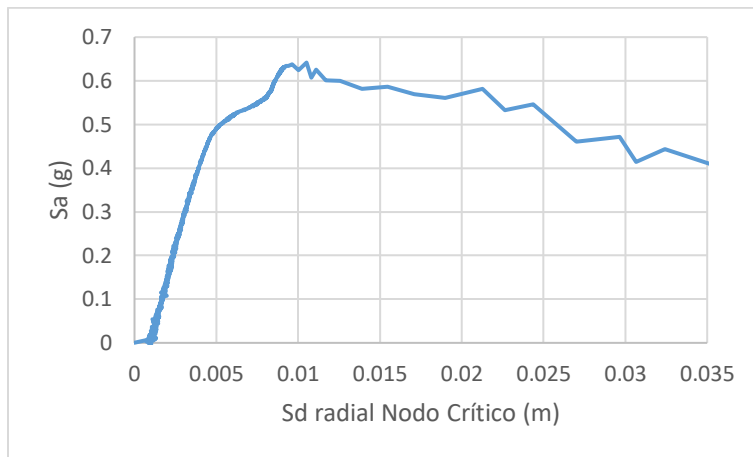


Figura 0-63. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 12

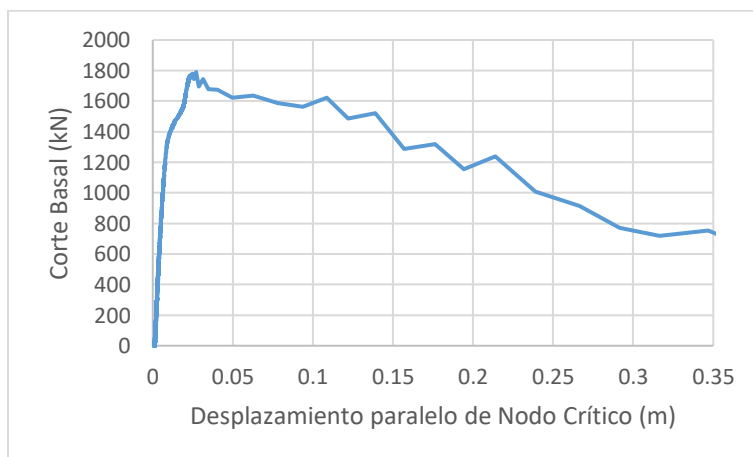


Figura 0-64. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 12

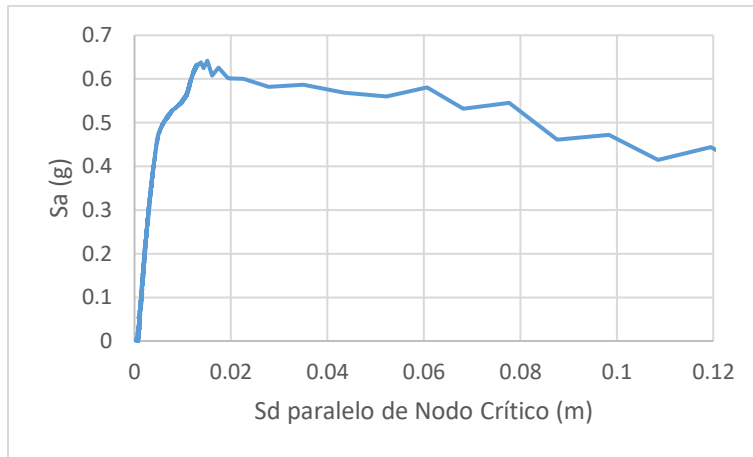


Figura 0-65. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 12

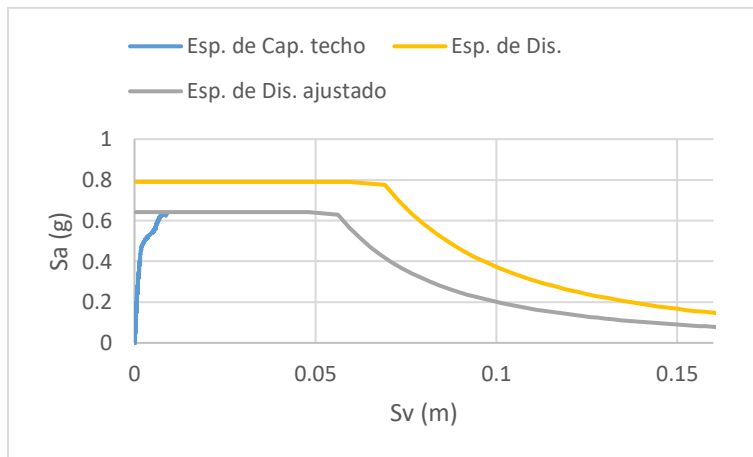


Figura 0-66. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 12 según NCh 2369

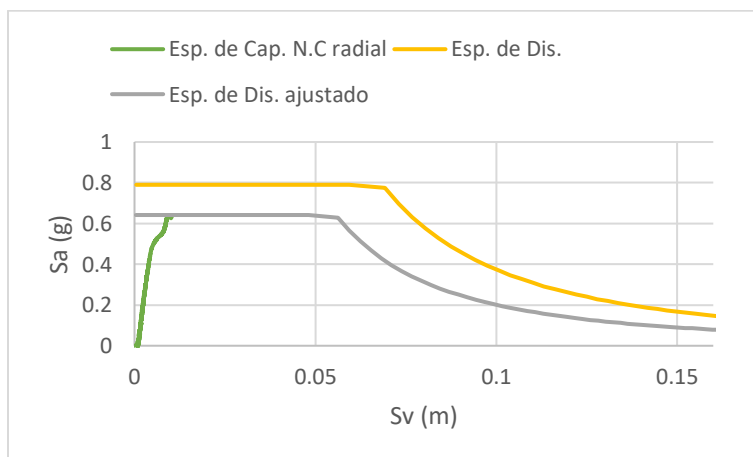


Figura 0-67. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 5 según NCh 2369

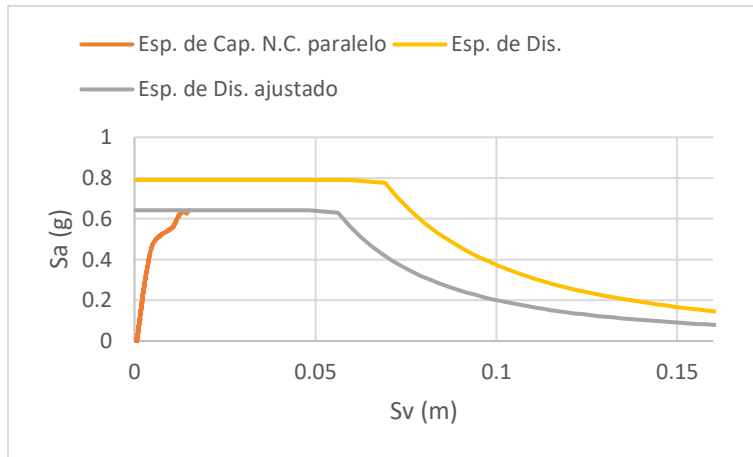


Figura 0-68. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 12 según NCh 2369

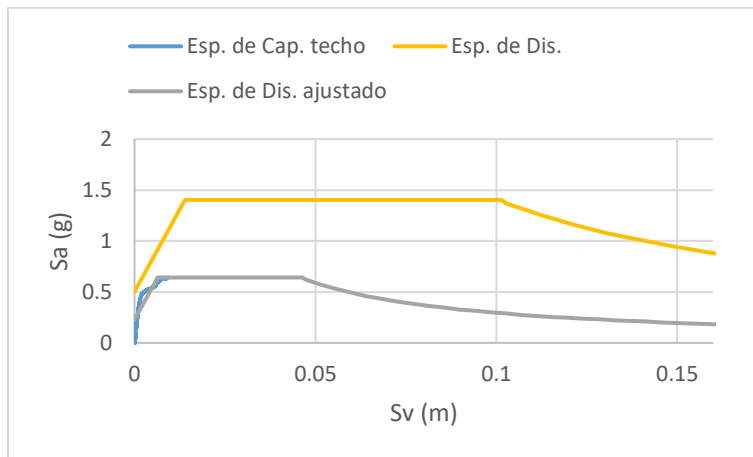


Figura 0-69. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 12 según NCh 2745

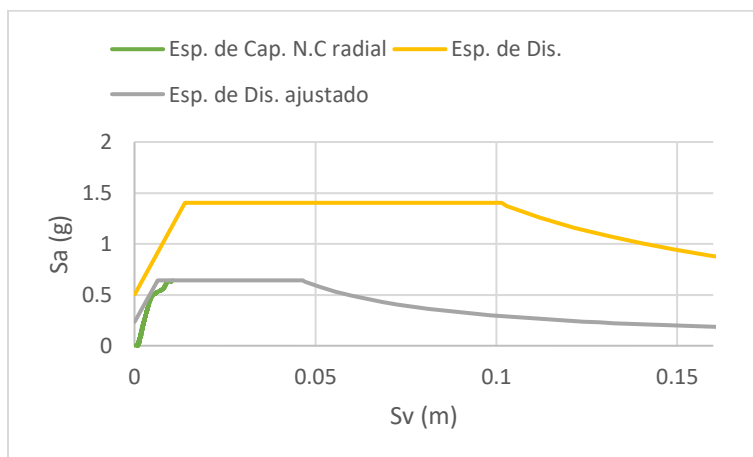


Figura 0-70. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 12 según NCh 2745

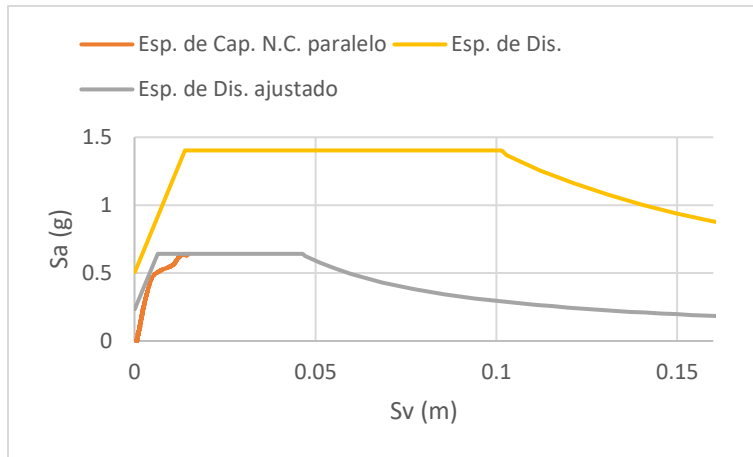


Figura 0-71. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 12 según NCh 2745

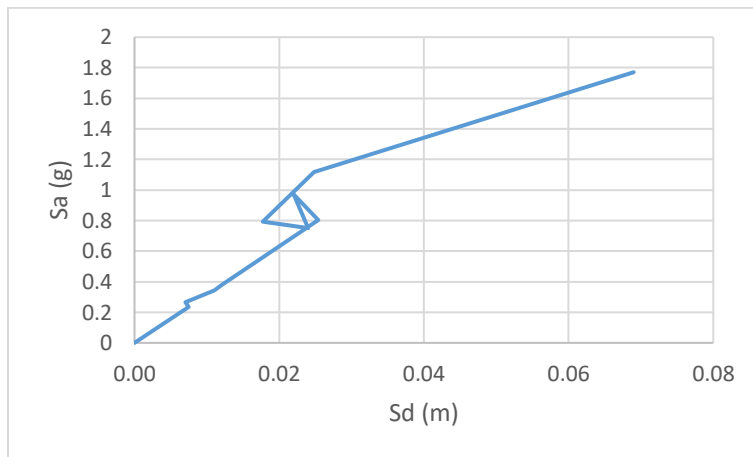


Figura 0-72. Espectro de capacidad para el Modelo 12 según método teórico

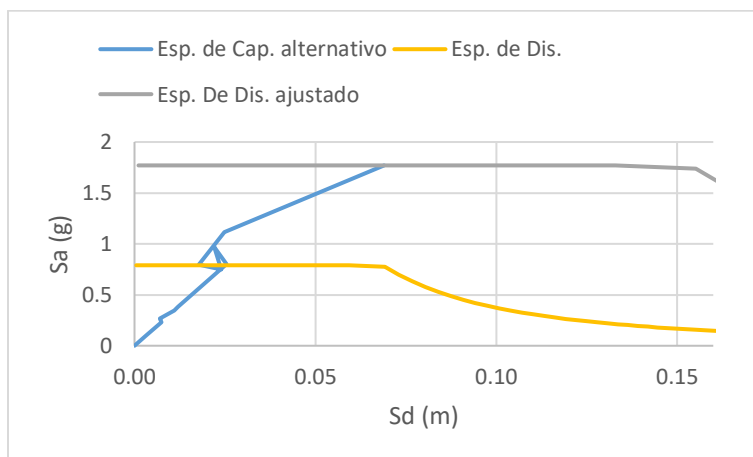


Figura 0-73. Punto de desempeño para el Modelo 12 según método teórico y NCh 2369



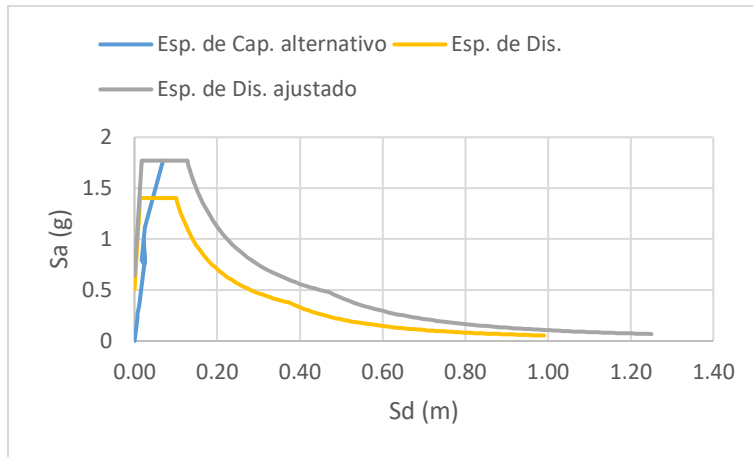


Figura 0-74. Punto de desempeño para el Modelo 12 según método teórico y NCh 2745

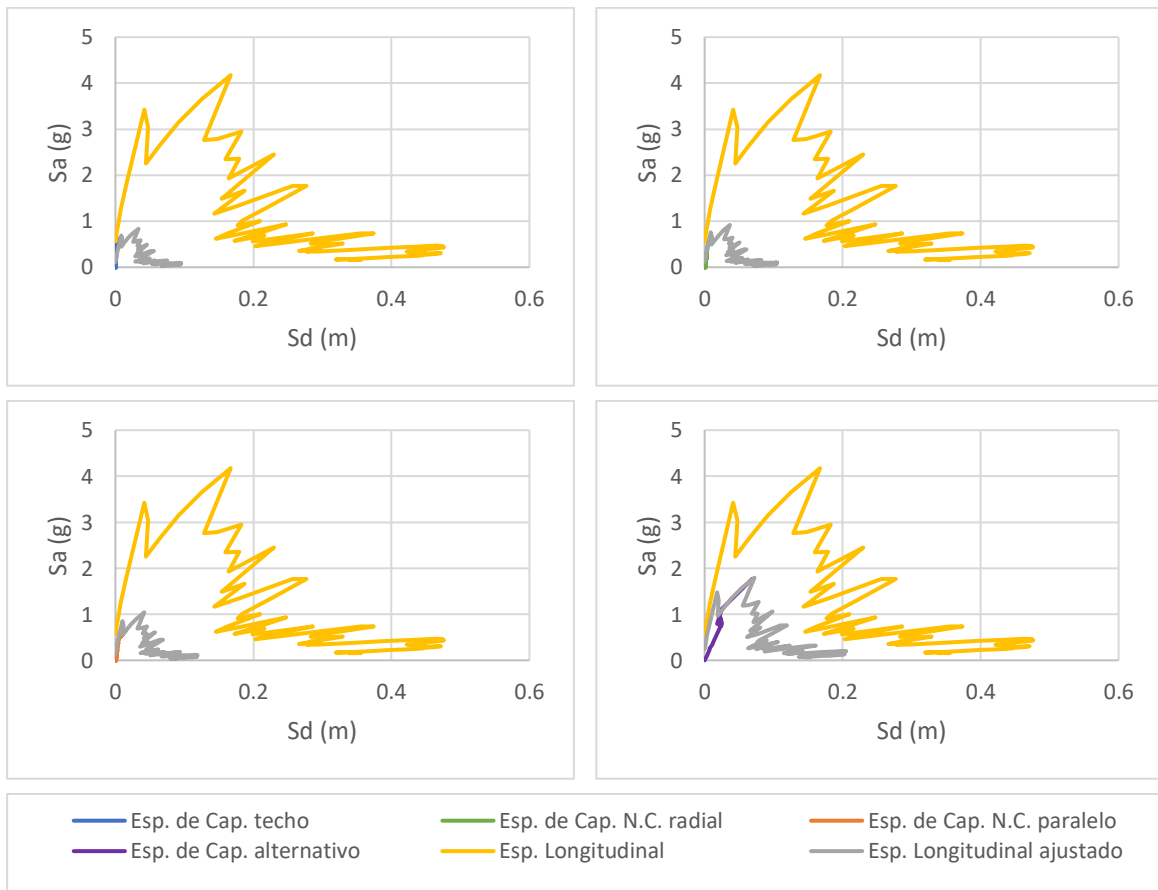


Figura 0-75. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 12

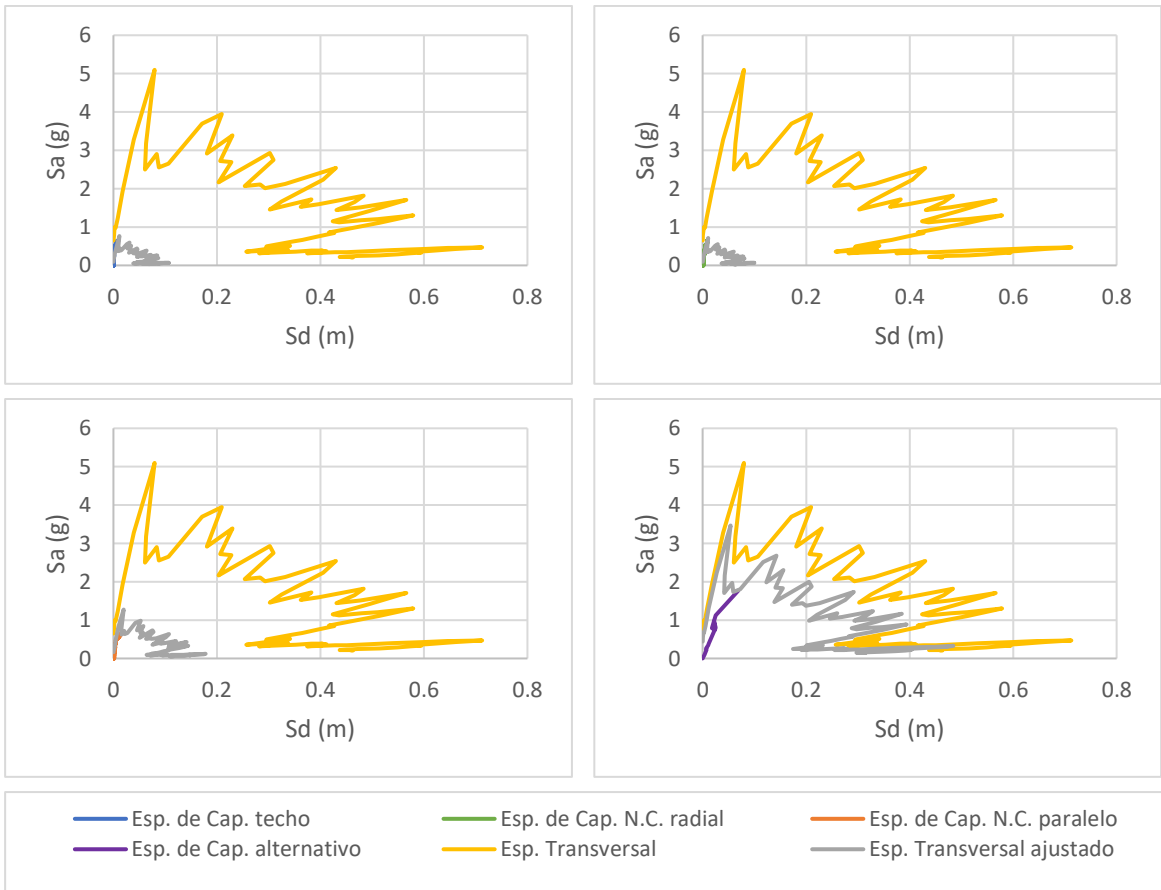


Figura 0-76. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 12

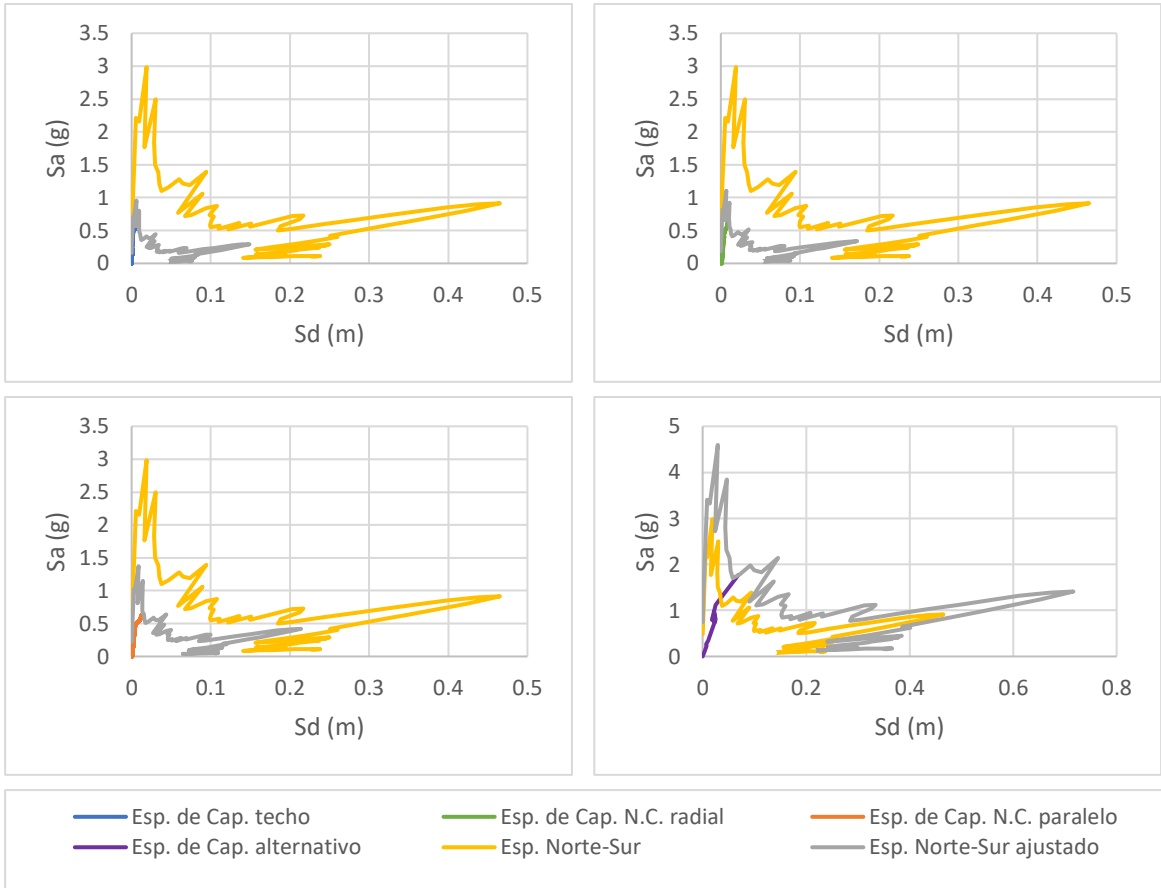


Figura 0-77. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 12

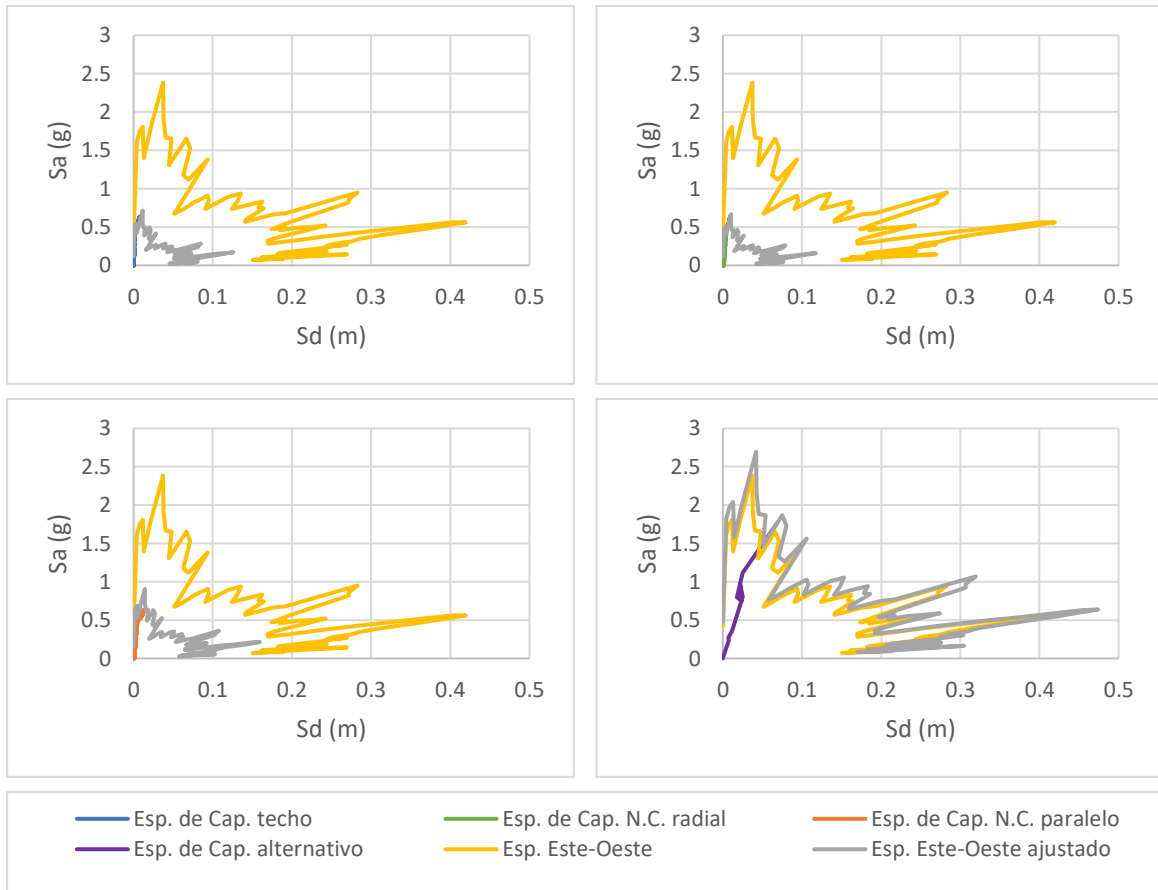


Figura 0-78. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-Oeste, Modelo 12

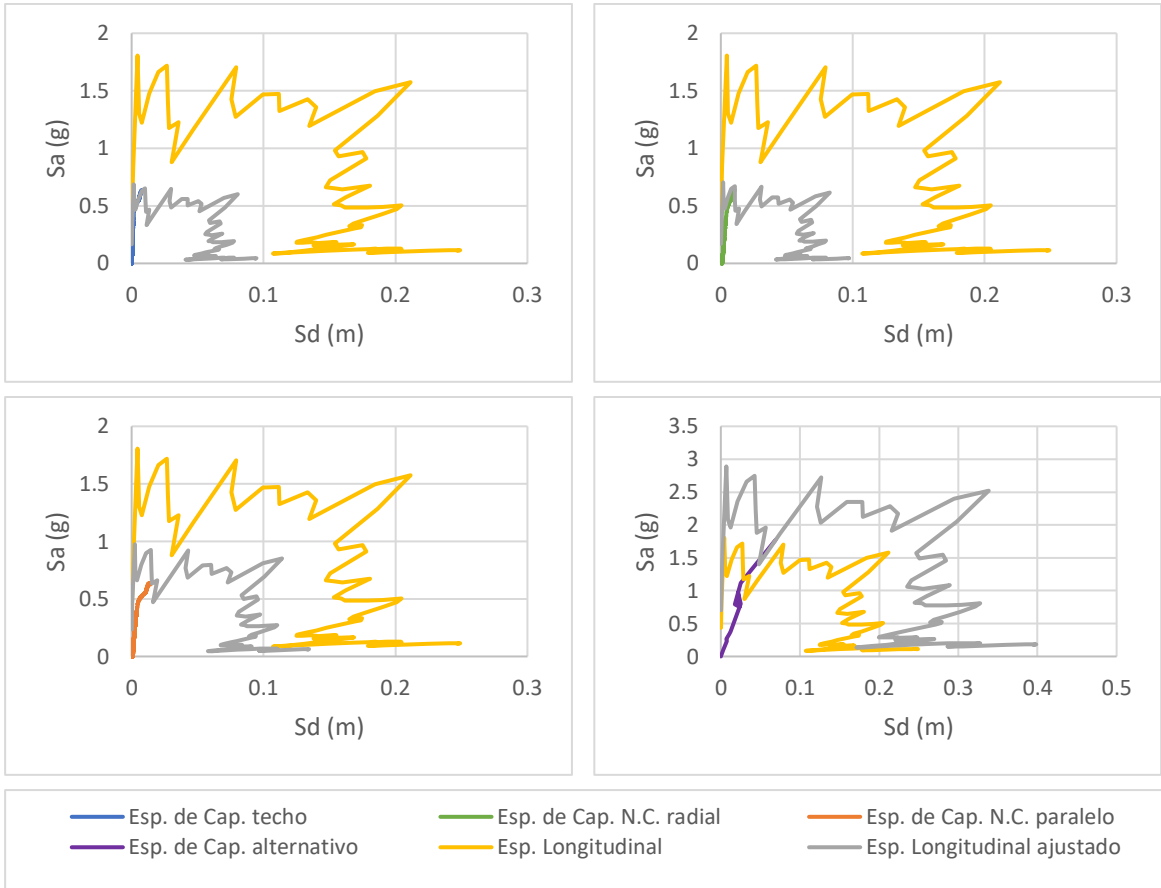


Figura 0-79. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 12

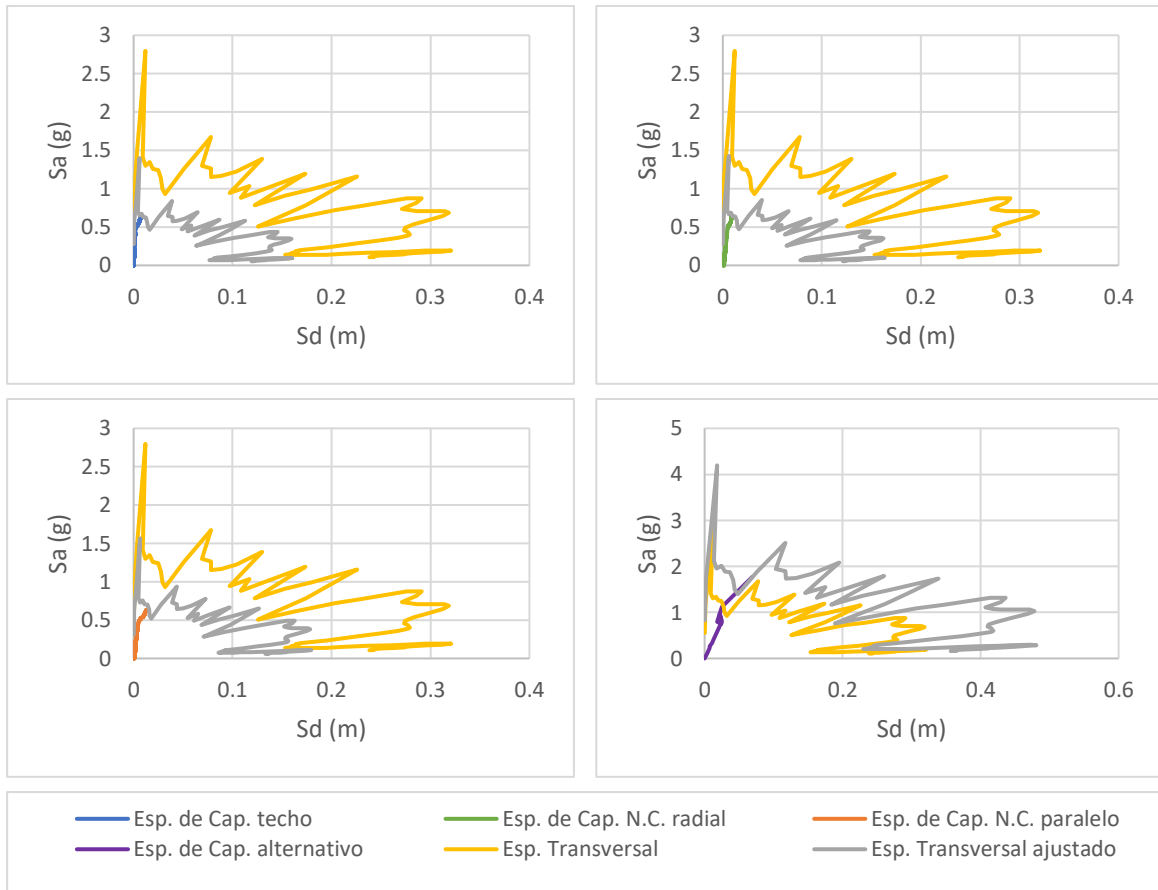


Figura 0-80. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 12

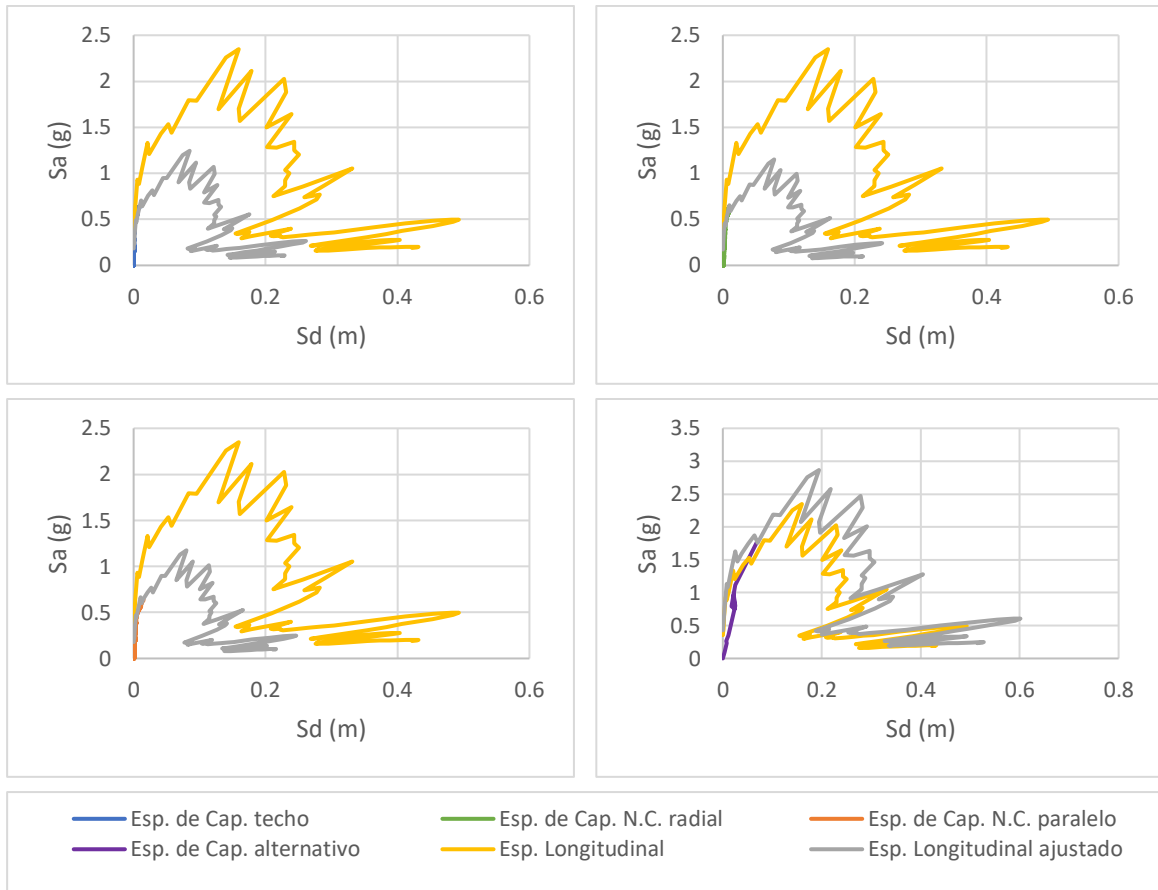


Figura 0-81. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 12

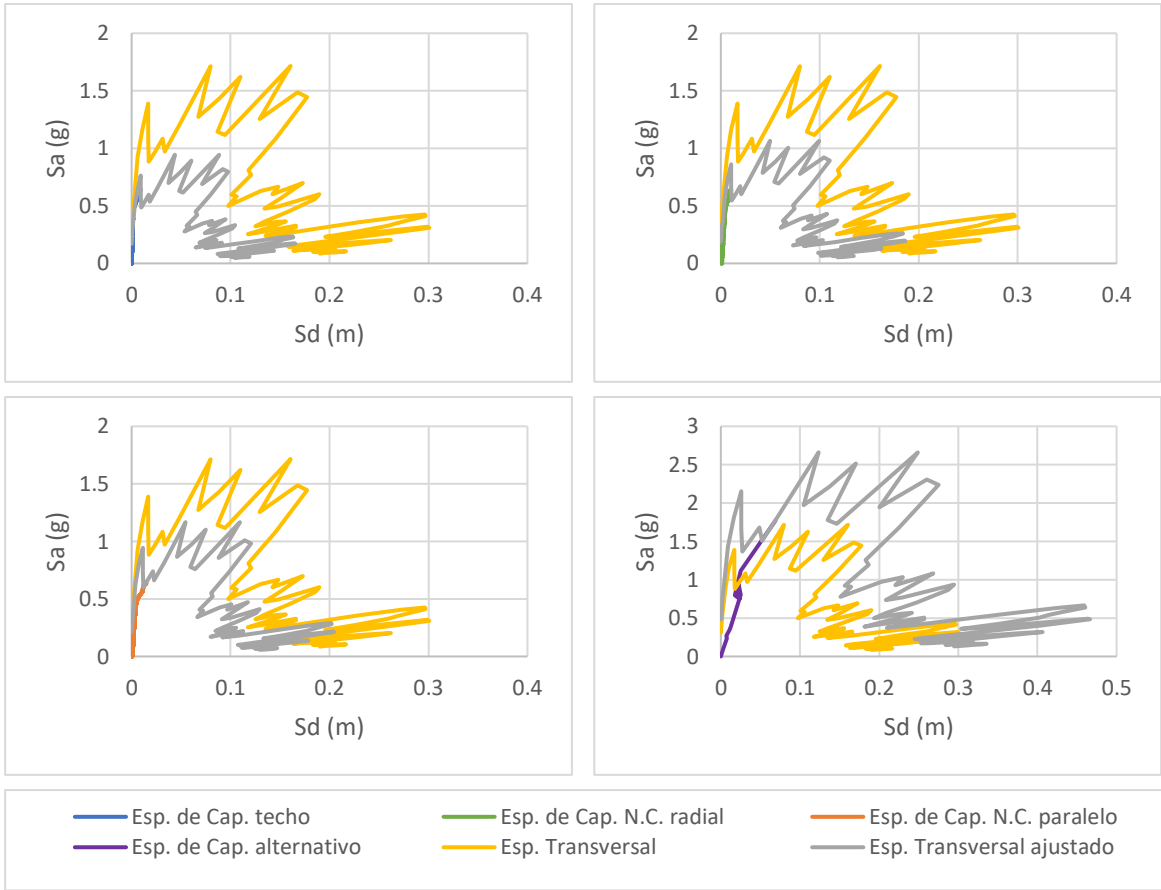


Figura 0-82. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 12



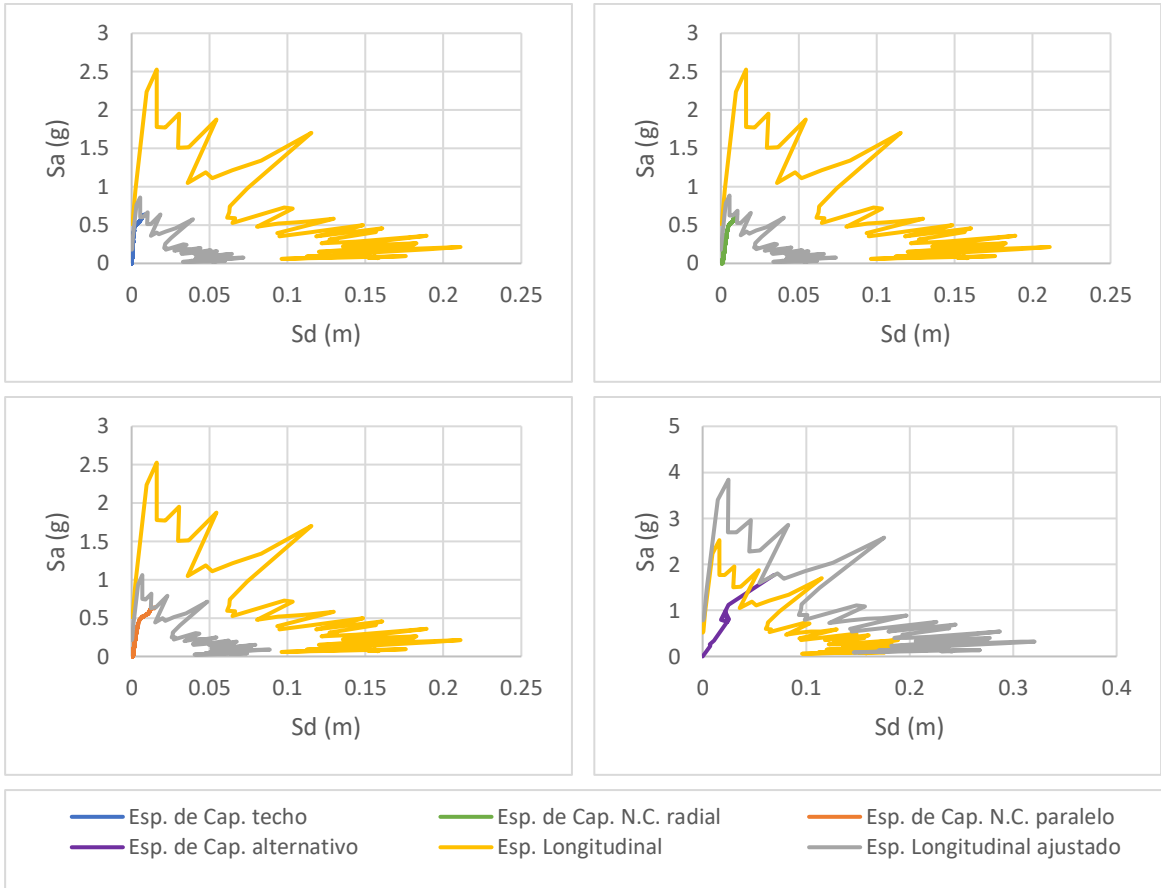


Figura 0-83. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 12

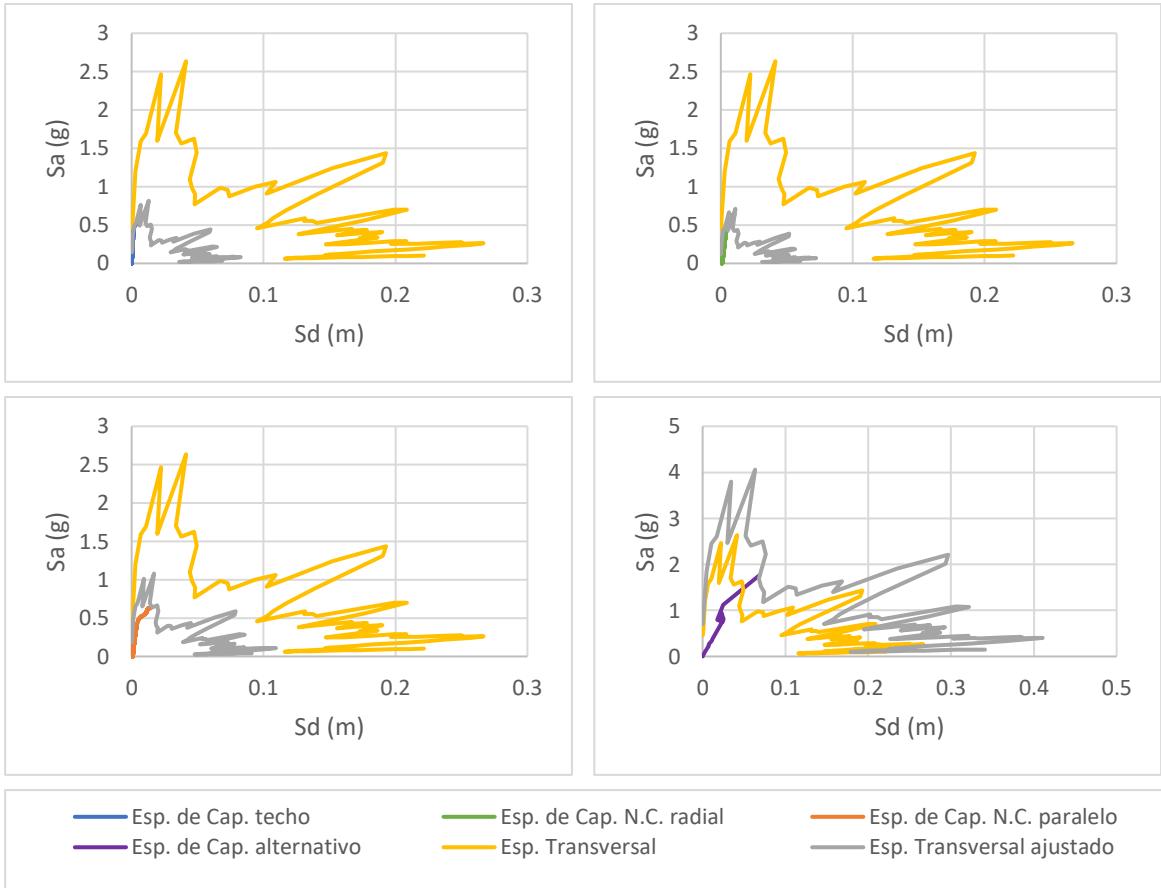


Figura 0-84. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 12

## Anexo B.4

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 13 utilizados para los análisis del presente estudio.

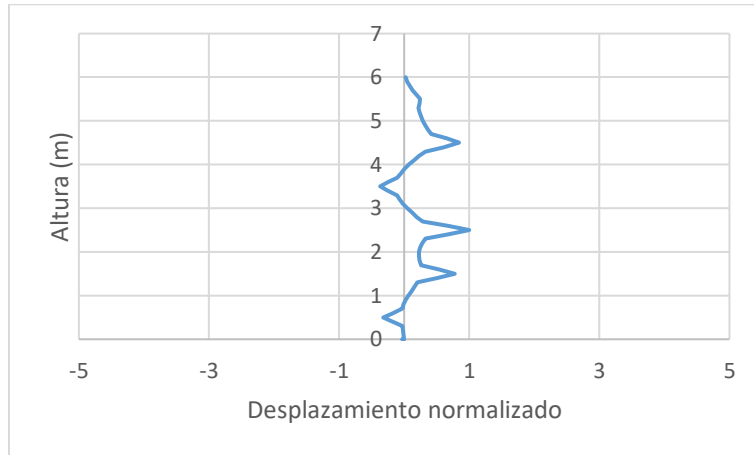


Figura 0-85. Forma modal del Modelo 13

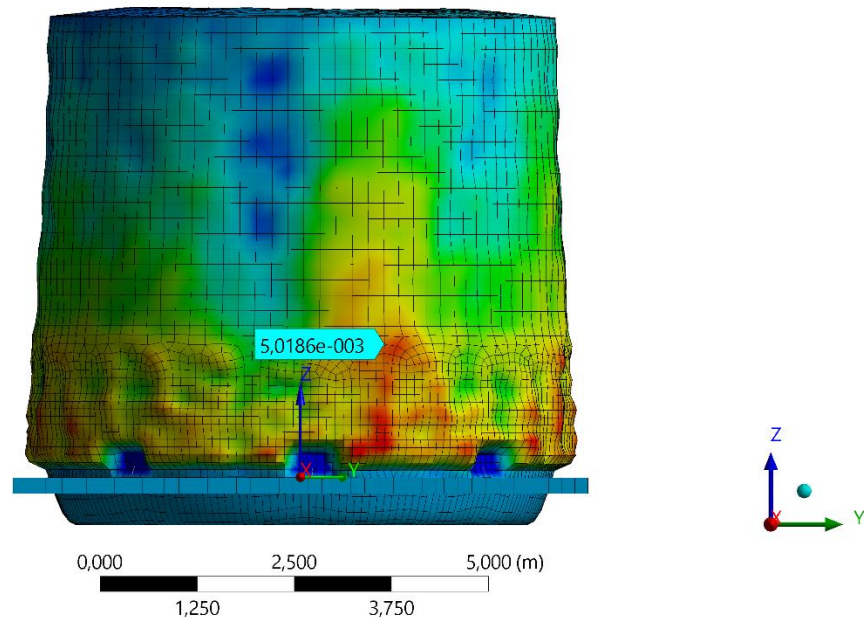


Figura 0-86. Nodo crítico del Modelo 13

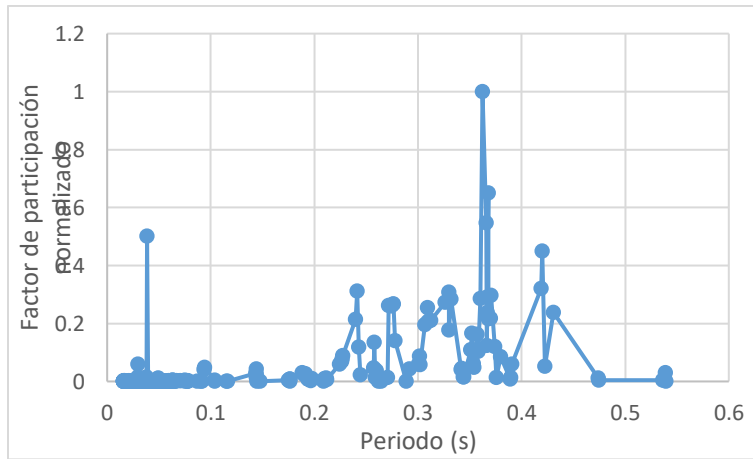


Figura 0-87. Factor de participación normalizado del Modelo 13

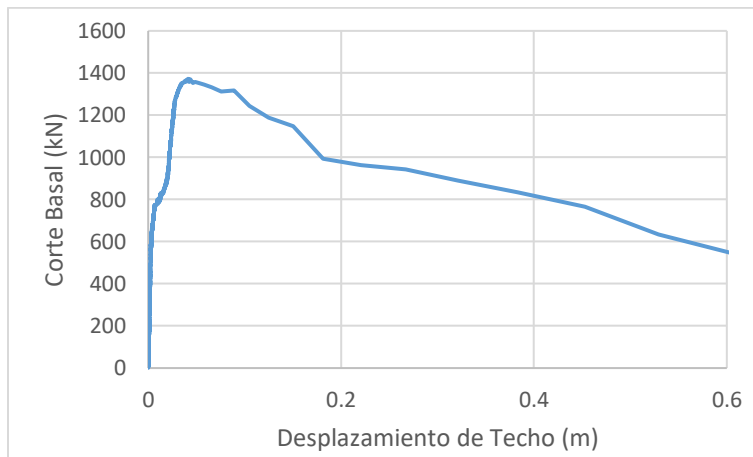


Figura 0-88. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 13

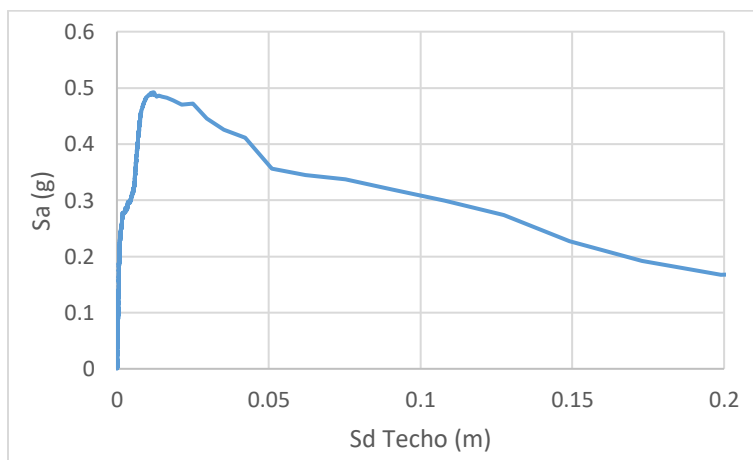


Figura 0-89. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 13

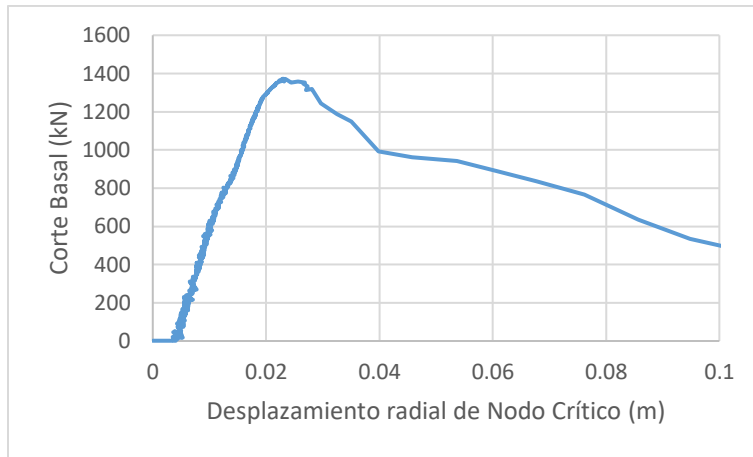


Figura 0-90. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 13

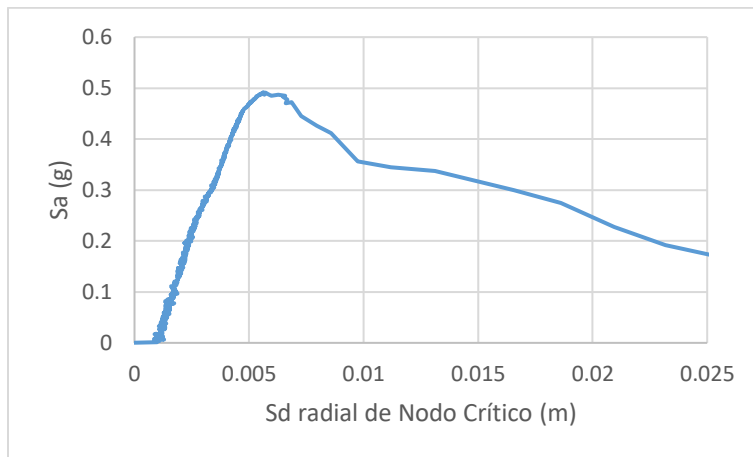


Figura 0-91. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 13

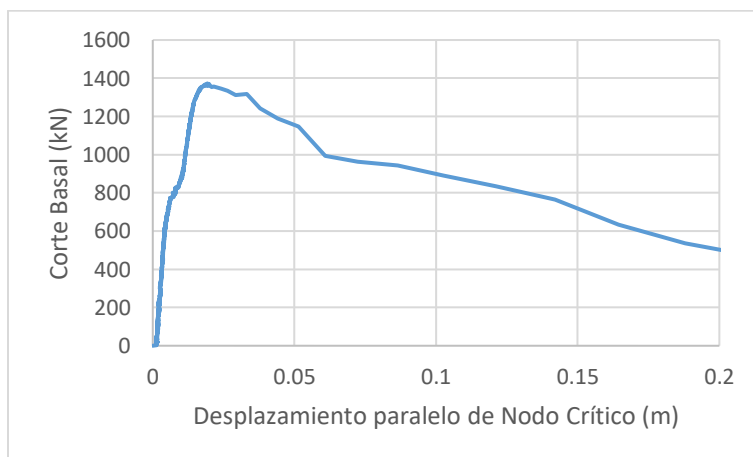


Figura 0-92. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 13

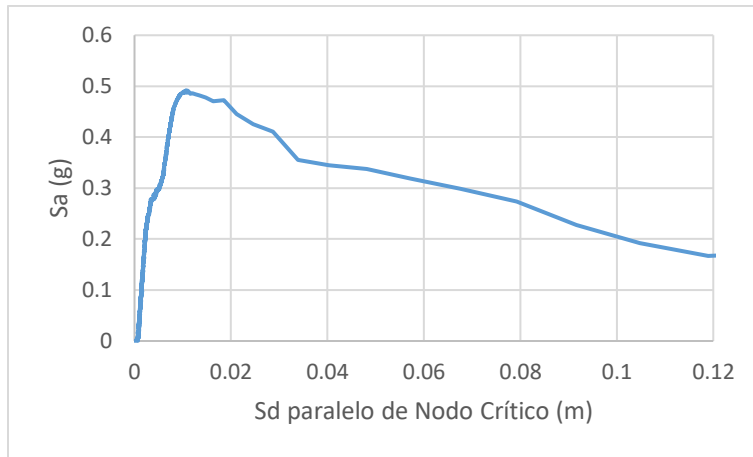


Figura 0-93. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 13

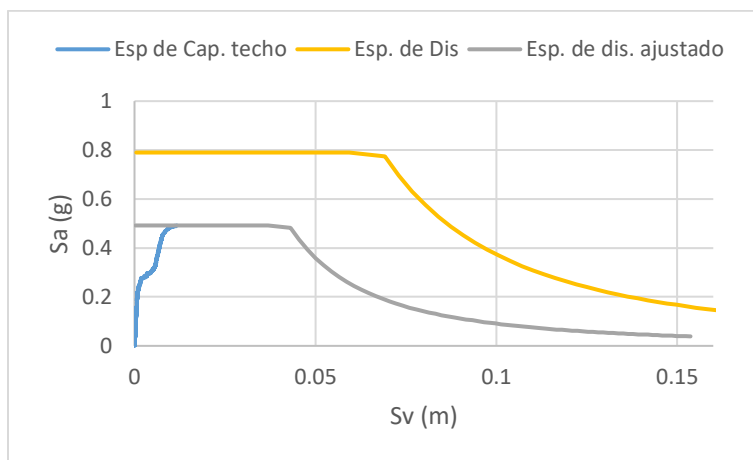


Figura 0-94. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 13 según NCh 2369

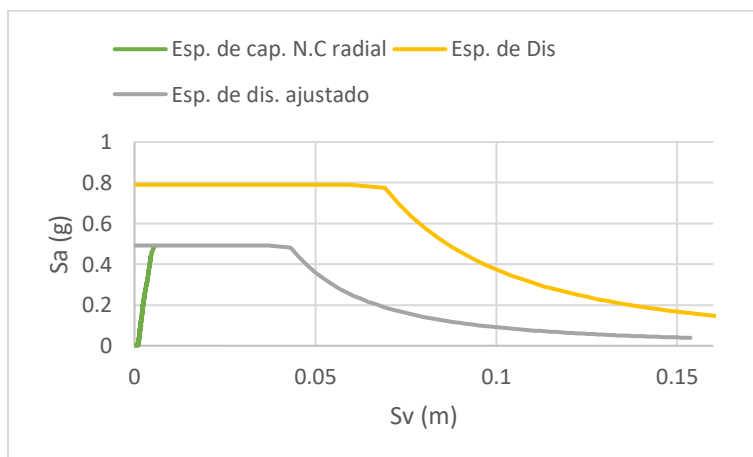


Figura 0-95. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 13 según NCh 2369

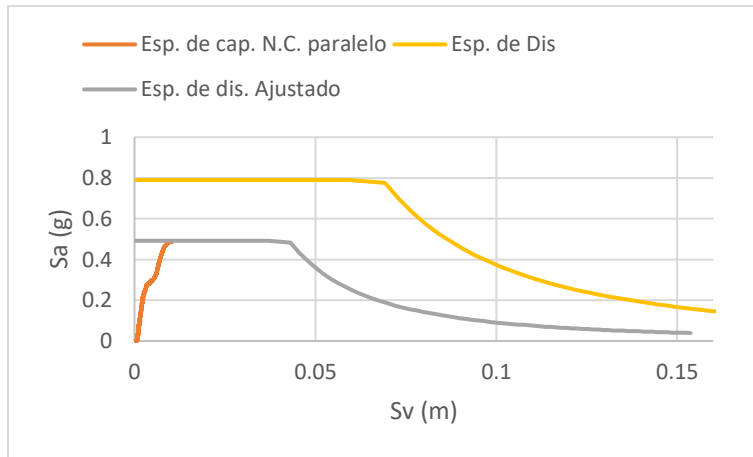


Figura 0-96. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 13 según NCh 2369

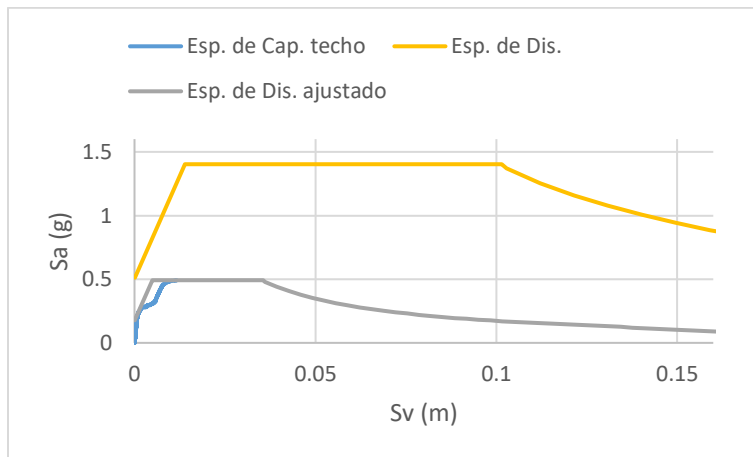


Figura 0-97. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 13 según NCh 2745

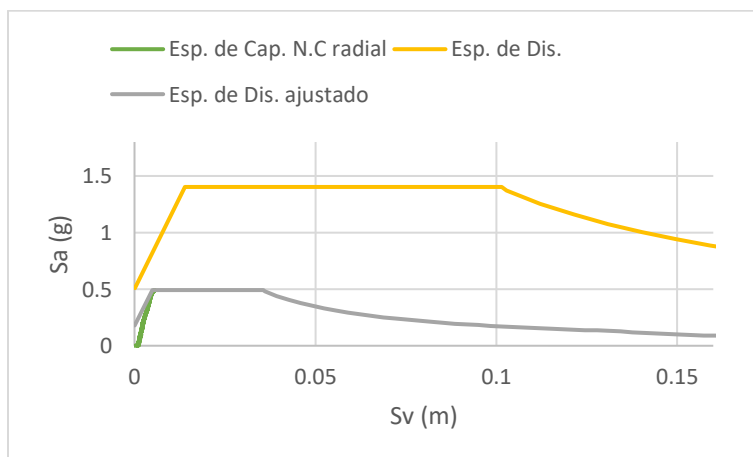


Figura 0-98. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 13 según NCh 2745

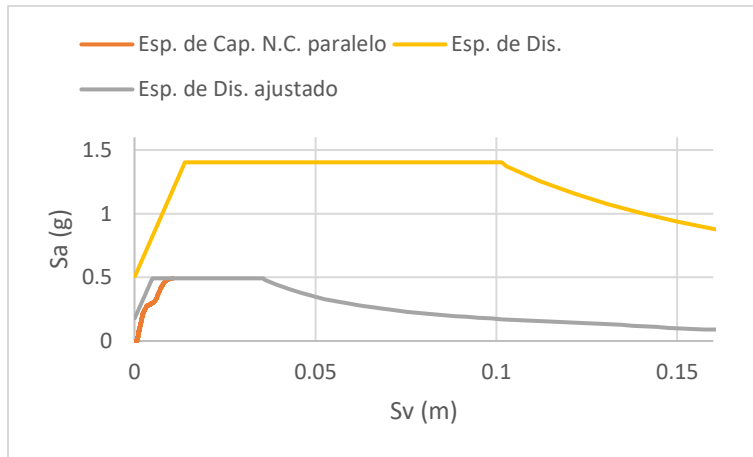


Figura 0-99. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 13 según NCh 2745

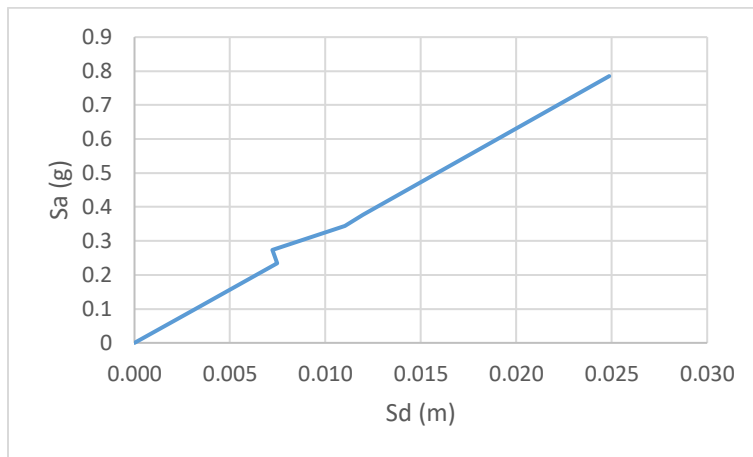


Figura 0-100. Espectro de capacidad para el Modelo 13 según método teórico

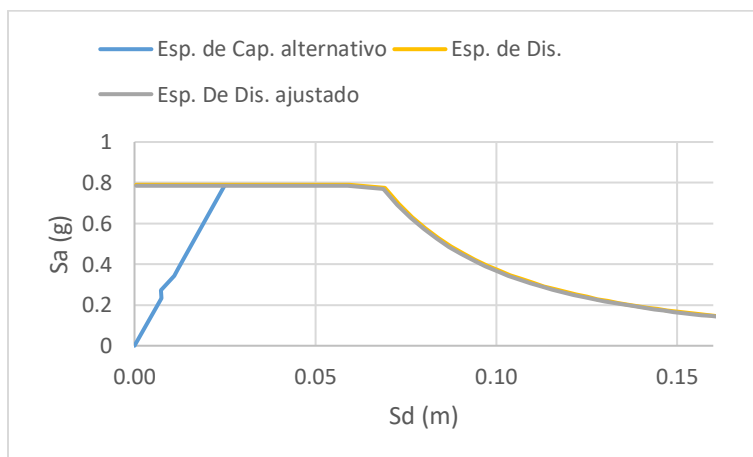


Figura 0-101. Punto de desempeño para el Modelo 13 según método teórico y NCh 2369



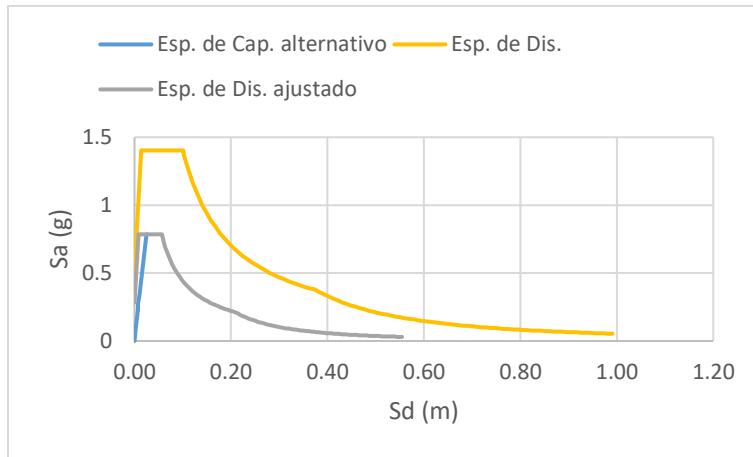


Figura 0-102. Punto de desempeño para el Modelo 13 según método teórico y NCh 2745

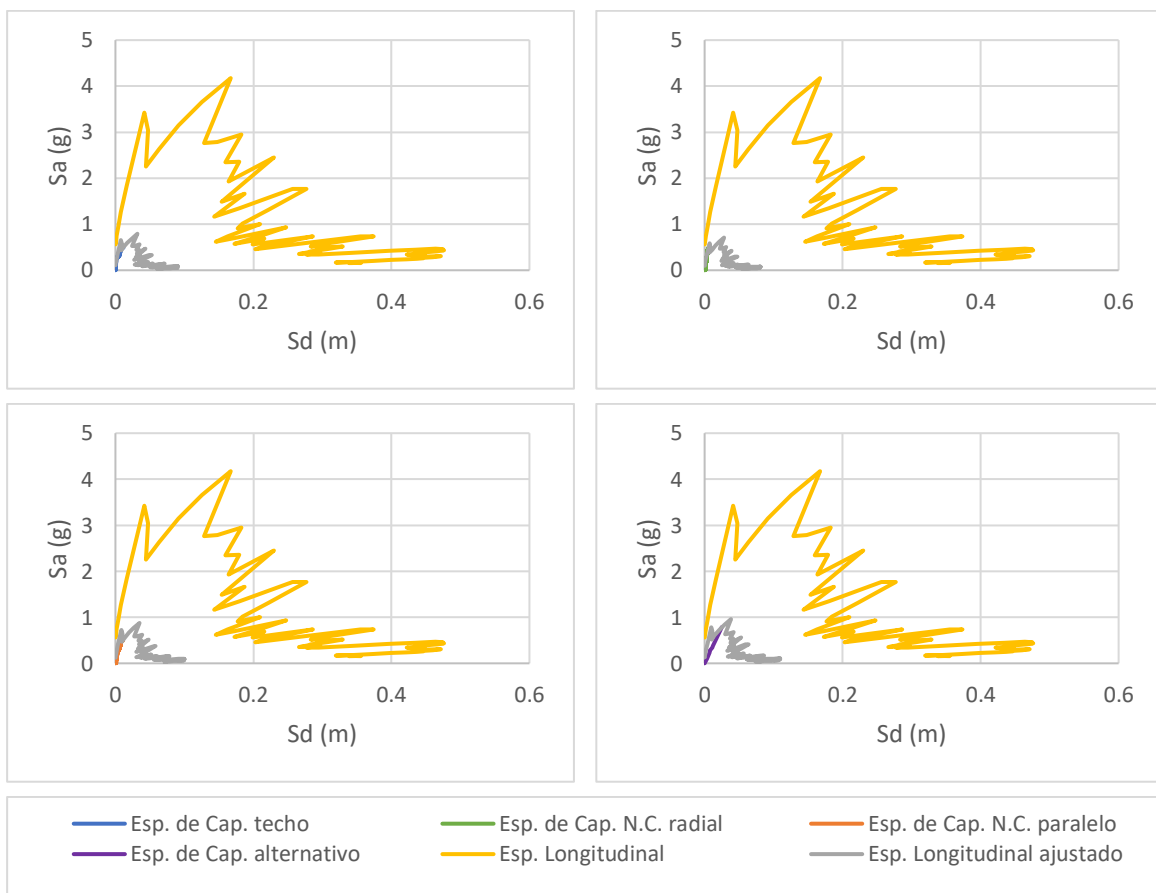


Figura 0-103. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 13

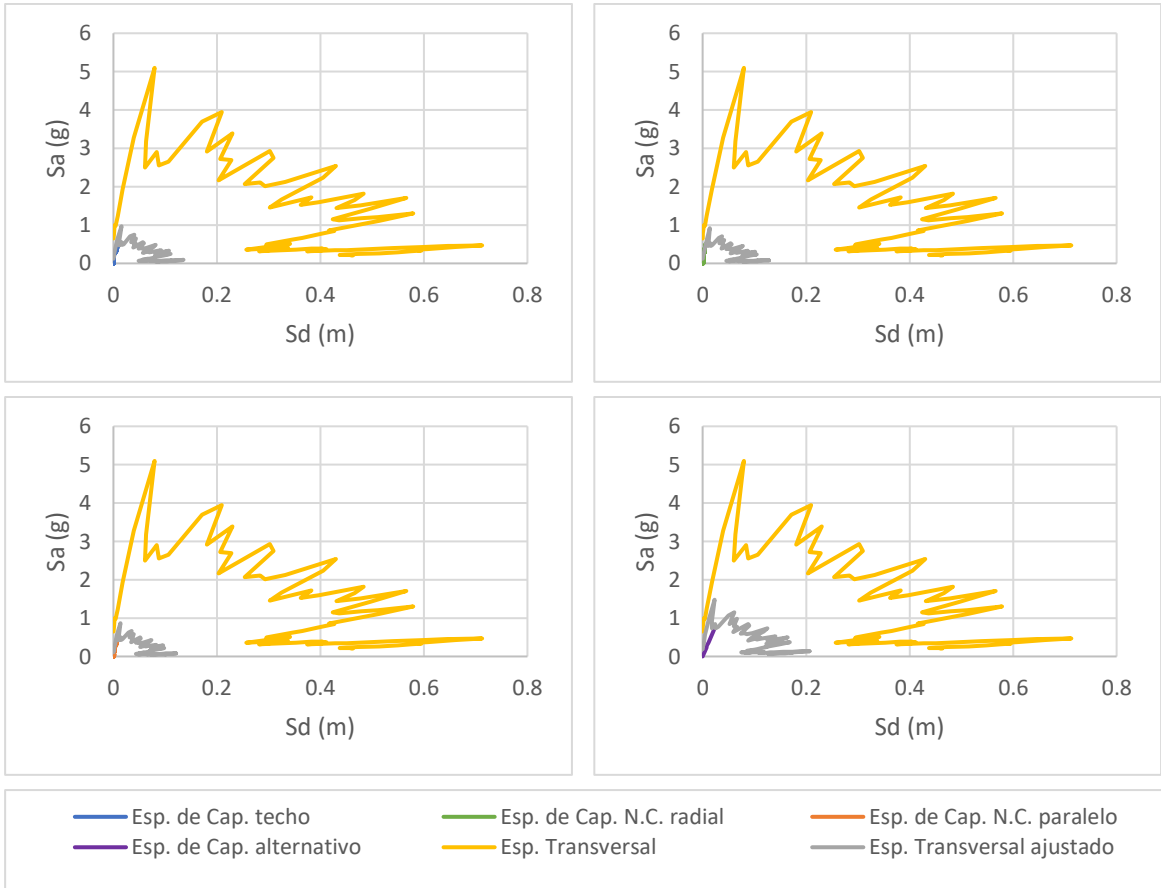


Figura 0-104. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 13

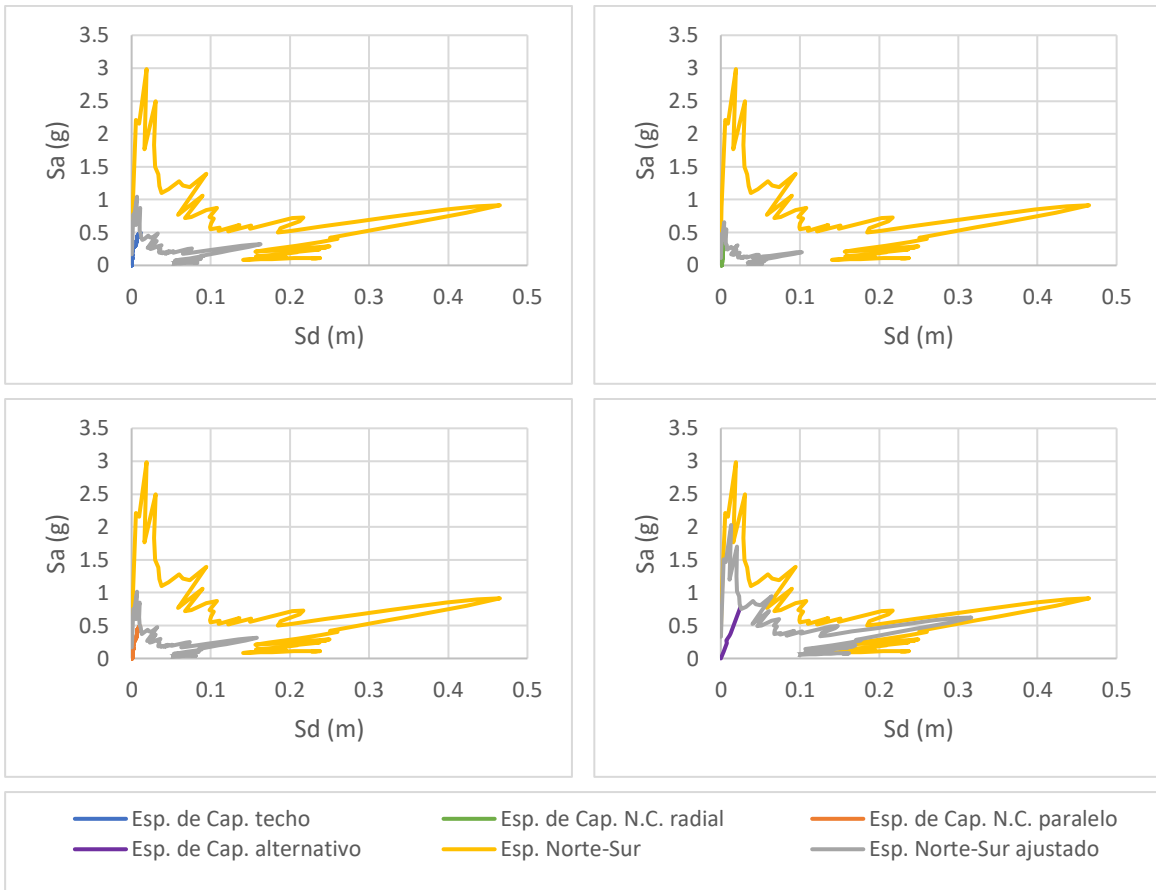


Figura 0-105. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 13

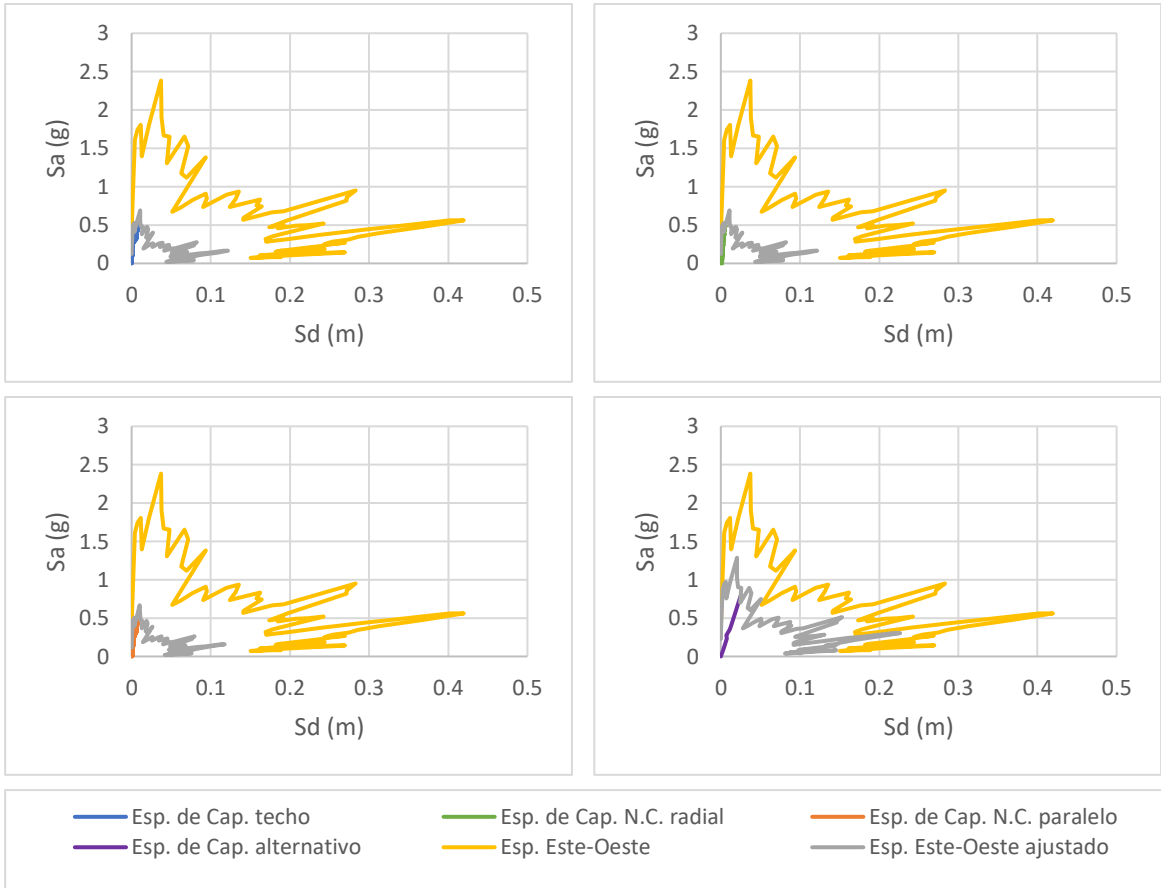


Figura 0-106. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-oeste, Modelo 13

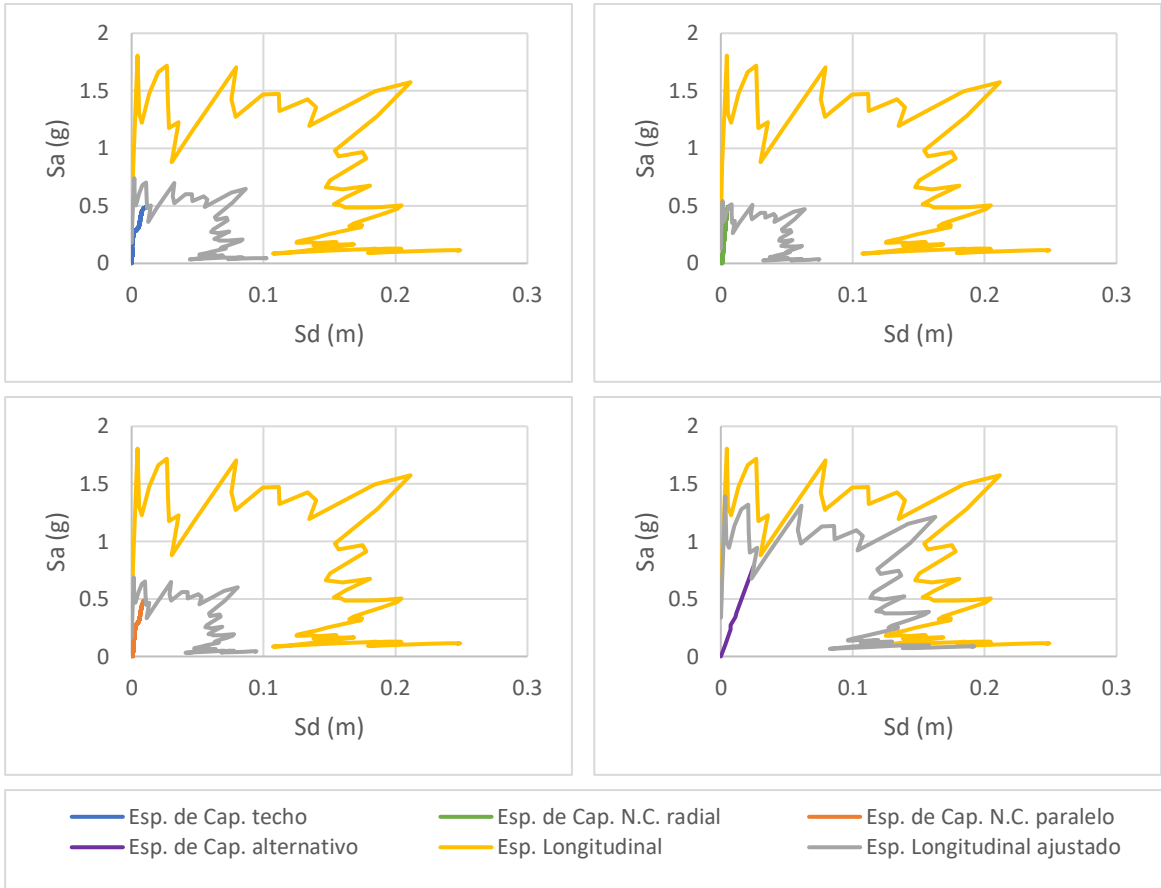


Figura 0-107. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 13

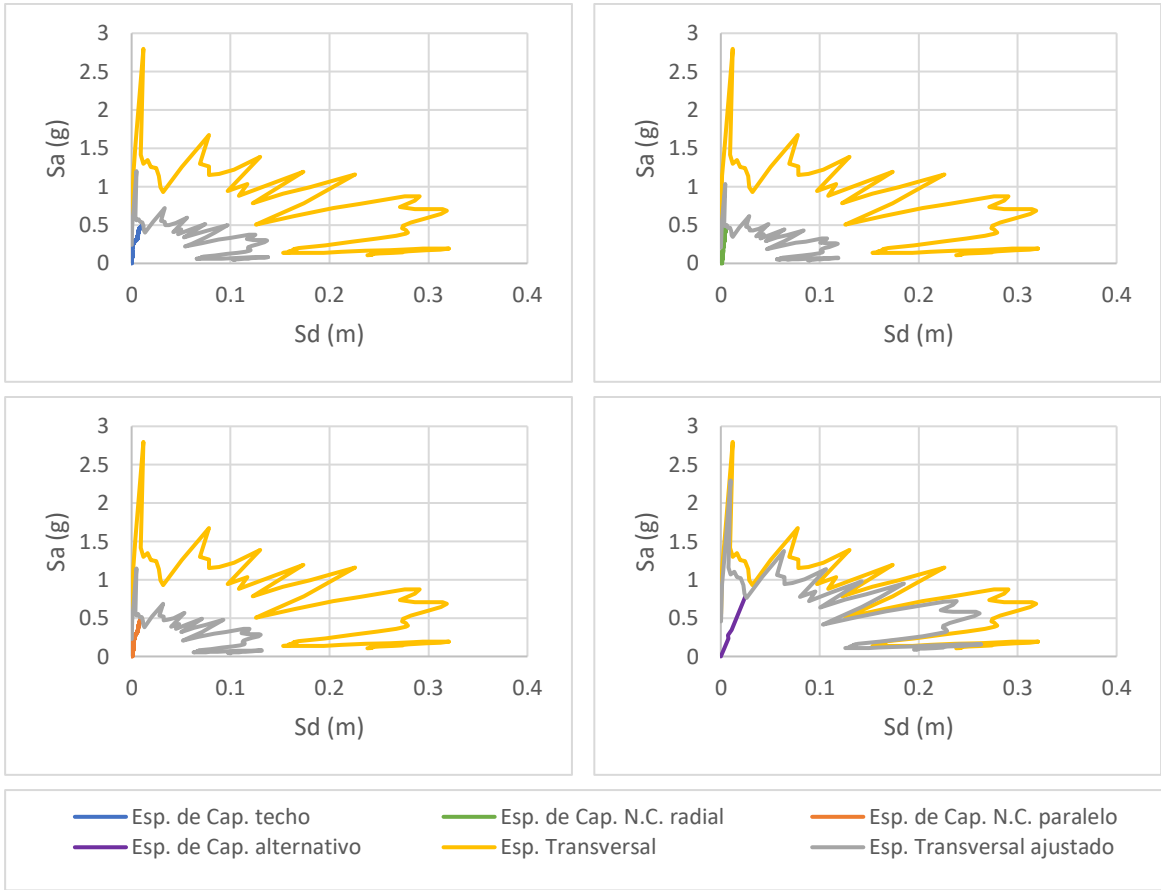


Figura 0-108. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 13

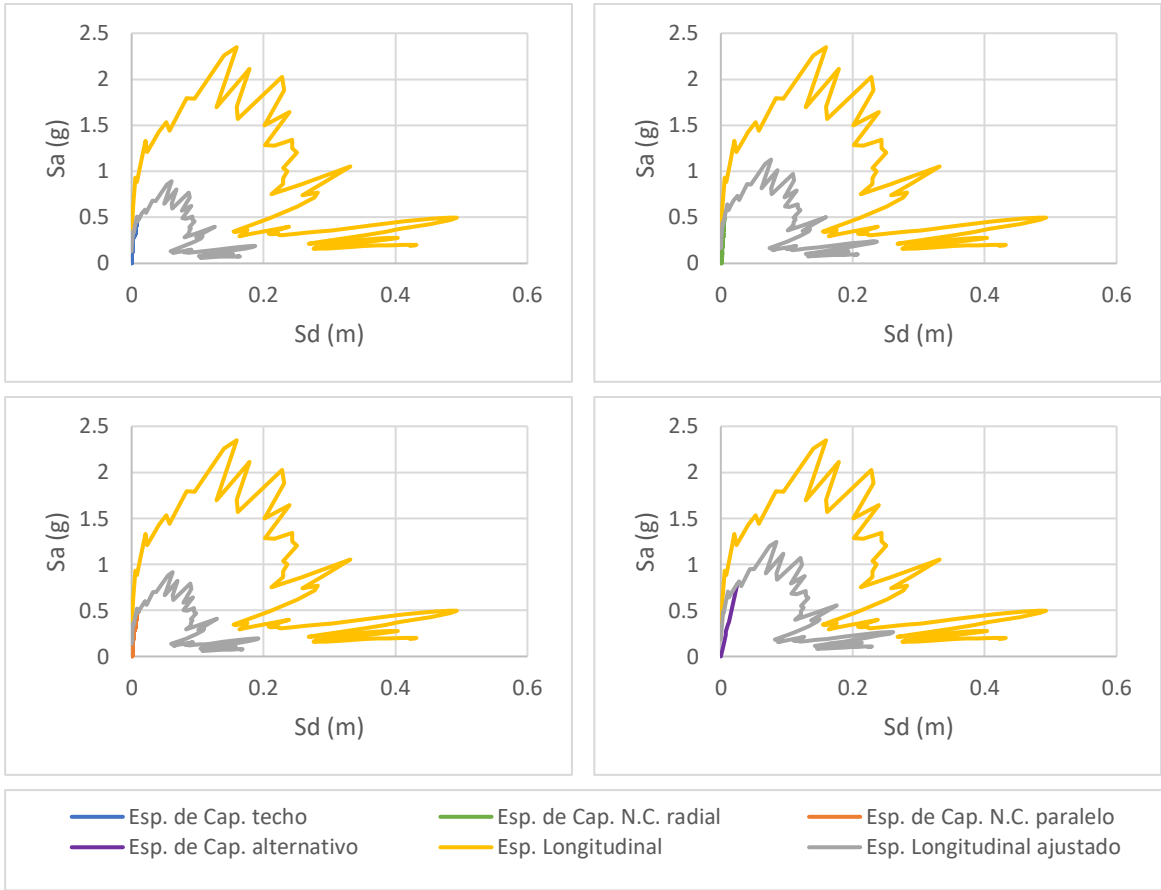


Figura 0-109. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 13

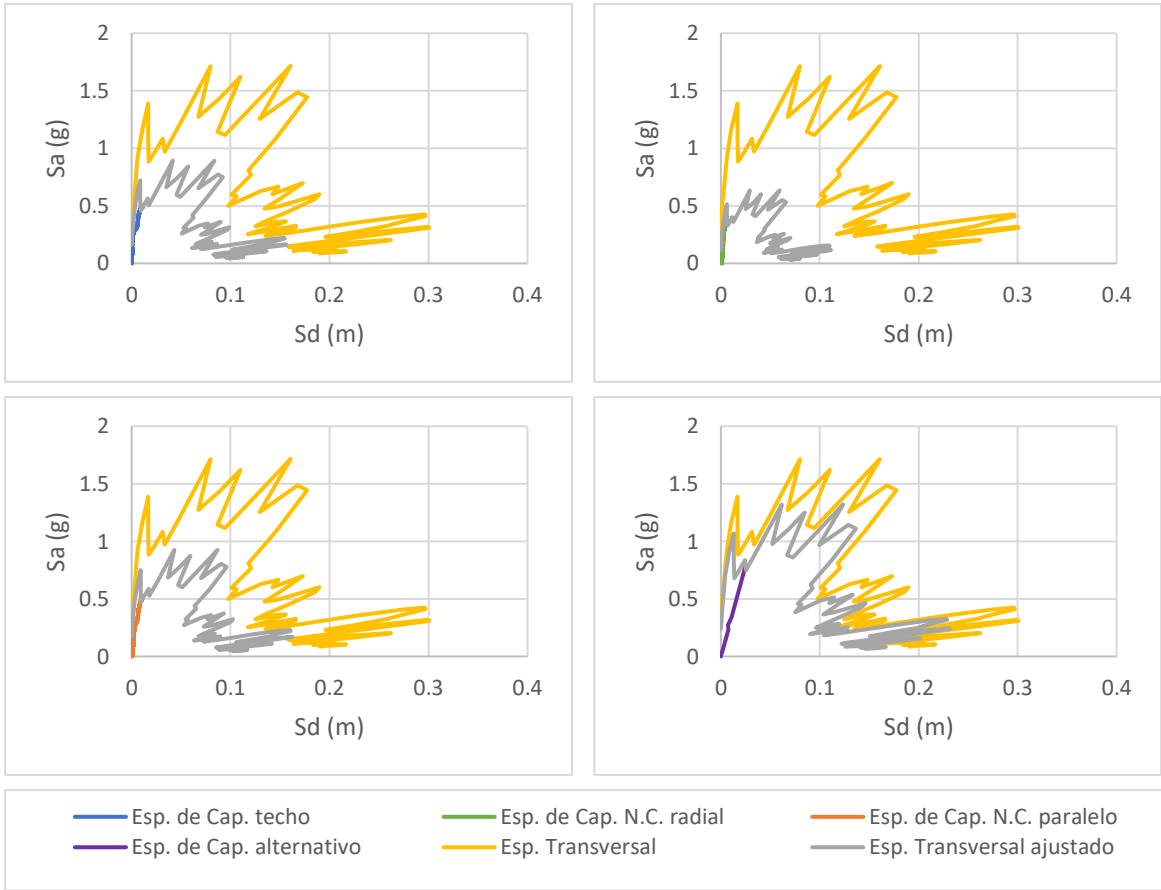


Figura 0-110. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 13



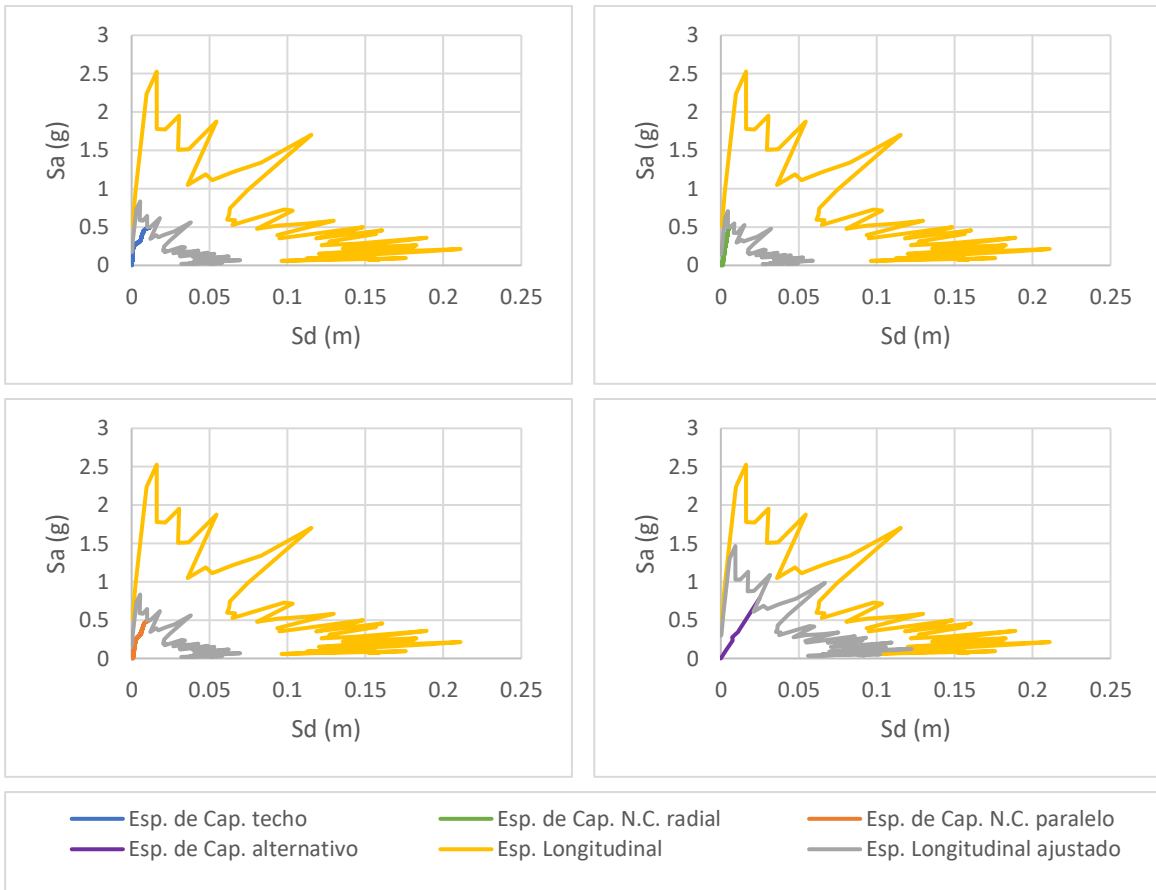


Figura 0-111. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 13

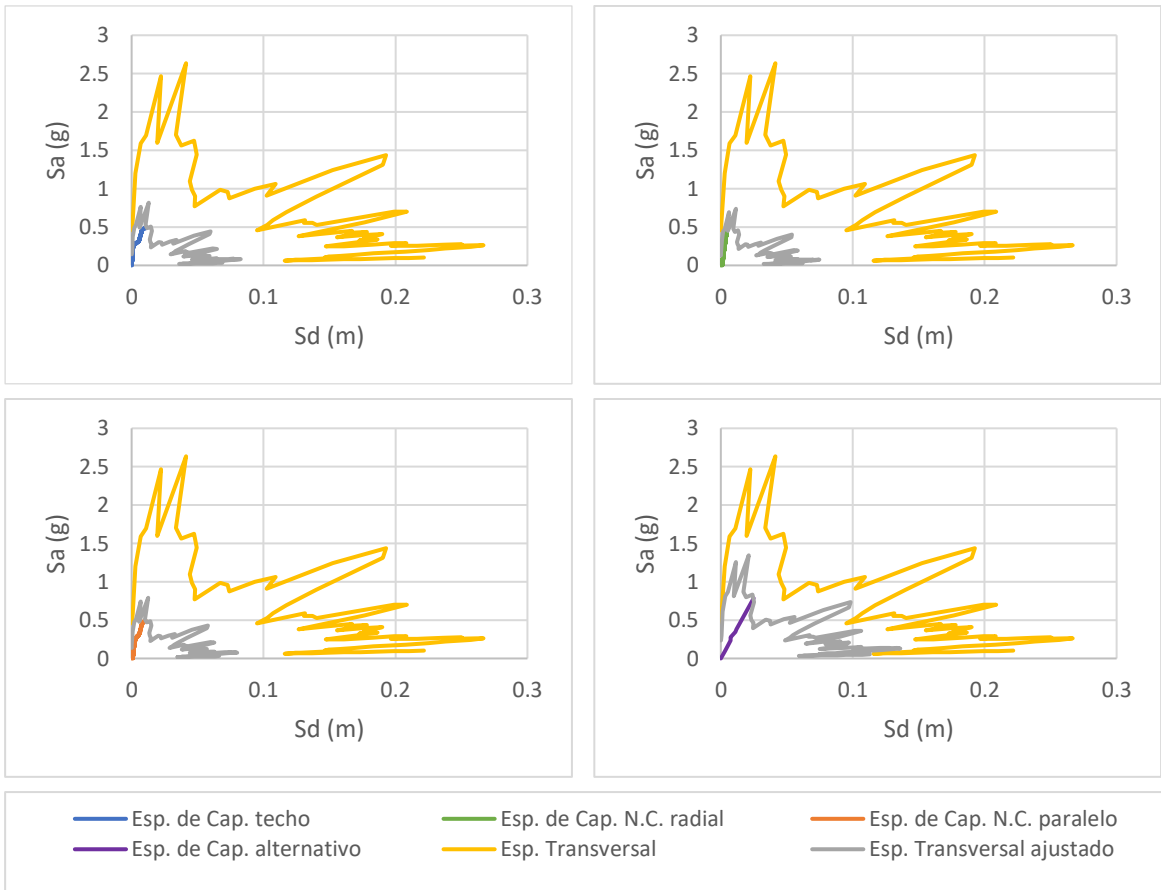


Figura 0-112. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 13

## Anexo B.5

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 14 utilizados para los análisis del presente estudio.

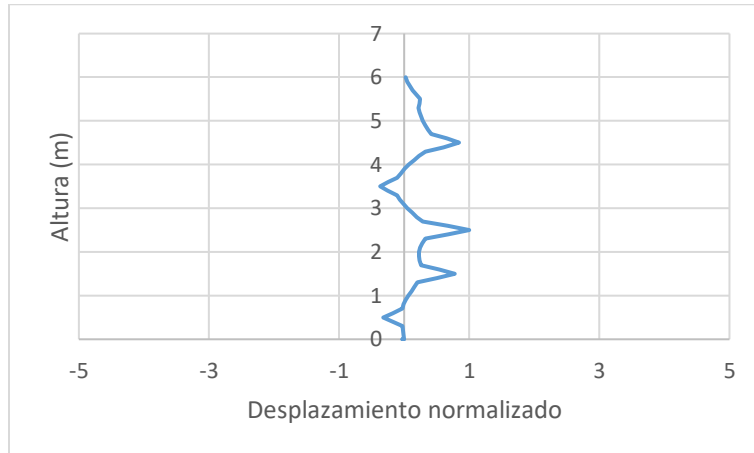


Figura 0-113. Forma modal del Modelo 14

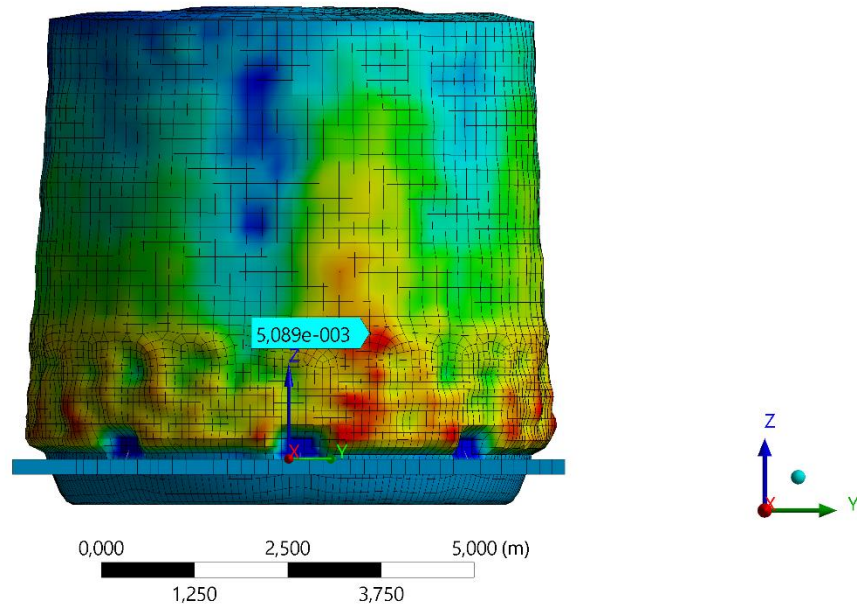


Figura 0-114. Nodo crítico del Modelo 14

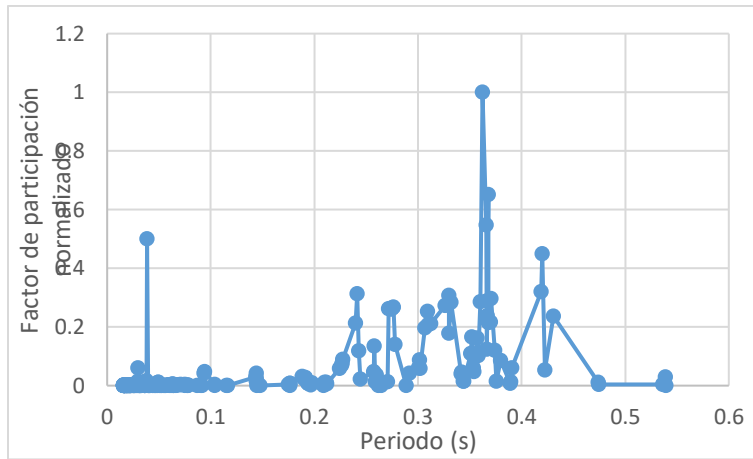


Figura 0-115. Factor de participación normalizado del Modelo 14

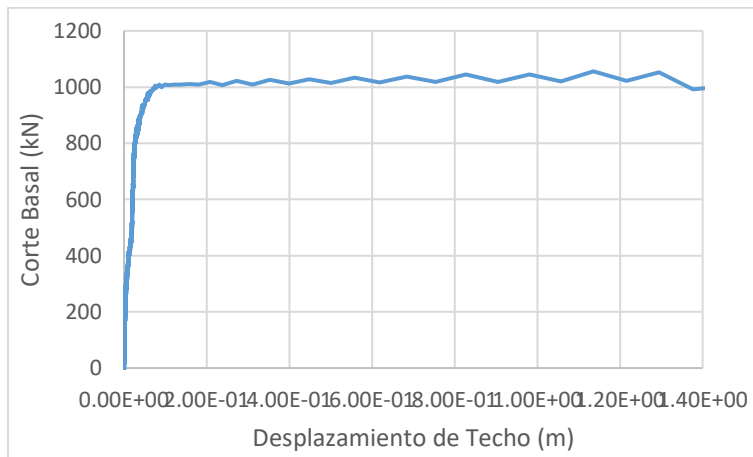


Figura 0-116. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 14

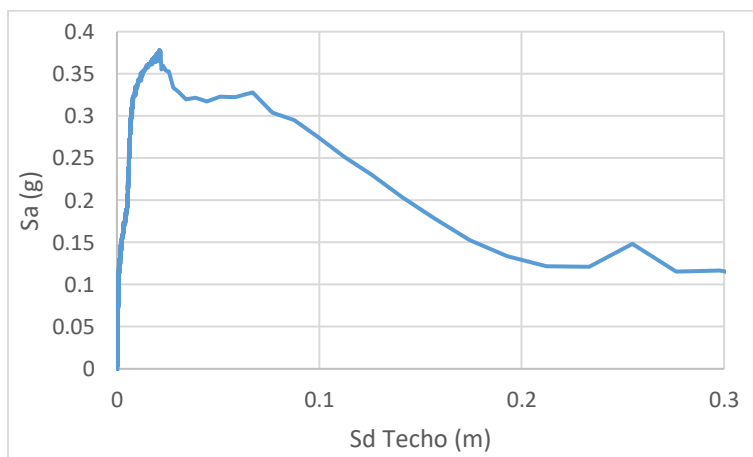


Figura 0-117. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 14

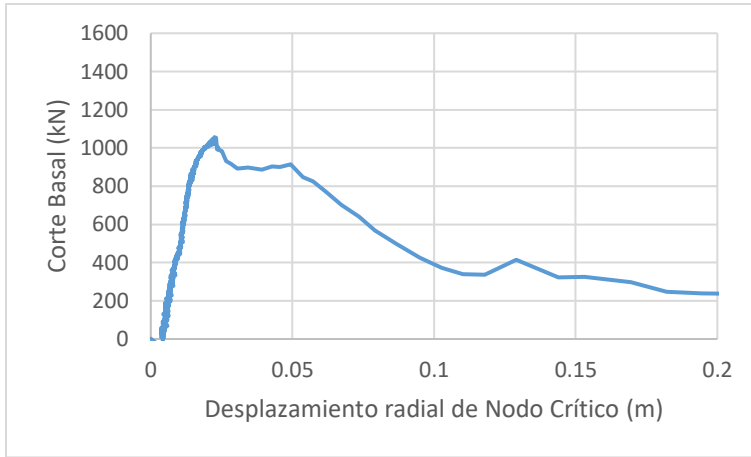


Figura 0-118. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 14

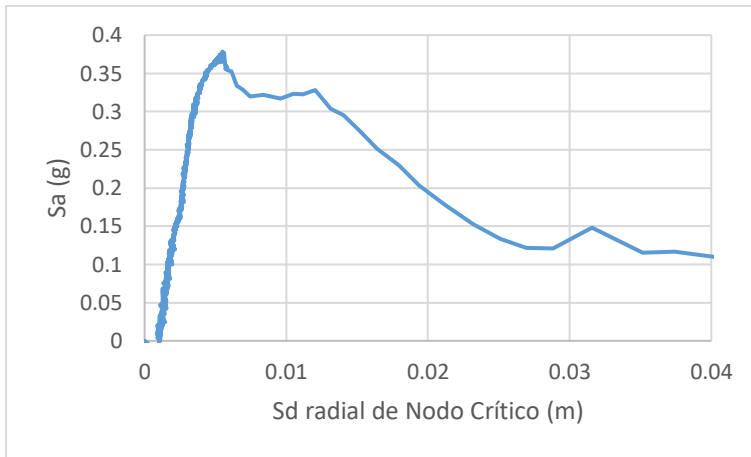


Figura 0-119. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 14

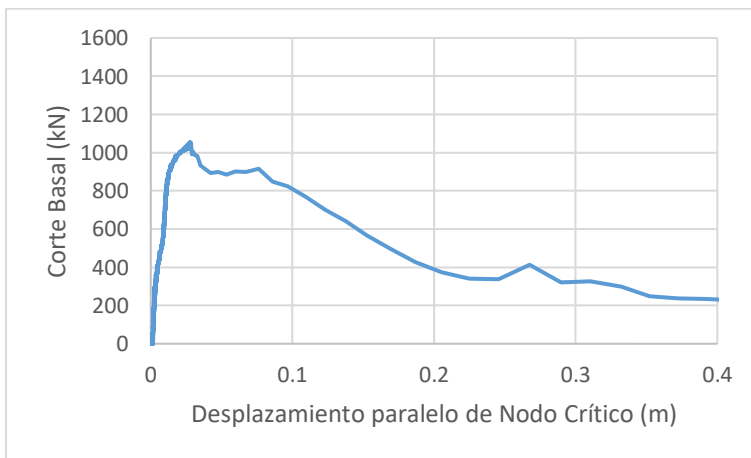


Figura 0-120. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 14

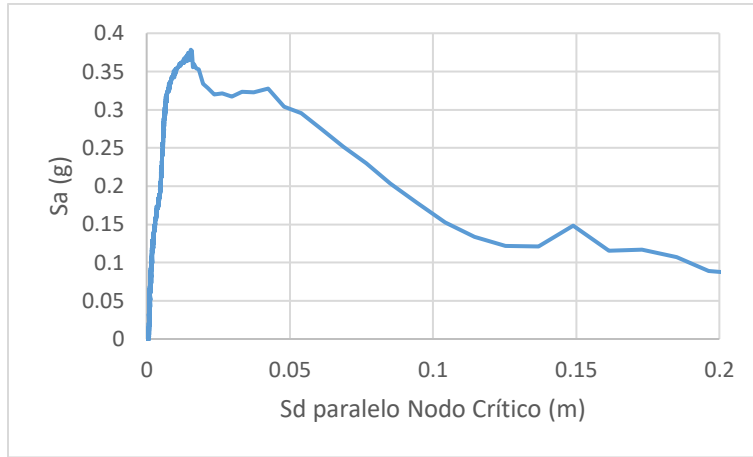


Figura 0-121. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 14

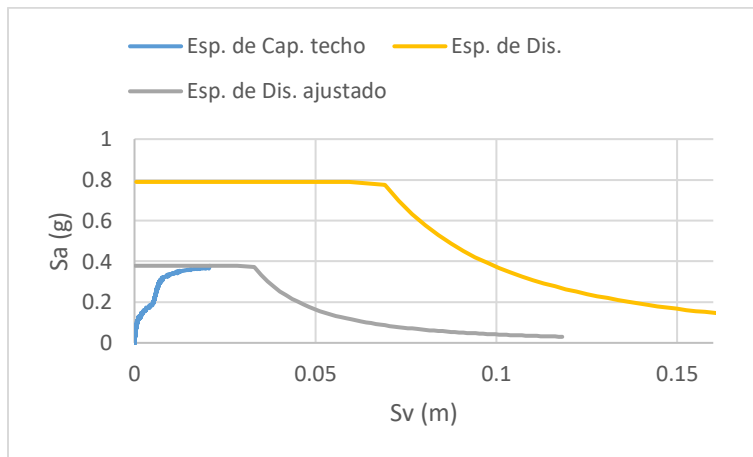


Figura 0-122. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 14 según NCh 2369

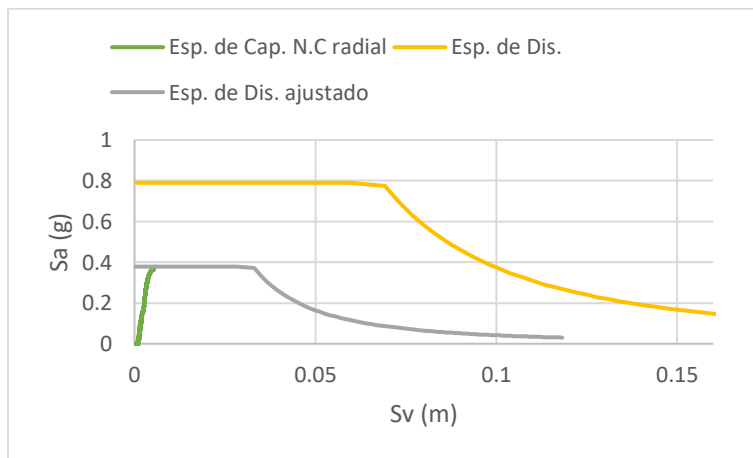


Figura 0-123. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 14 según NCh 2369

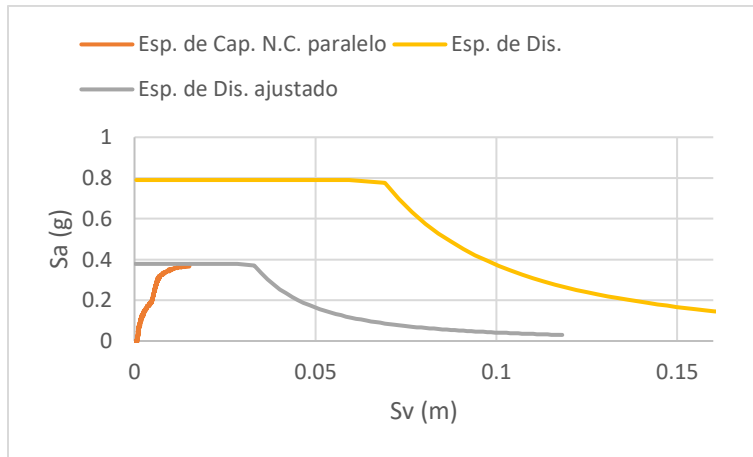


Figura 0-124. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 14 según NCh 2369

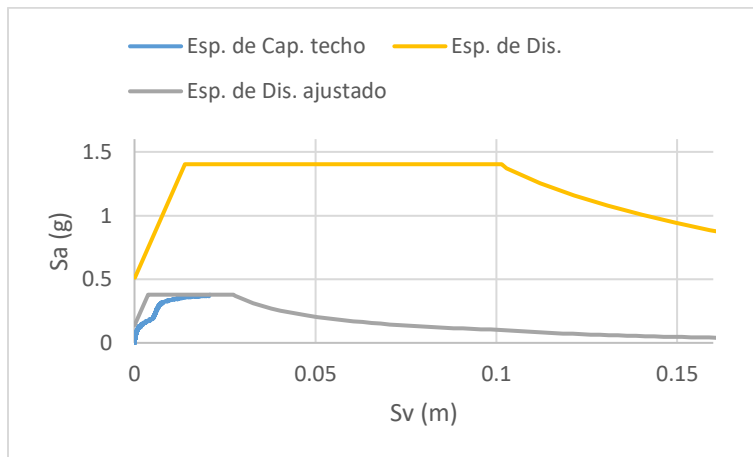


Figura 0-125. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 14 según NCh 2745

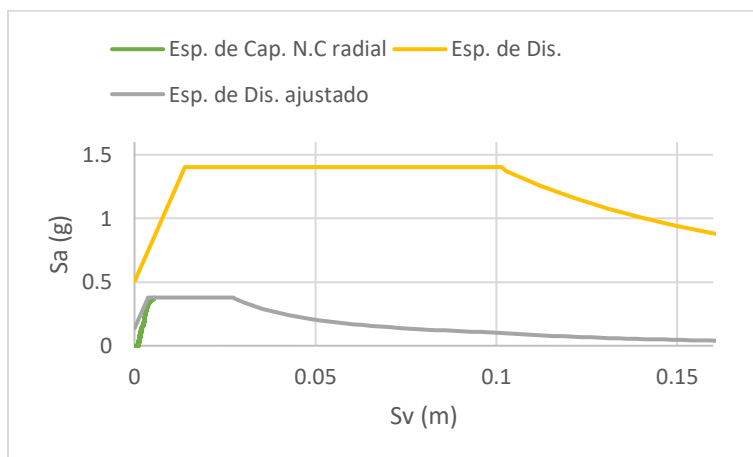


Figura 0-126. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 14 según NCh 2745

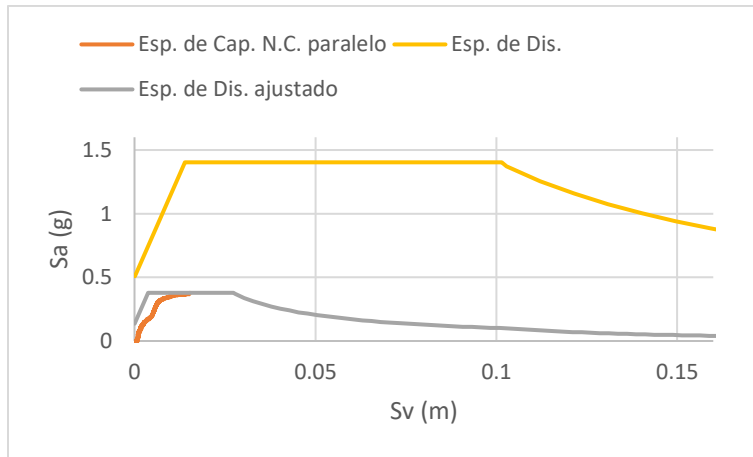


Figura 0-127. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 14 según NCh 2745

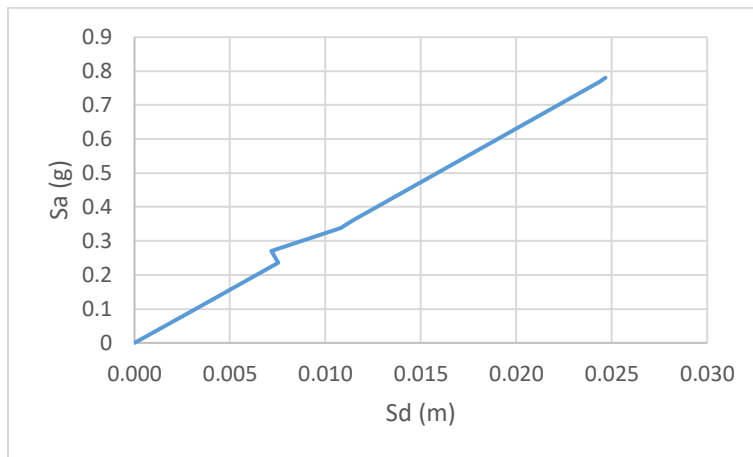


Figura 0-128. Espectro de capacidad para el Modelo 14 según método teórico

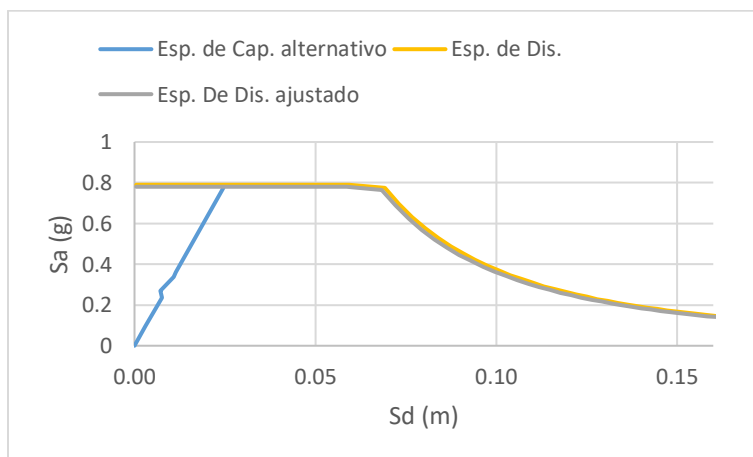


Figura 0-129. Punto de desempeño para el Modelo 14 según método teórico y NCh 2369



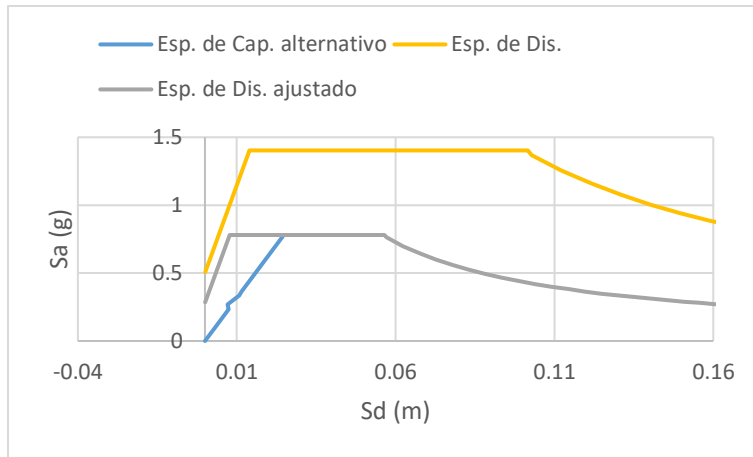


Figura 0-130. Punto de desempeño para el Modelo 14 según método teórico y NCh 2745

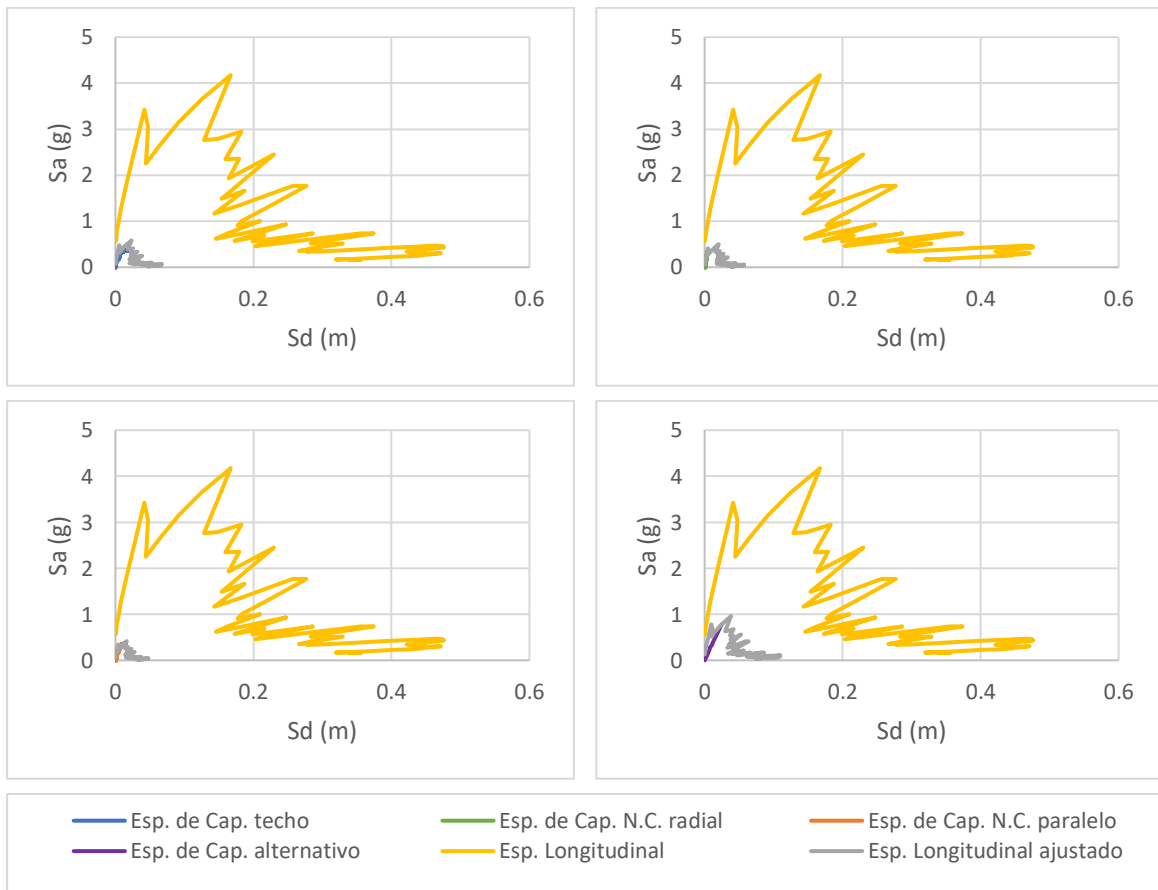


Figura 0-131. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 14

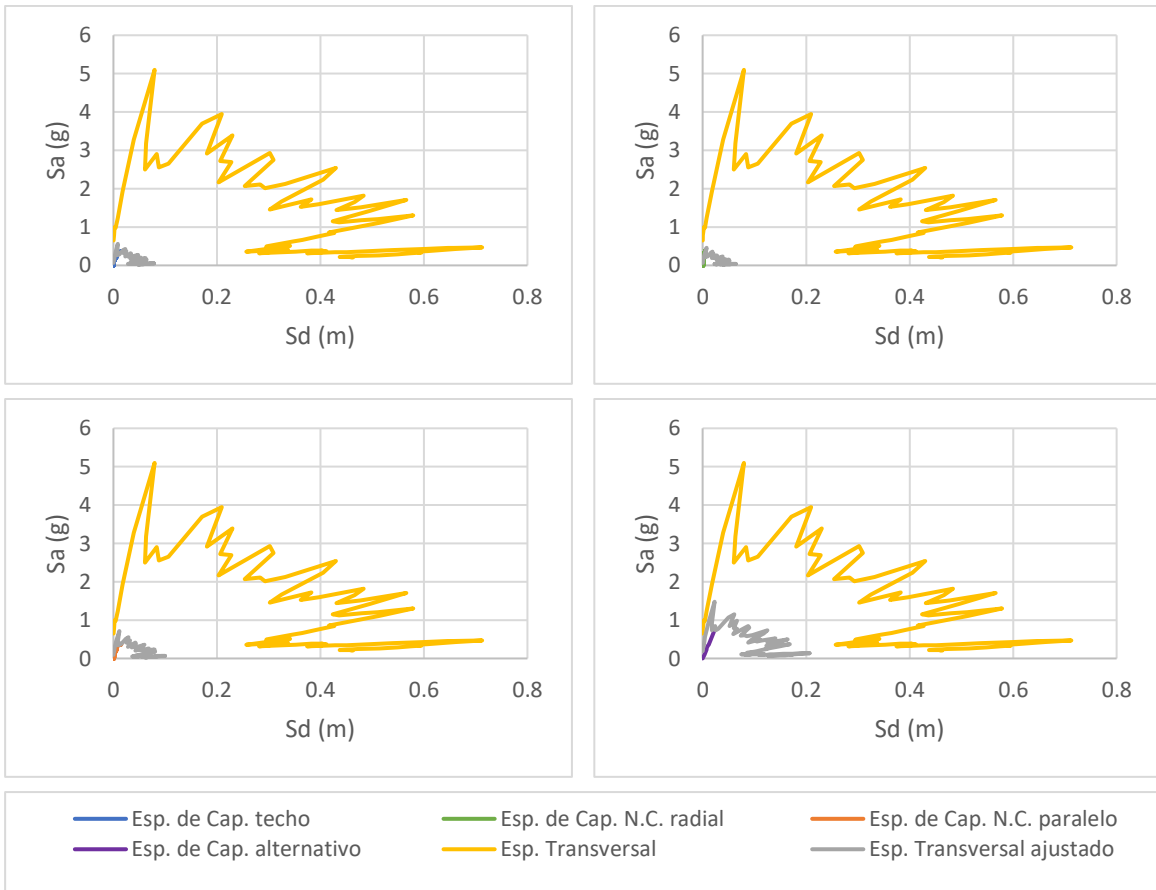


Figura 0-132. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 14

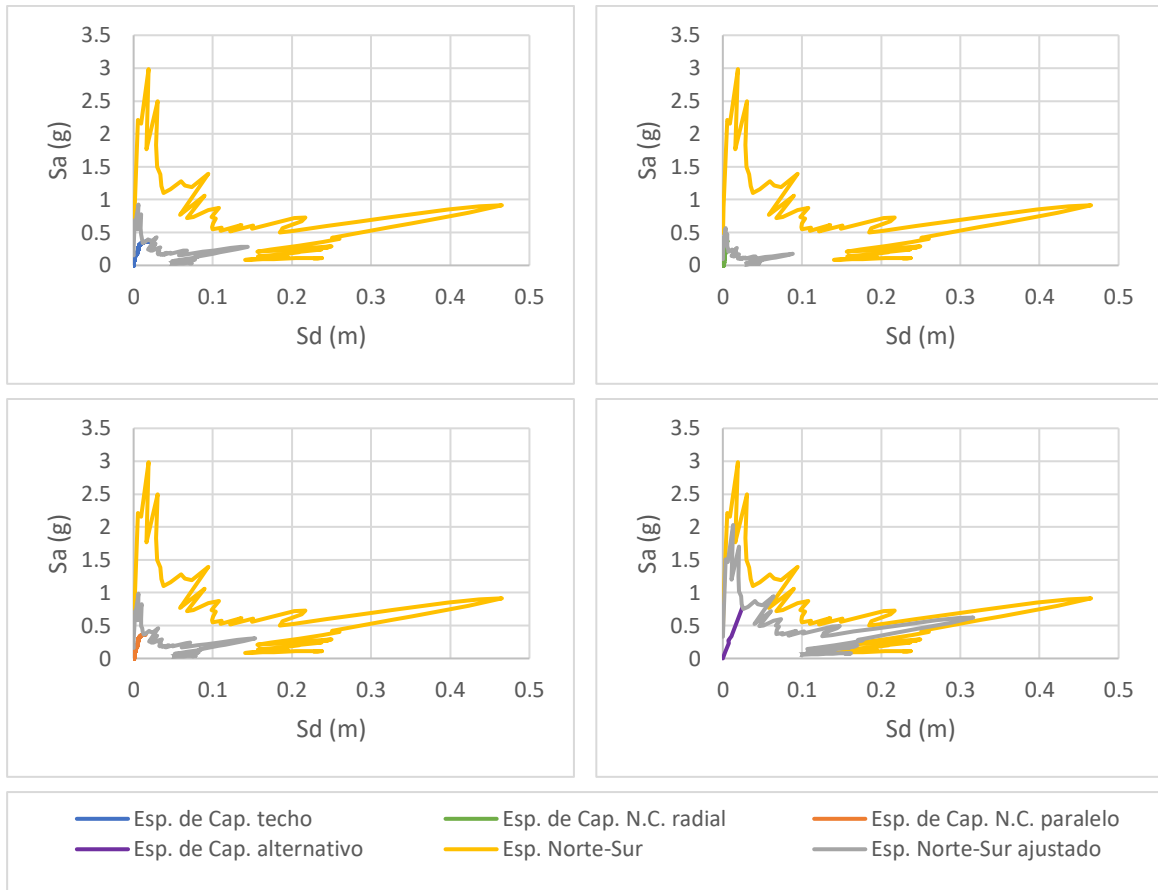


Figura 0-133. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 14

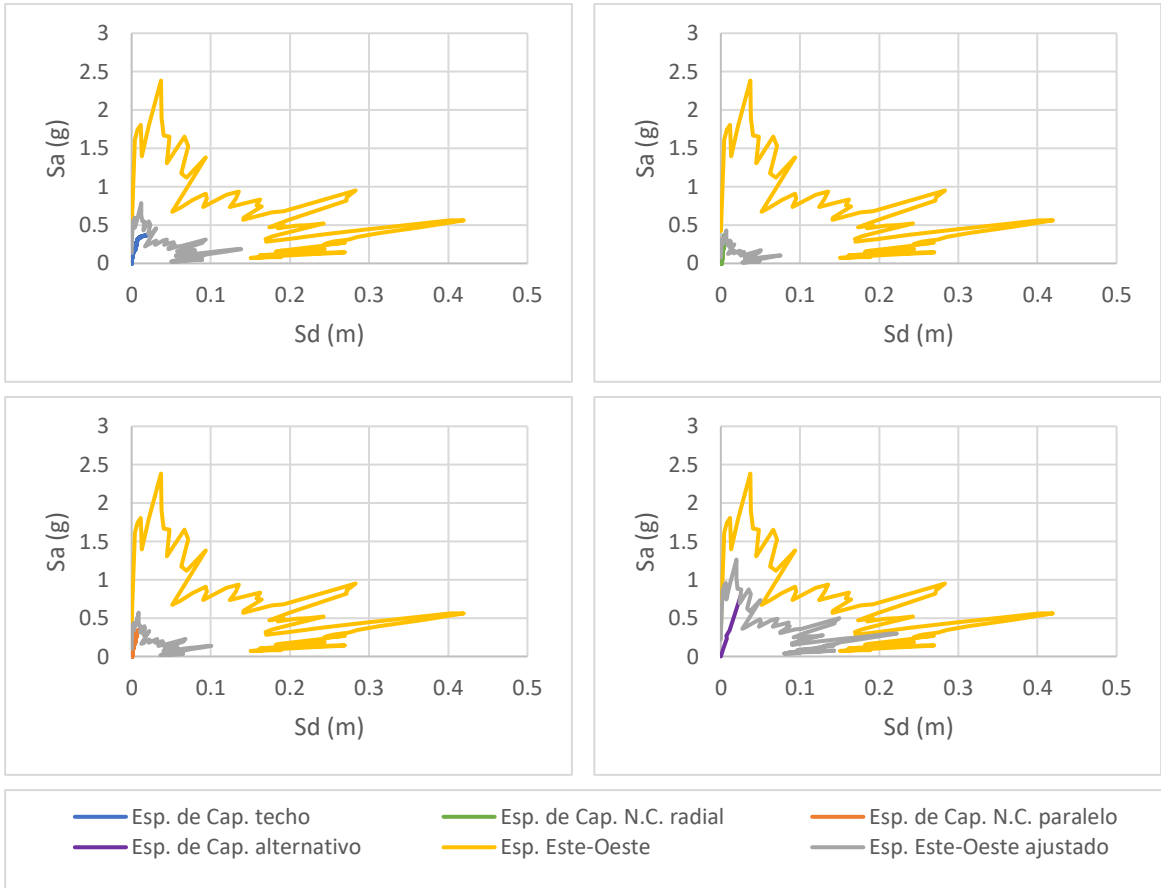


Figura 0-134. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-oeste, Modelo 14

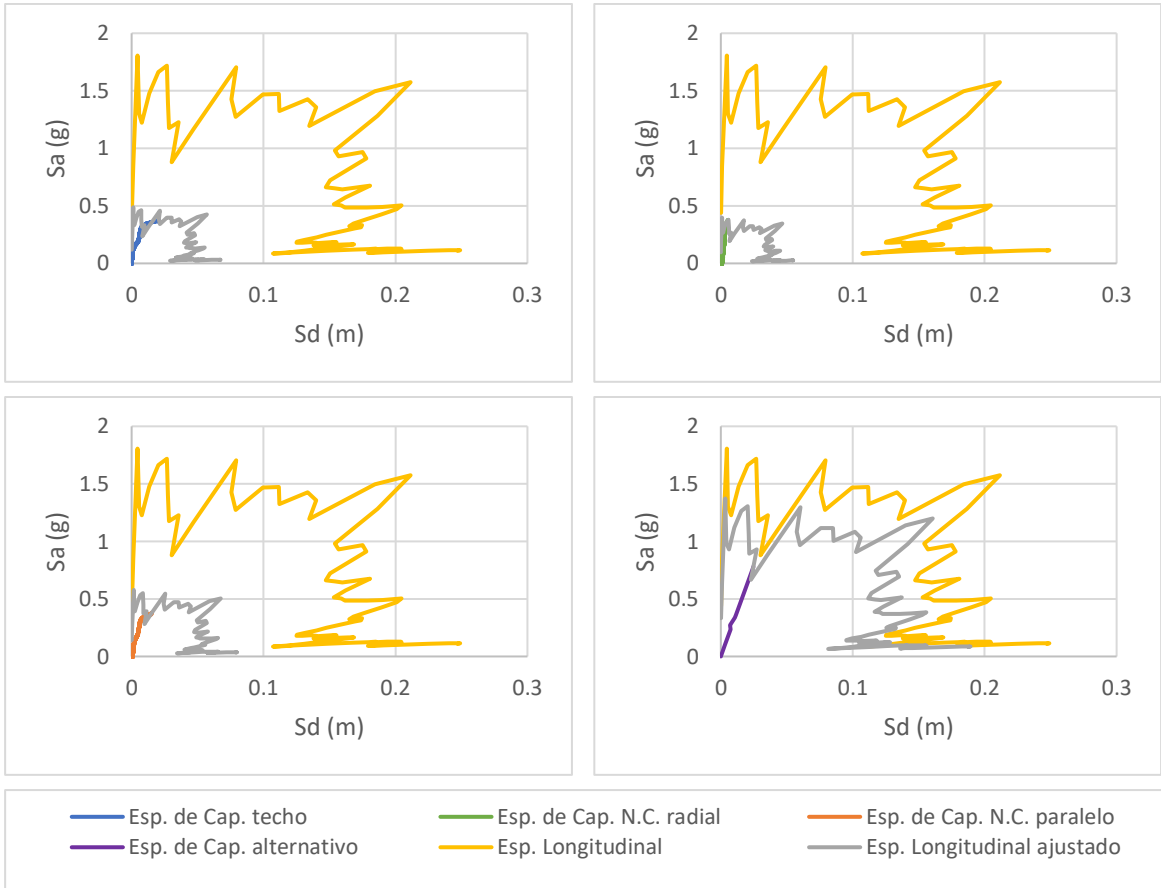


Figura 0-135. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 14

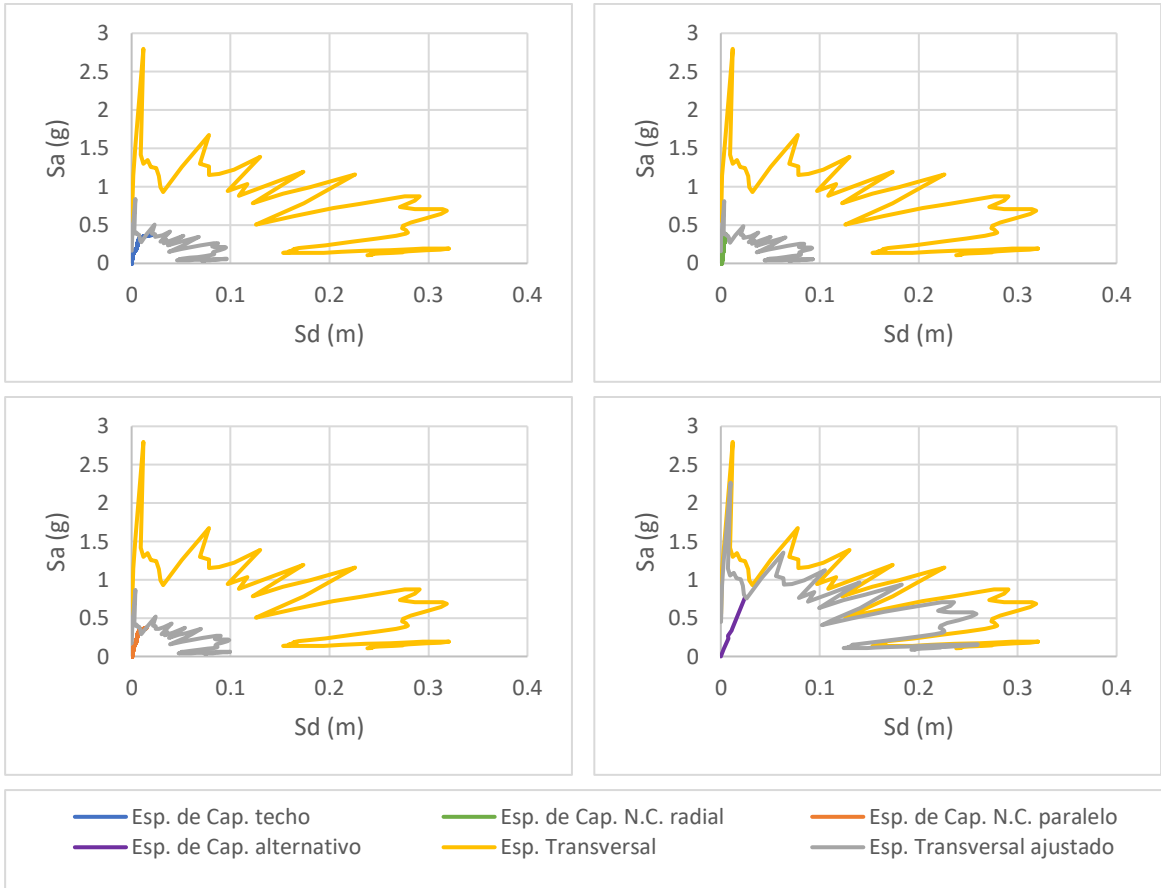


Figura 0-136. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 14

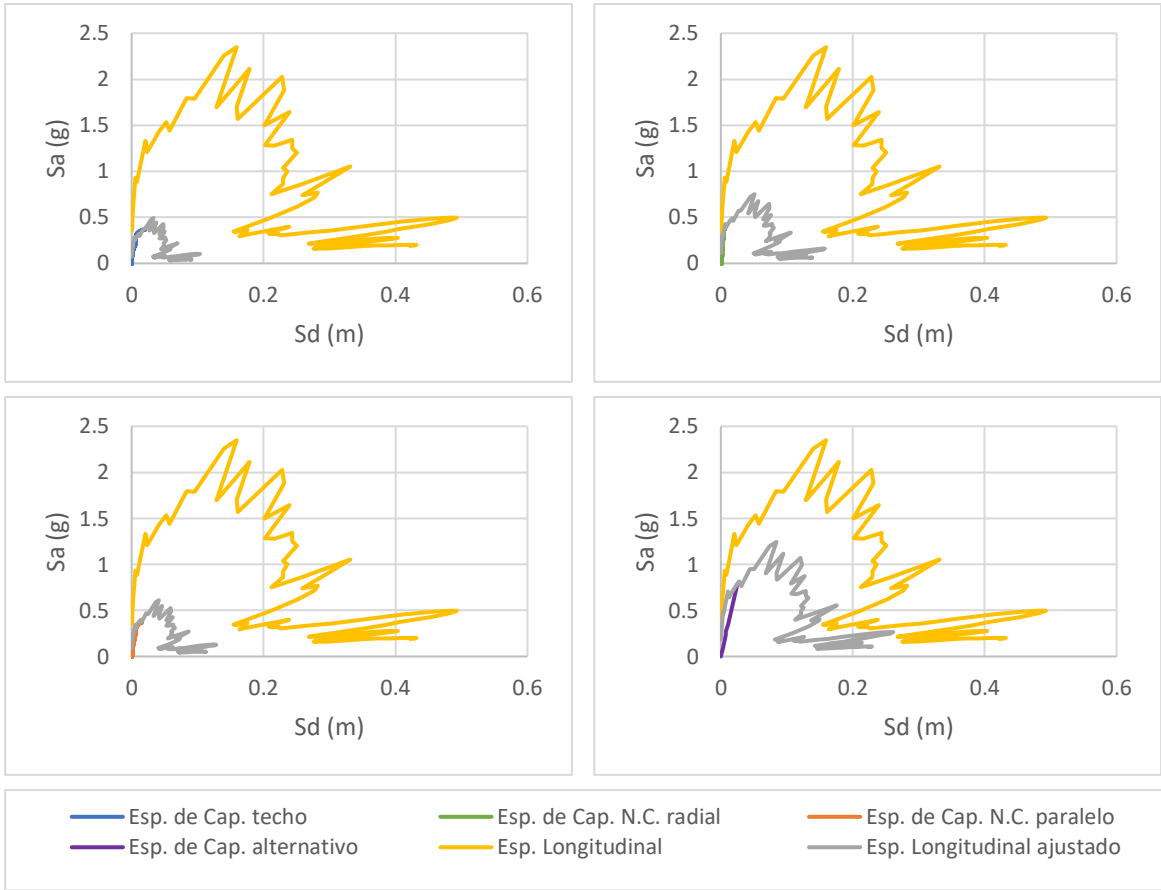


Figura 0-137. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 14

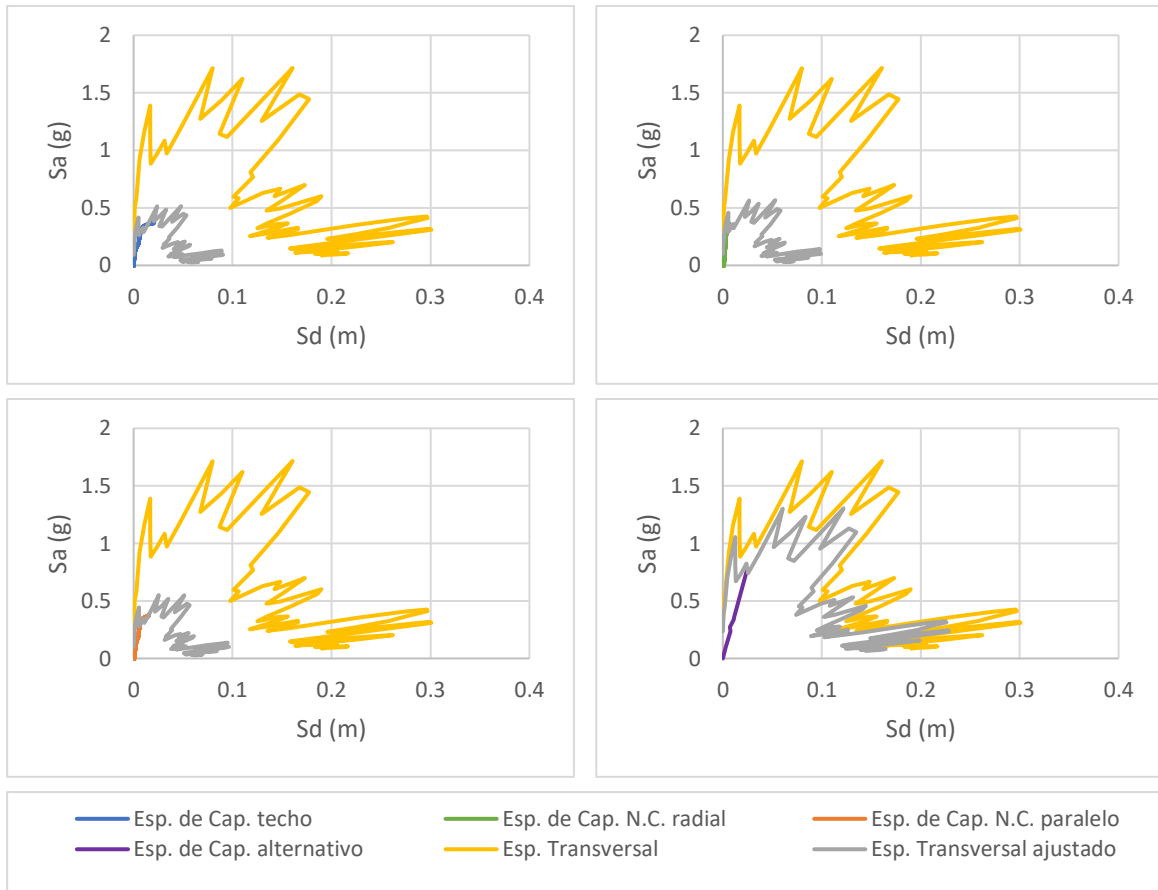


Figura 0-138. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 14



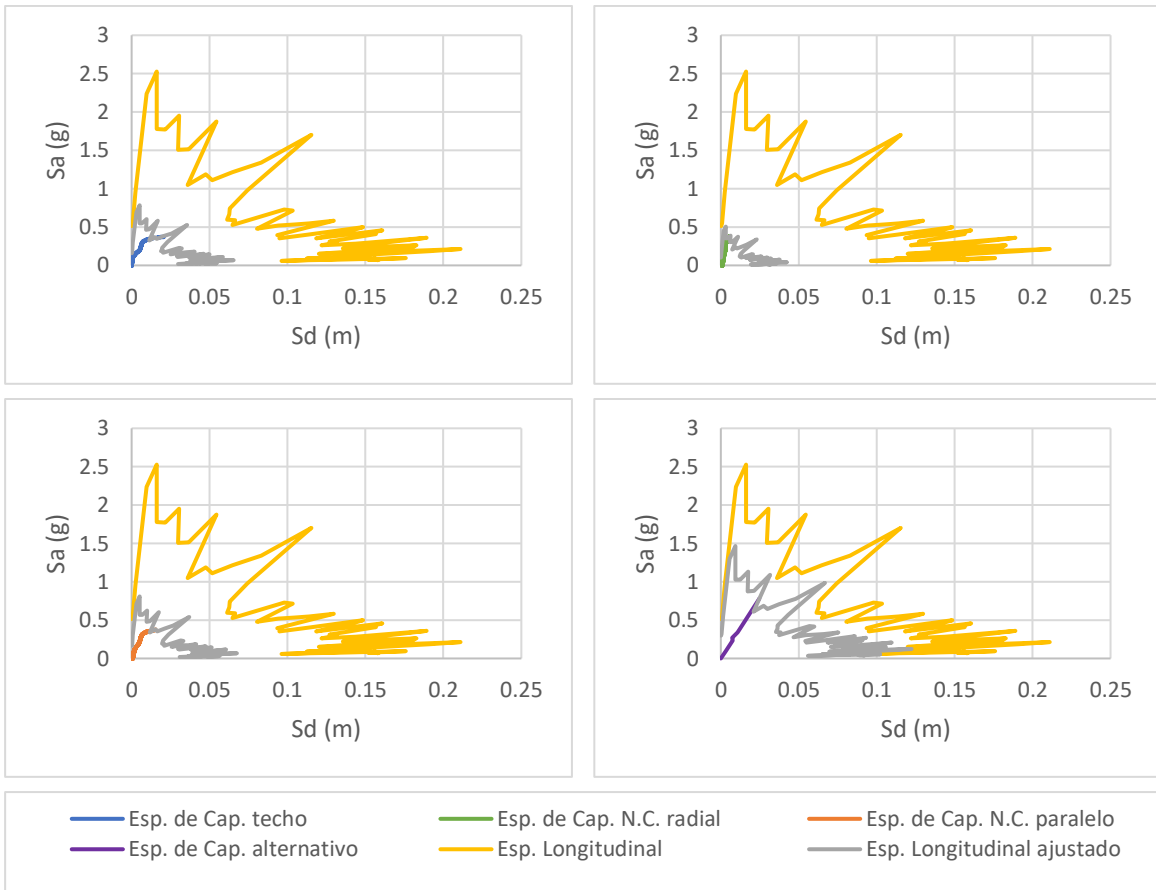


Figura 0-139. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 14

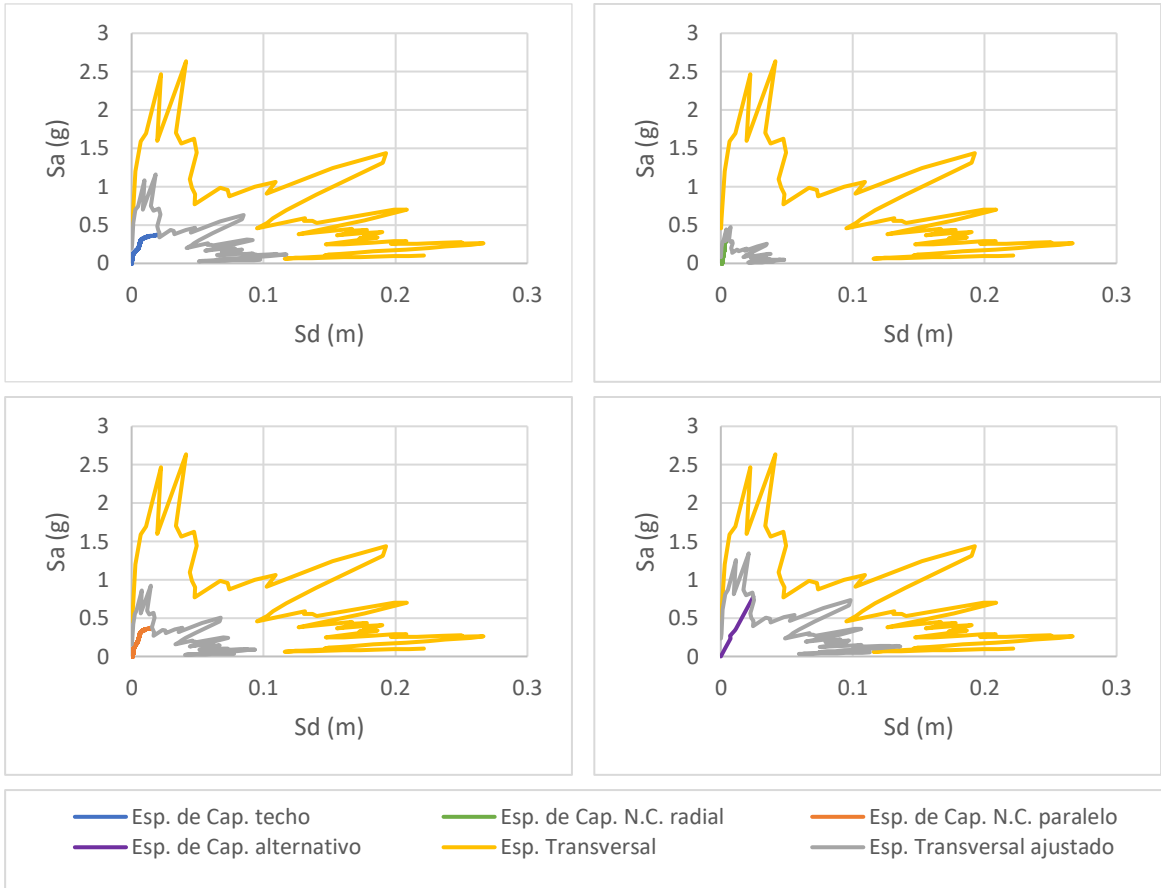


Figura 0-140. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 14

## Anexo B.6

A continuación, se presentan los gráficos del modelo 15 utilizados para los análisis del presente estudio.

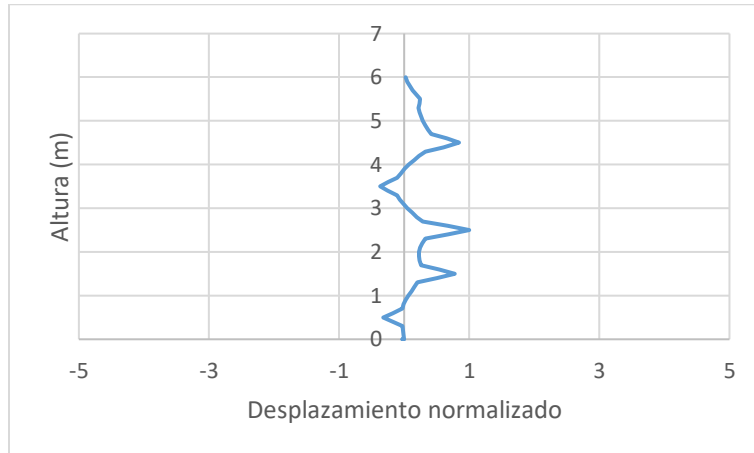


Figura 0-141. Forma modal del Modelo 15

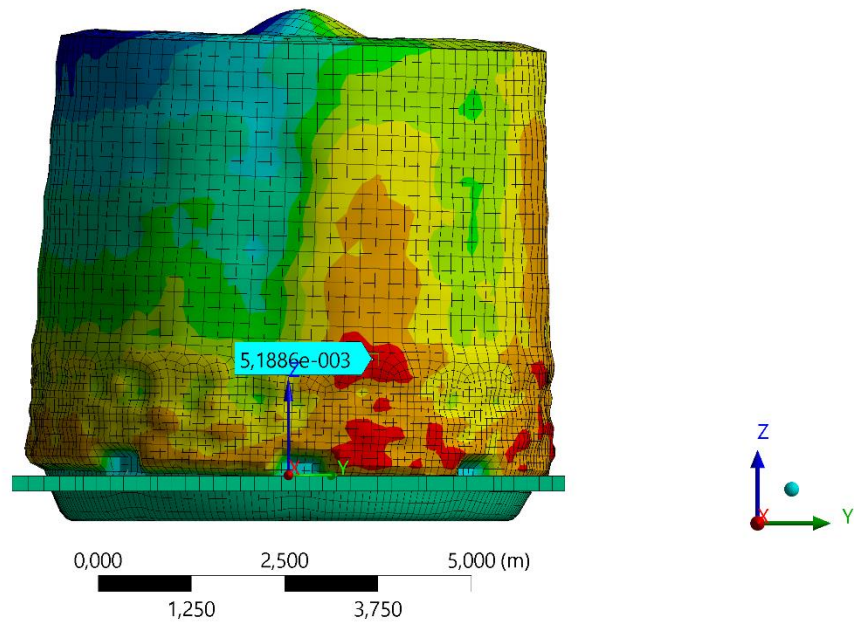


Figura 0-142. Nodo crítico del Modelo 15

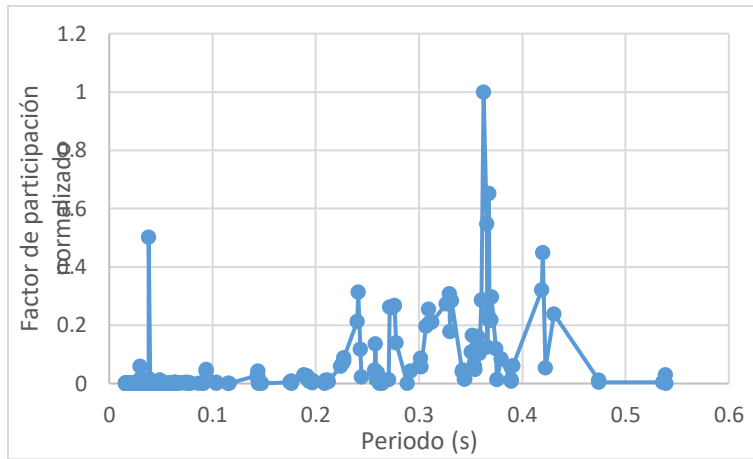


Figura 0-143. Factor de participación normalizado del Modelo 14

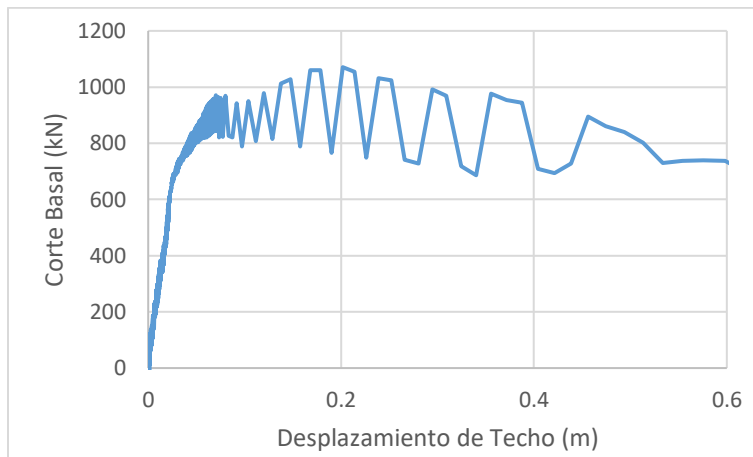


Figura 0-144. Curva de capacidad de Techo para el Modelo 15

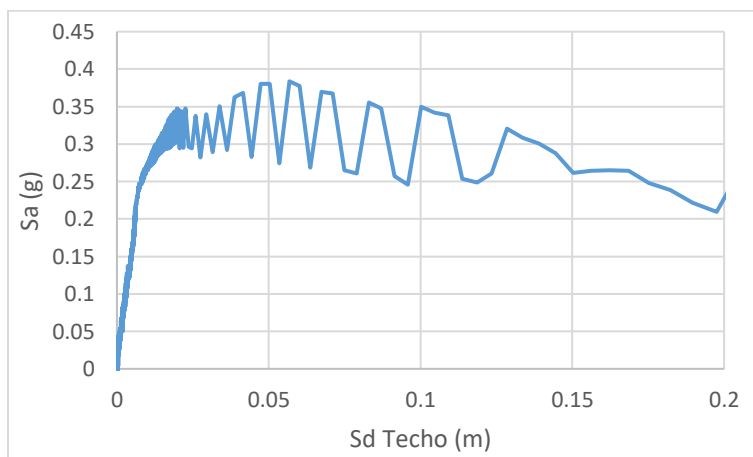


Figura 0-145. Espectro de capacidad de Techo para el Modelo 15

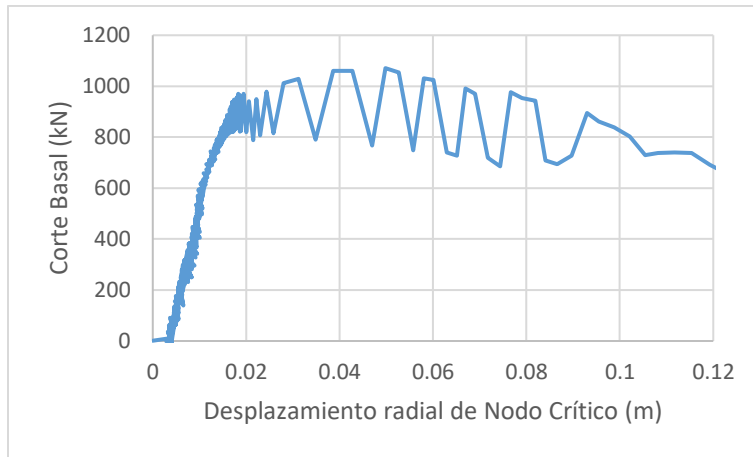


Figura 0-146. Curva de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 15

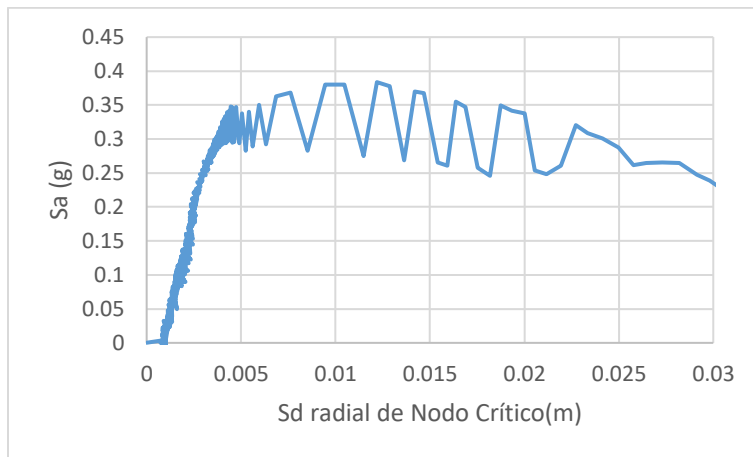


Figura 0-147. Espectro de capacidad de Nodo Crítico para el Modelo 15

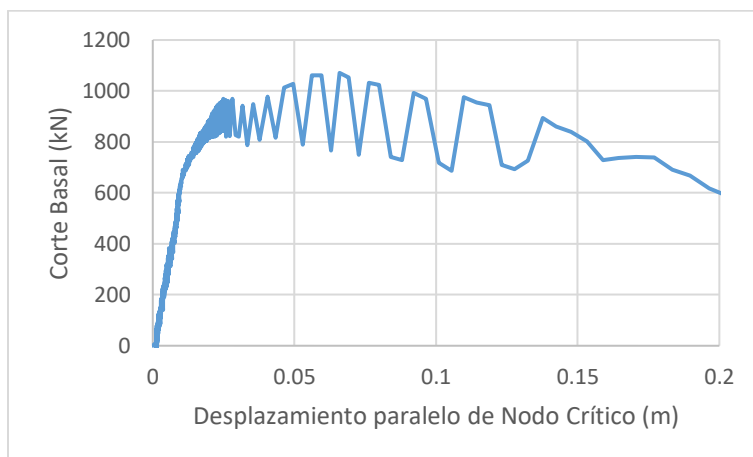


Figura 0-148. Curva de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 15

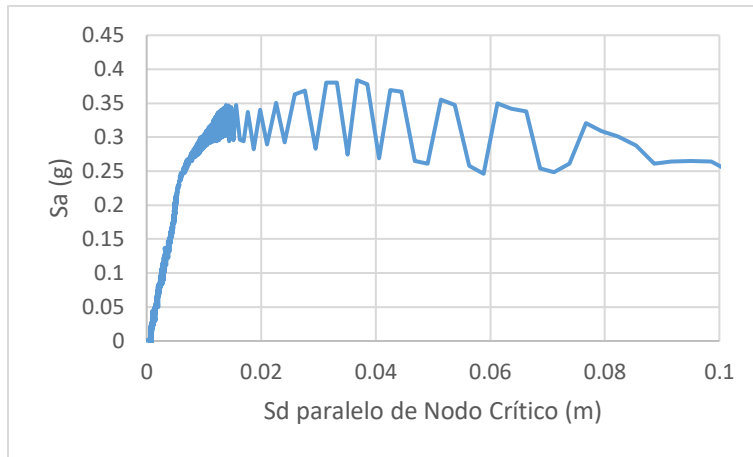


Figura 0-149. Espectro de capacidad paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 15

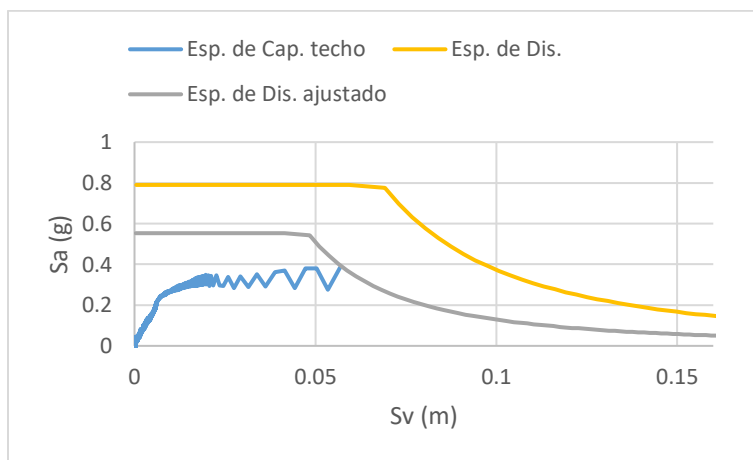


Figura 0-150. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 15 según NCh 2369

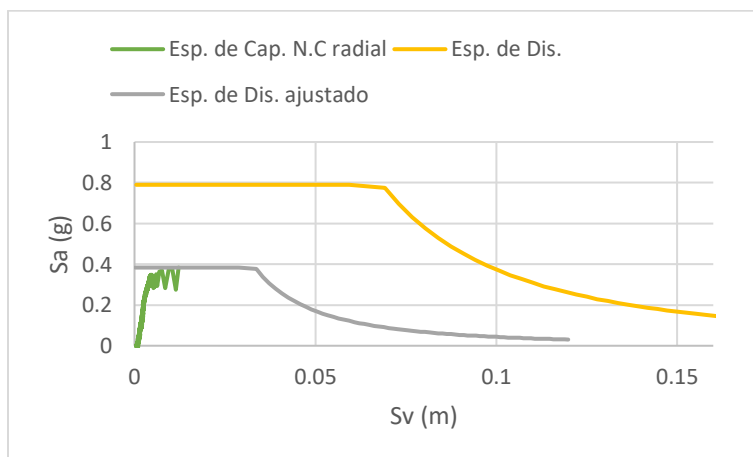


Figura 0-151. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 15 según NCh 2369

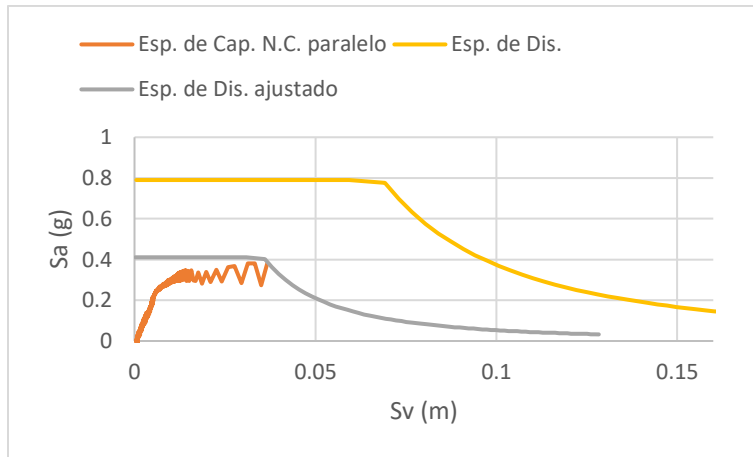


Figura 0-152. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 15 según NCh 2369

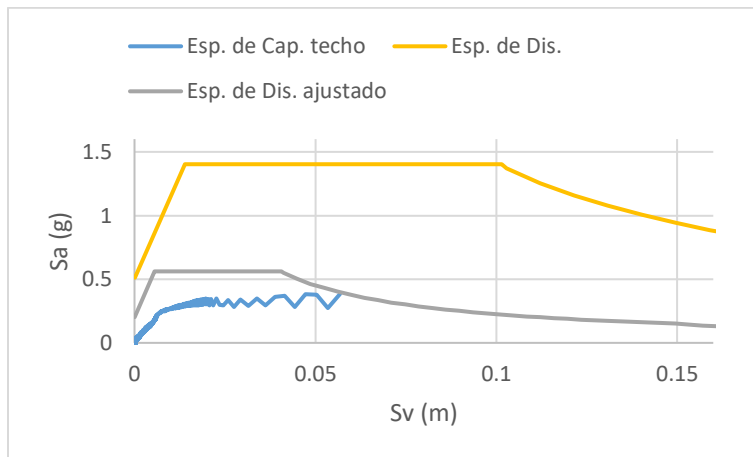


Figura 0-153. Punto de desempeño de Techo para el Modelo 15 según NCh 2745

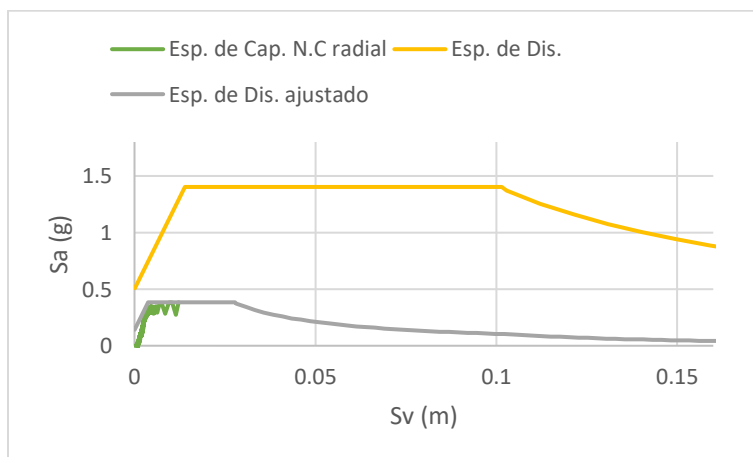


Figura 0-154. Punto de desempeño de Nodo Crítico para el Modelo 15 según NCh 2745

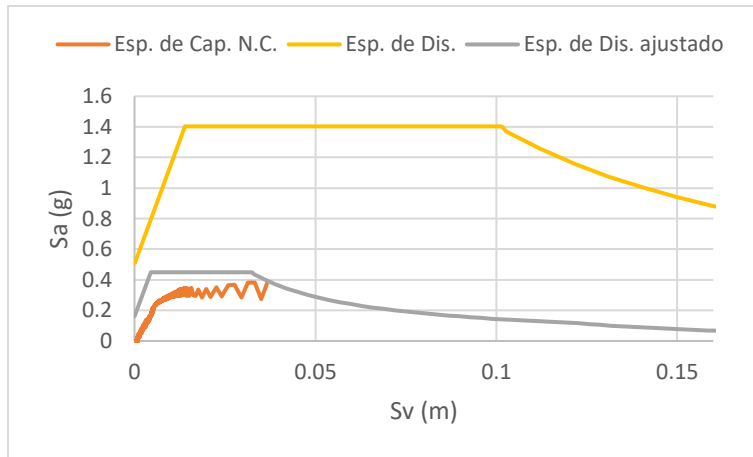


Figura 0-155. Punto de desempeño paralelo de Nodo Crítico para el Modelo 15 según NCh 2745

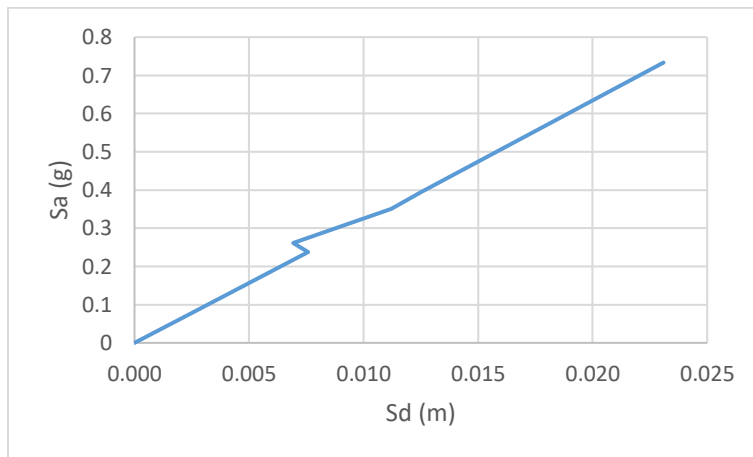


Figura 0-156. Espectro de capacidad para el Modelo 15 según método teórico

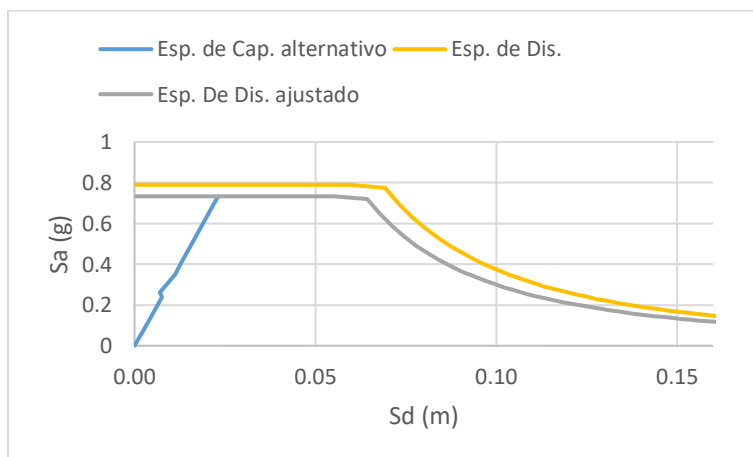


Figura 0-157. Punto de desempeño para el Modelo 15 según método teórico y NCh 2369



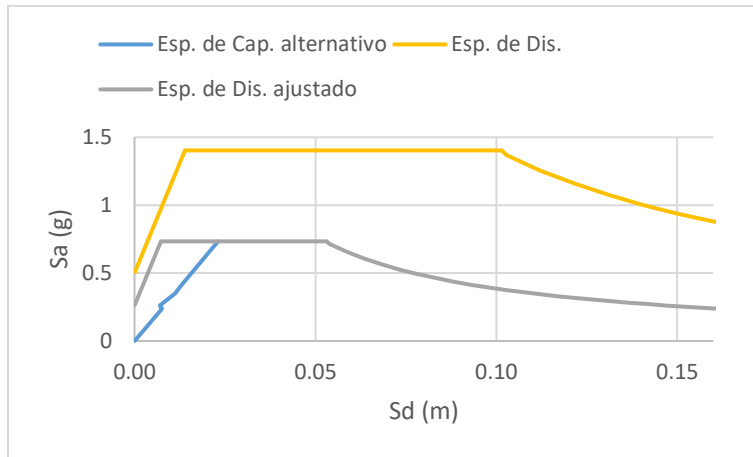


Figura 0-158. Punto de desempeño para el Modelo 15 según método teórico y NCh 2745

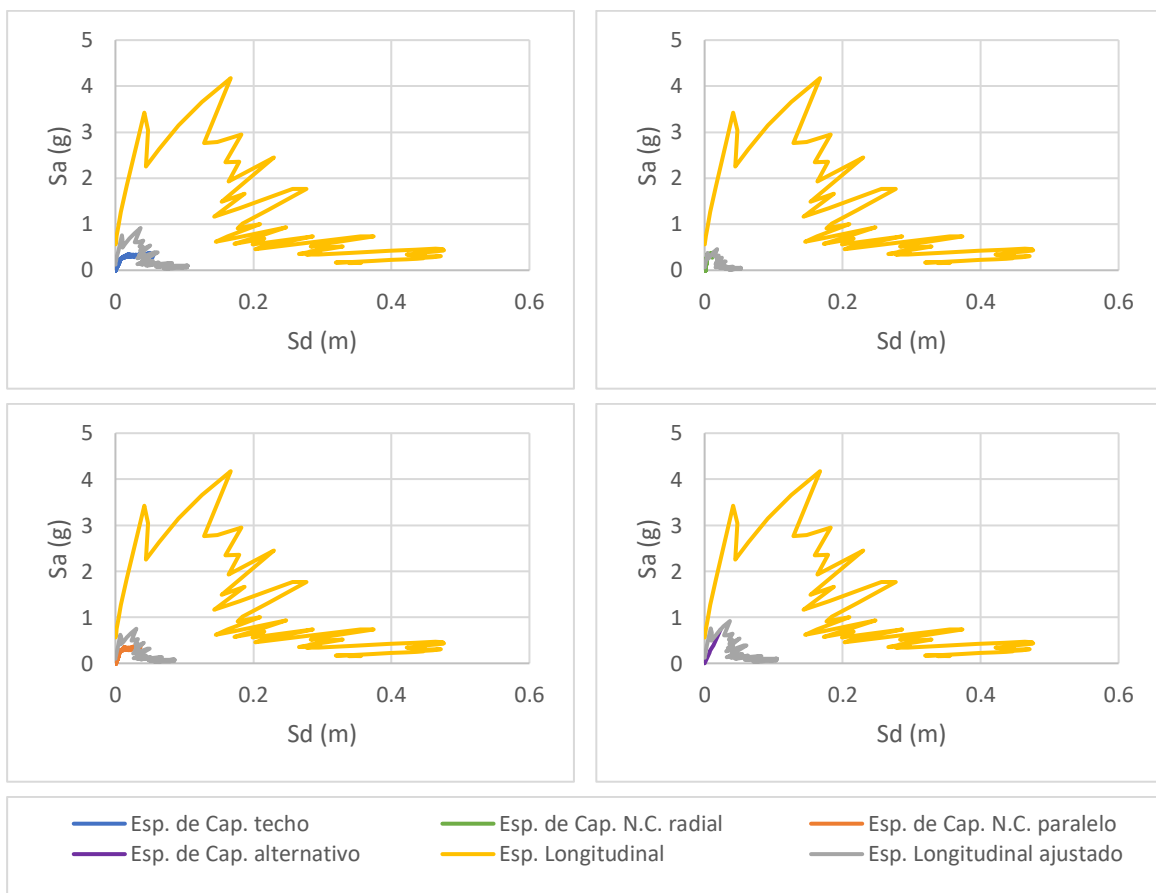


Figura 0-159. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección longitudinal, Modelo 15

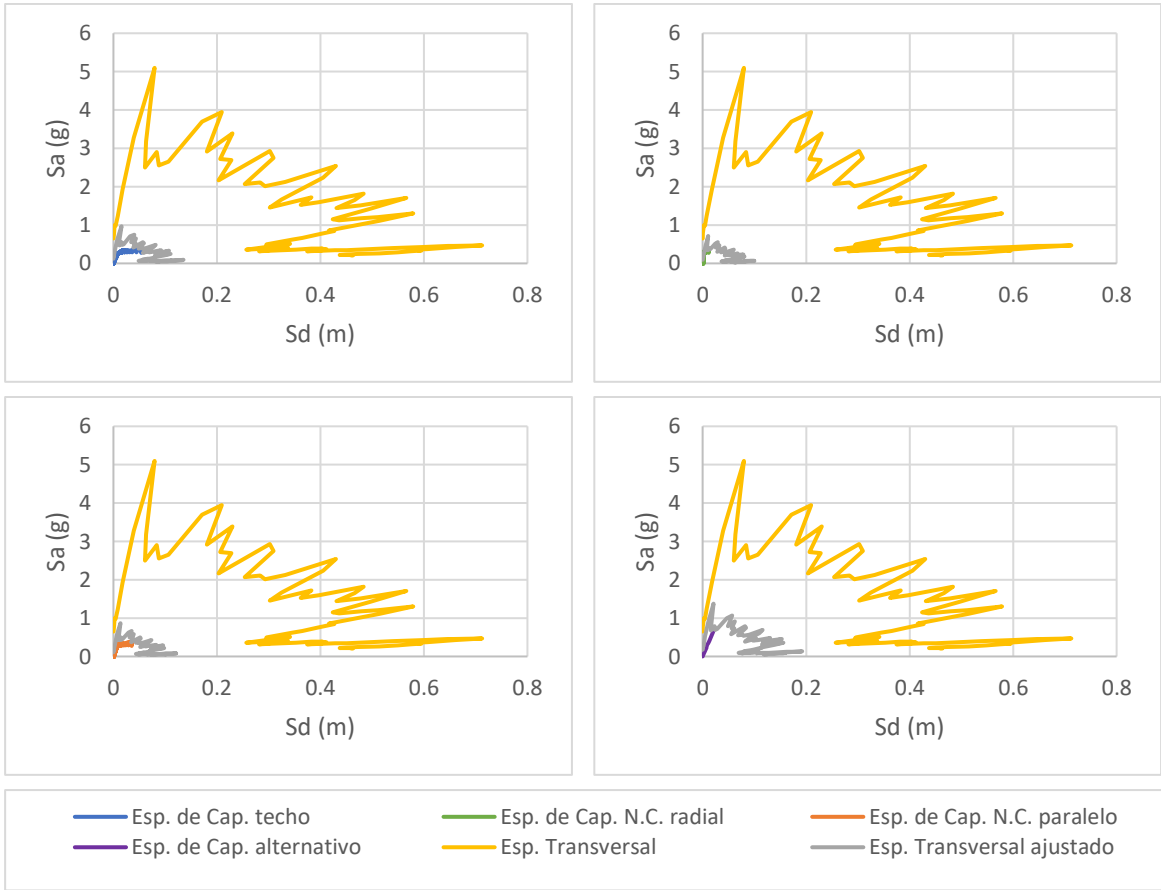


Figura 0-160. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Constitución en la dirección transversal, Modelo 15

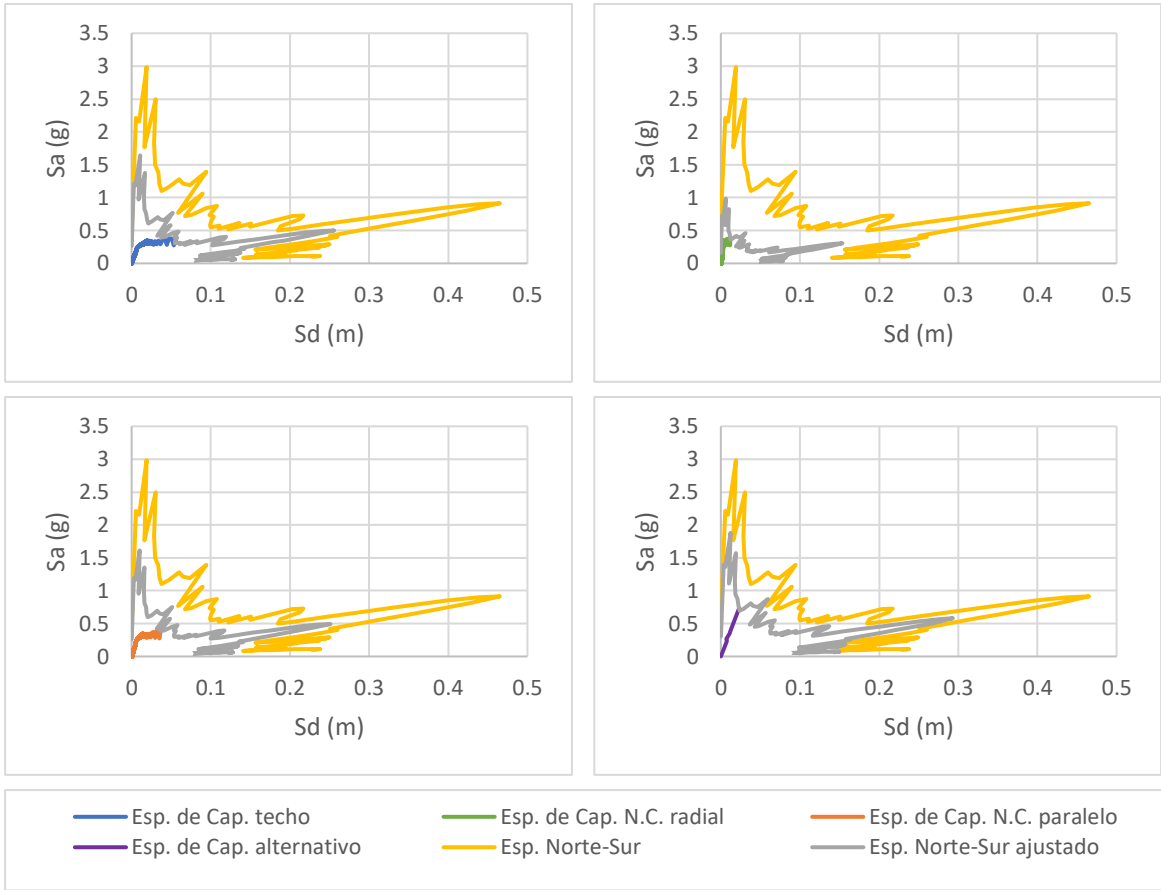


Figura 0-161. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Norte-Sur, Modelo 15

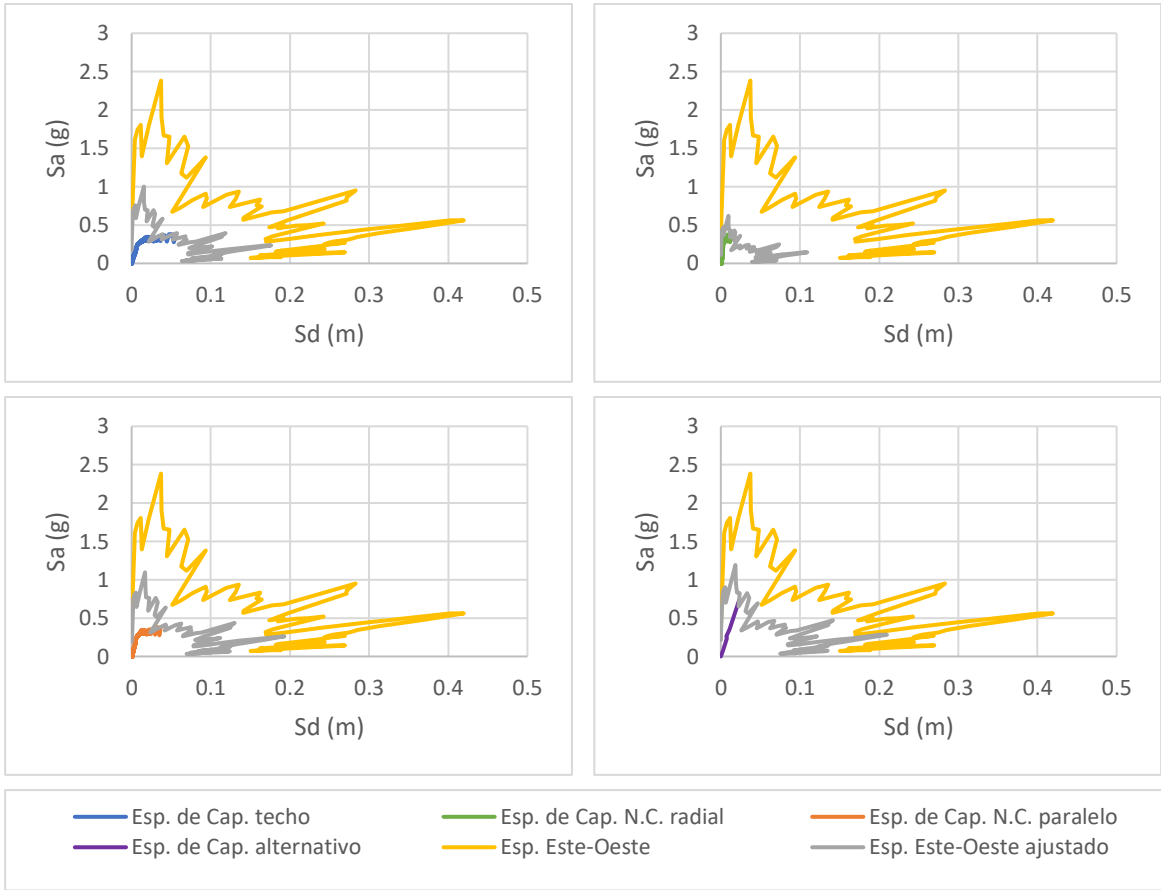


Figura 0-162. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Curicó en la dirección Este-oeste, Modelo 15

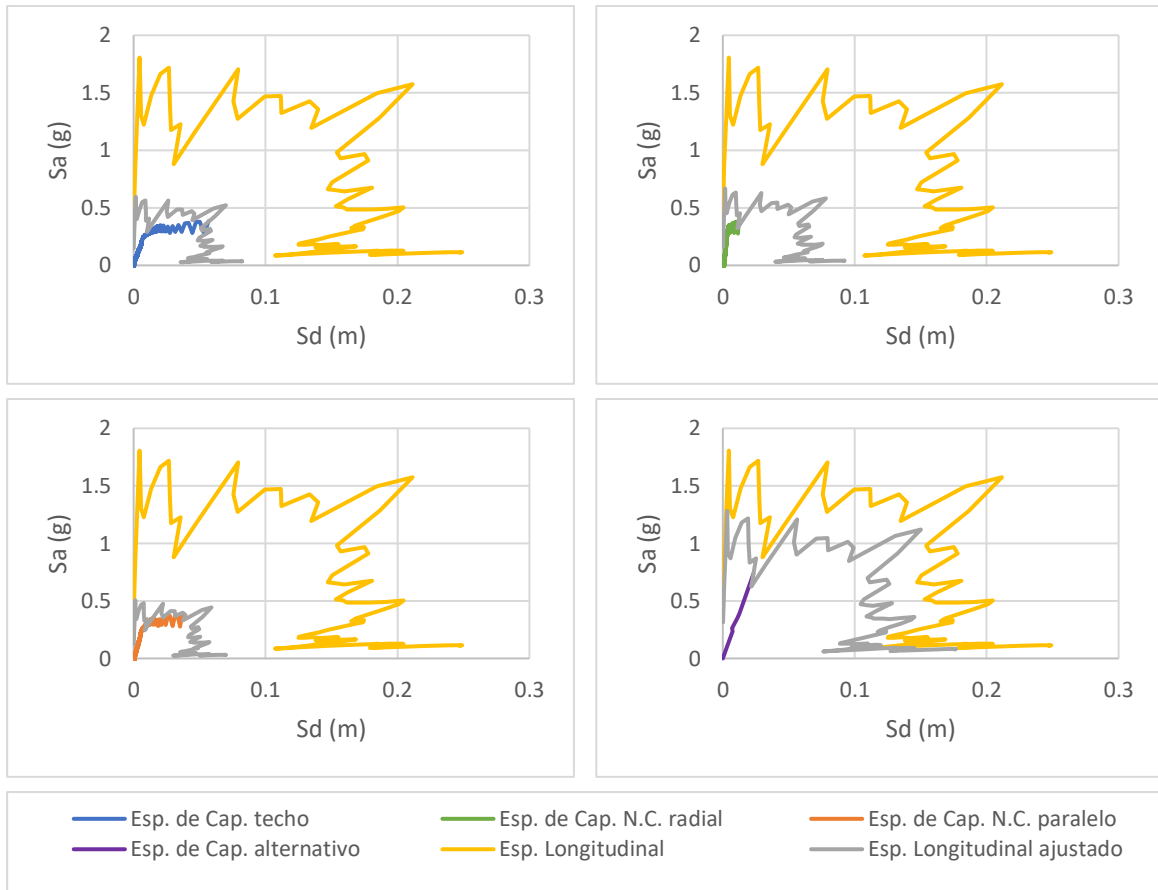


Figura 0-163. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección longitudinal, Modelo 15

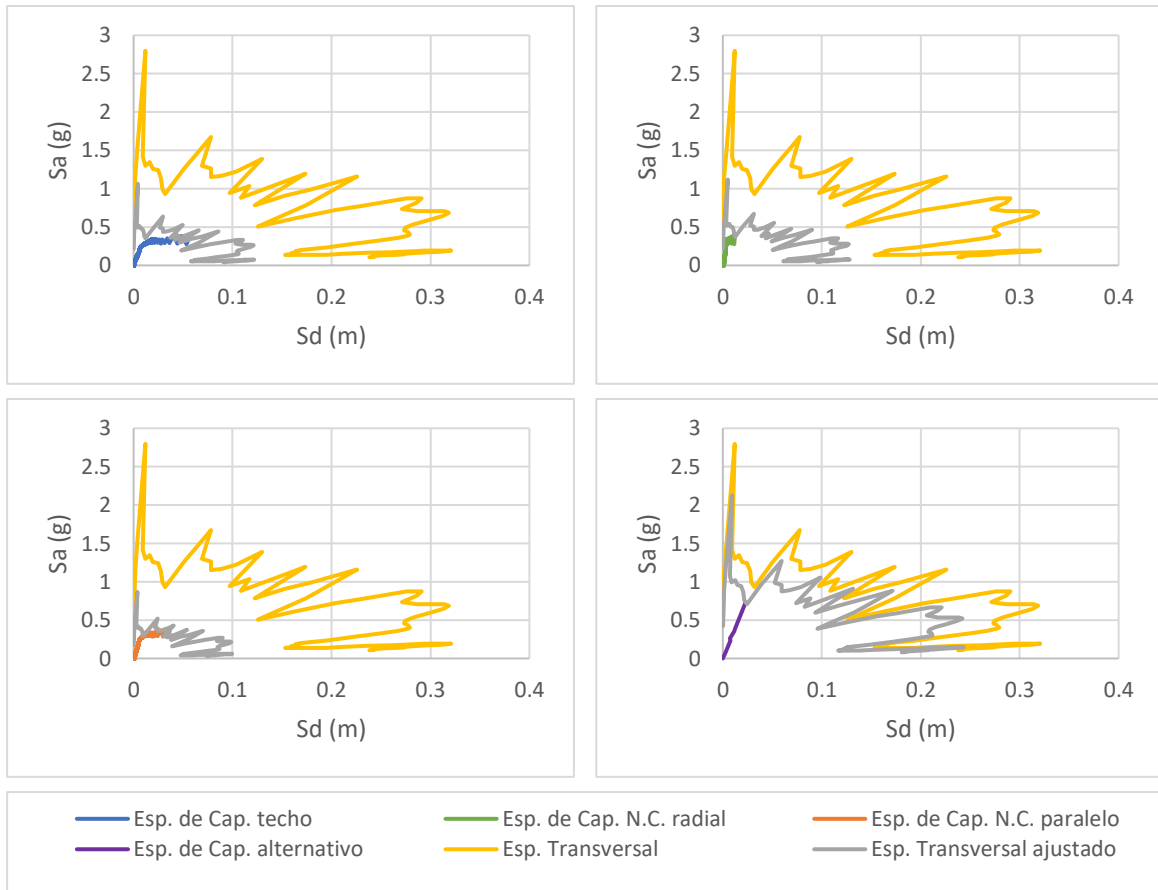


Figura 0-164. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Hualañé en la dirección transversal, Modelo 15

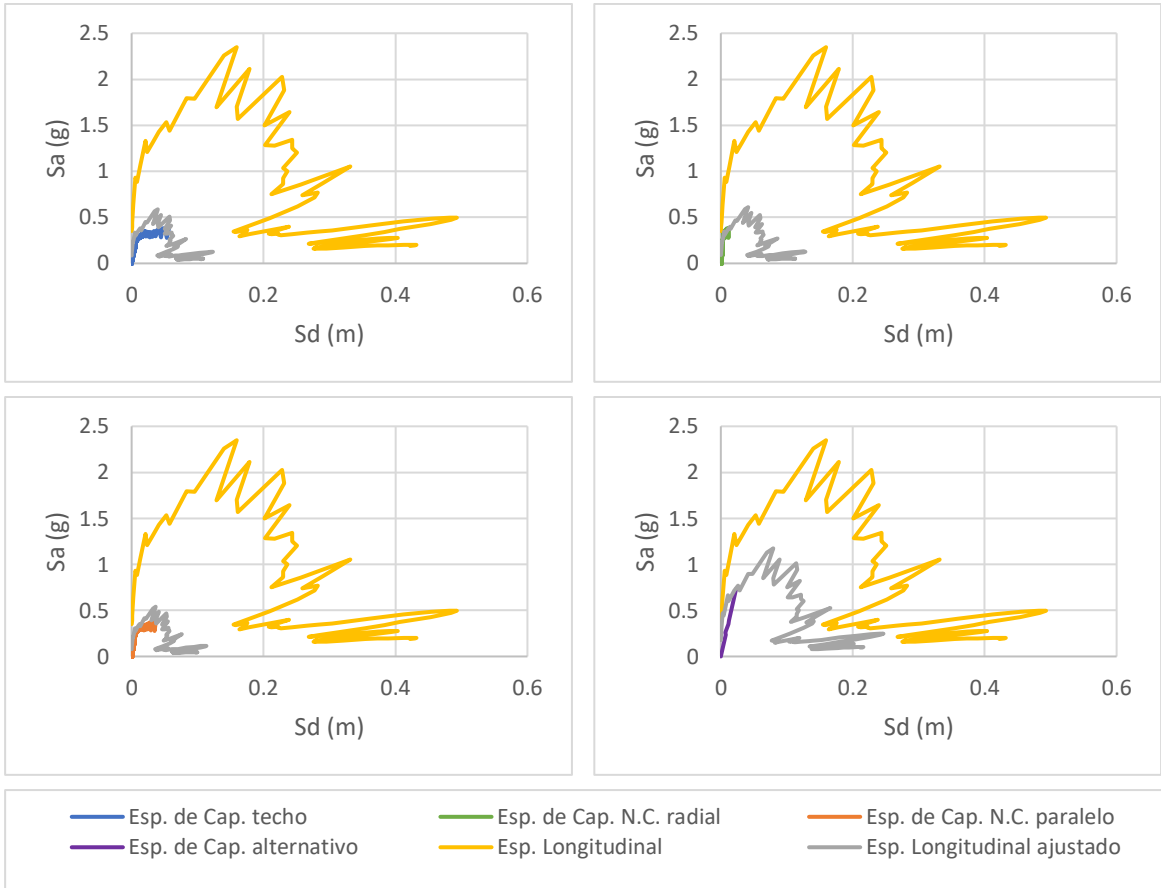


Figura 0-165. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección longitudinal, Modelo 15

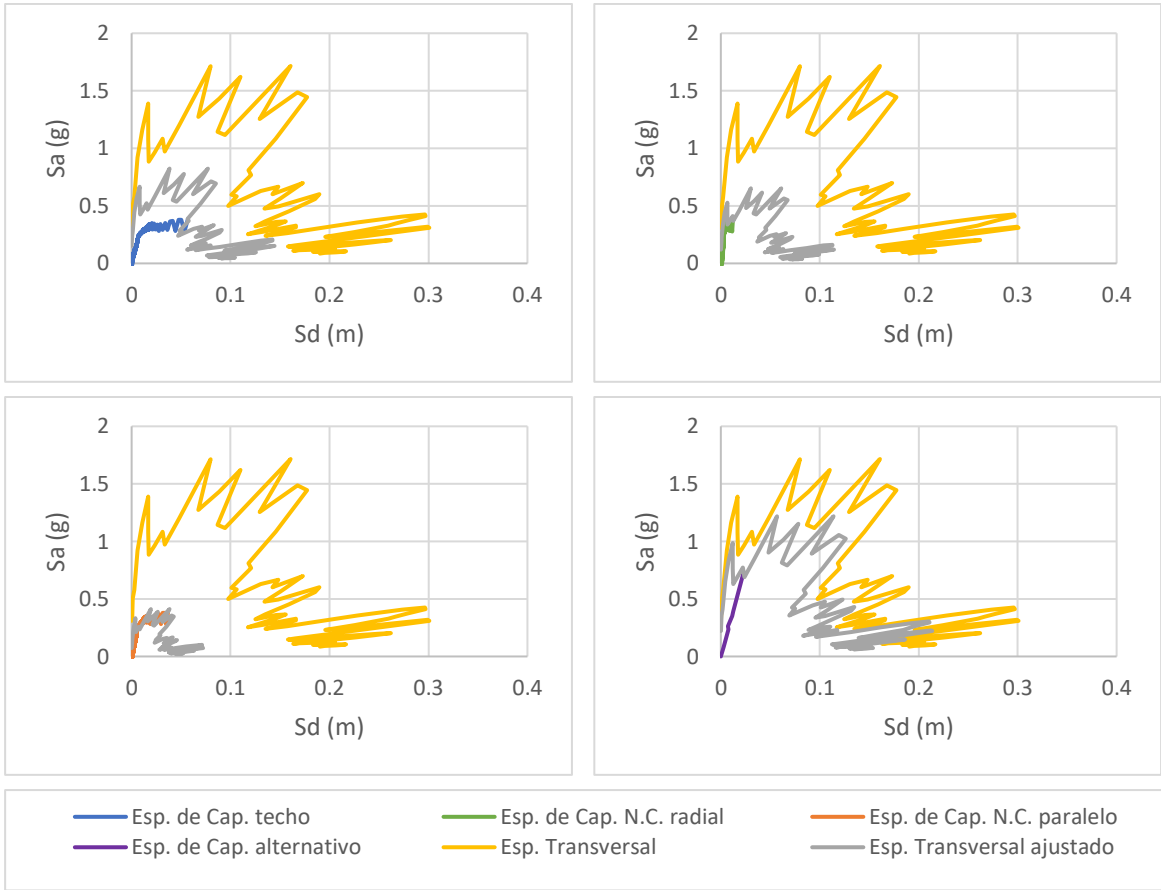


Figura 0-166. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Matanza en la dirección transversal, Modelo 15



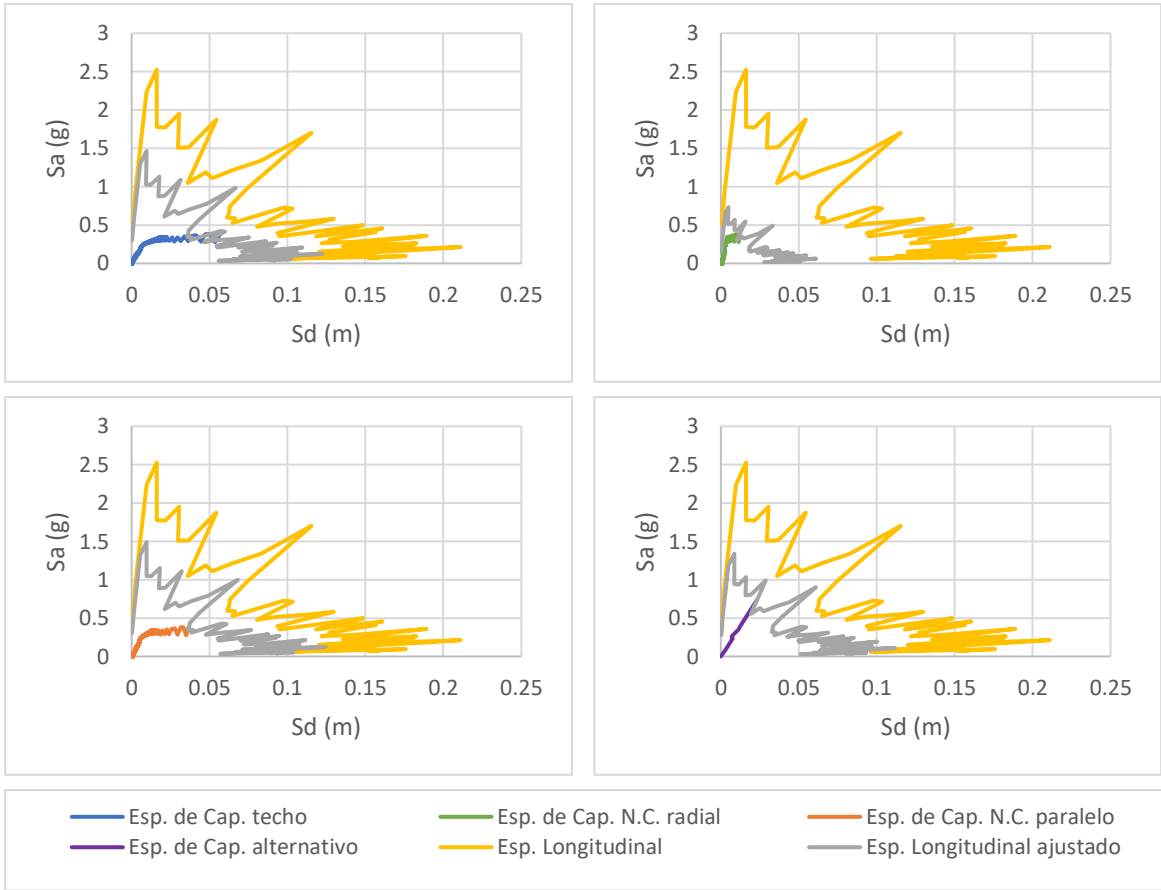


Figura 0-167. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección longitudinal, Modelo 15

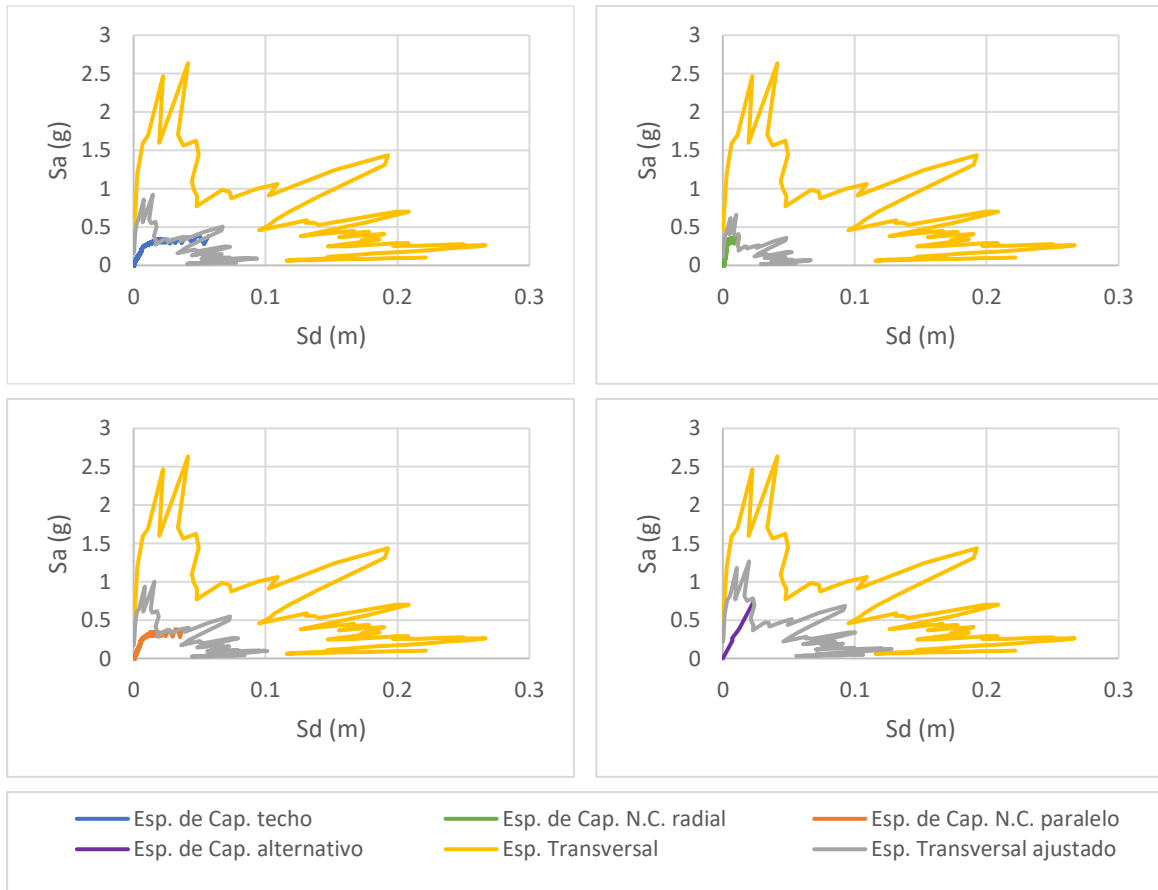


Figura 0-168. Puntos de desempeño para espectro sísmico de Talca en la dirección transversal, Modelo 15

