

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES GENERALES</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Introducción</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2. Situación Eléctrica en Chile</b> .....	<b>2</b>
<b>2.3. Componentes de Operación de una Central Termoeléctrica</b> .....	<b>7</b>
2.3.1. Centrales Térmicas Convencionales.....	7
2.3.2. Centrales Térmicas de Ciclo Combinado.....	8
<b>2.4. Estructura de Caldera en Estudio</b> .....	<b>9</b>
<b>2.5. Antecedentes Stopper</b> .....	<b>11</b>
2.5.1. Stopper Tipo I.....	12
2.5.2. Stopper Tipo II .....	13
<b>2.6. Modelo Integrado</b> .....	<b>14</b>
<b>3. MODELO INTEGRADO</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1. Introducción</b> .....	<b>15</b>
<b>3.2. Descripción y Modelación – Modelo Integrado</b> .....	<b>15</b>
3.2.1. Componentes Internos - FURNACE.....	16
3.2.2. Componentes Internos - CAGE.....	17
3.2.3. Componentes de Gran Tamaño .....	18
3.2.4. Pared de Tubo y Techo de la Caldera .....	19
3.2.5. Hangers.....	20
3.2.6. Masas en Modelo Integrado .....	20
<b>3.3. Propuesta de diseño</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4. Modelación Stopper</b> .....	<b>24</b>
<b>3.5. Incorporación Interacción Suelo Estructura</b> .....	<b>27</b>
3.5.1. Materiales.....	31
3.5.2. Parámetros Geotécnicos.....	31

<b>4. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO SÍSMICO .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1. Introducción.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2. Análisis Modal Espectral.....</b>	<b>32</b>
4.2.1. Espectro de Diseño NCh2369of2003 .....	32
4.2.2. Espectro de Diseño ASCE7-10.....	33
4.2.3. Comentarios Espectro de Diseño.....	35
<b>5. DISEÑO DE STOPPERS.....</b>	<b>37</b>
<b>5.1. Introducción.....</b>	<b>37</b>
<b>5.2. Disposición Plataformas y Buckstays.....</b>	<b>37</b>
<b>5.3. Disposición Guías y Columnas de Sacrificio (Stoppers).....</b>	<b>42</b>
5.3.1. Stopper Tipo I.....	44
5.3.2. Stopper Tipo II .....	45
<b>5.4. Solicitaciones para Diseño .....</b>	<b>45</b>
<b>5.5. Diseño Stoppers .....</b>	<b>49</b>
5.5.1. Columnas de Sacrificio .....	51
5.5.2. Guías.....	65
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>66</b>
<b>6.1. Introducción.....</b>	<b>66</b>
<b>6.2. Modelo Fixed.....</b>	<b>66</b>
6.2.1. Modos .....	66
6.2.2. Desplazamientos Caldera.....	68
<b>6.3. Modelo ISE.....</b>	<b>72</b>
6.3.1. Modos .....	72
6.3.2. Desplazamientos Caldera.....	73
<b>6.4. Modelo Sin Stoppers.....</b>	<b>78</b>
6.4.1. Modos .....	78
6.4.2. Desplazamientos Caldera.....	79
<b>6.5. Deformaciones Columnas de Sacrificio .....</b>	<b>83</b>

<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	<b>87</b>
<b>7.1. Resultados Comparativos de Modelos</b> .....	<b>87</b>
<b>7.2. Validación de Metodología de Diseño de Stoppers Sísmicos</b> .....	<b>90</b>
<b>7.3. Recomendaciones</b> .....	<b>92</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>96</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>97</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>1</b>
<b>A1. Diseño de Columna de Sacrificio Stopper Tipo I</b> .....	<b>1</b>
<b>A2. Diseño de Columna de Sacrificio Stopper Tipo II</b> .....	<b>7</b>
<b>A3. Diagrama Momento Curvatura según ASCE/SEI 41-13</b> .....	<b>13</b>
<b>A4. Diseño Guías Stoppers</b> .....	<b>15</b>
<b>A5. Metodología Análisis de Pushover</b> .....	<b>20</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Demanda Anual SIC y SING Periodo 2007-2016 FUENTE: CNE.....	3
Tabla 2: Masas Componentes Tipo Shell. ....	20
Tabla 3: Masa Componentes Tipo Sólidos.....	21
Tabla 4: Masa Componentes Tipo Frame. ....	21
Tabla 5: Masas Puntuales.....	22
Tabla 6: Propiedades del Acero.....	27
Tabla 7: Dimensiones Pedestales. ....	28
Tabla 8: Coeficiente Sísmico Máximo.....	32
Tabla 9: Plataformas.....	37
Tabla 10: Zonificación Buckstays. ....	41
Tabla 11: Distribución Stoppers por Plataforma.....	42
Tabla 12: Fuerzas Solicitantes para Diseño.....	47
Tabla 13: Dimensiones Columnas de Sacrificio. ....	51
Tabla 14: Deformaciones Pushover.....	64
Tabla 15: Diseño Guías Elásticas.....	65
Tabla 16: Modos Modelo Fixed.....	67
Tabla 17: Desplazamientos Relativos Caldera - Estructura de Soporte Modelo Fixed.....	69
Tabla 18: Modos Modelo ISE. ....	73
Tabla 19: Desplazamientos Relativos Caldera - Estructura de Soporte Modelo ISE. ....	74
Tabla 20: Modos Modelo Sin Stoppers. ....	79
Tabla 21: Desplazamientos Relativos Caldera - Estructura de Soporte. ....	80
Tabla 22: Estimación de Deformaciones Plásticas.....	86
Tabla 23: Periodos Fundamentales Estructura de Modelos Fixed e ISE. ....	87
Tabla 24: Efecto 1. ....	88
Tabla 25: Parámetros y criterios de aceptación según ASCE41-13. ....	13

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolución de Ventas Anuales Periodo 2007-2016.....	4
Gráfico 2: Espectro de Diseño Último NCh2369of2003 ( $\xi=3\%$ ).....	33
Gráfico 3: Espectro de Diseño ASCE7-10 ( $\xi=4\%$ y $5\%$ ).....	35
Gráfico 4: Espectros Elásticos ASCE7-10 y NCh2369of2003.....	36
Gráfico 5: Espectros Análisis Modal Espectral.....	46
Gráfico 6: Comportamiento según nivel de esbeltez.....	49
Gráfico 7: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL1 - RX1 RX2.....	52
Gráfico 8: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL1 - RX1 RX2.....	52
Gráfico 9: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL1 - RY1.....	52
Gráfico 10: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL1 - RY1.....	53
Gráfico 11: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL1 - RY2.....	53
Gráfico 12: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL1 - RY2.....	53
Gráfico 13: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL3 - RX1 RX2.....	54
Gráfico 14: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL3 - RX1 RX2.....	54
Gráfico 15: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL3 - RY1.....	54
Gráfico 16: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL3 - RY1.....	55
Gráfico 17: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL3 - RY2.....	55
Gráfico 18: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL3 - RY2.....	55
Gráfico 19: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL3 - RY3.....	56
Gráfico 20: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL3 - RY3.....	56
Gráfico 21: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL3 - RY4.....	56
Gráfico 22: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL3 - RY4.....	57
Gráfico 23: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL4 - RX1 RX2.....	57
Gráfico 24: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL4 - RX1 RX2.....	57
Gráfico 25: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL5 - RX1 RX3.....	58
Gráfico 26: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL5 - RX1 RX3.....	58
Gráfico 27: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL5 - RX2 RX4.....	58
Gráfico 28: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL5 - RX2 RX4.....	59
Gráfico 29: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL5 - RY1.....	59
Gráfico 30: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL5 - RY1.....	59
Gráfico 31: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL5 - RY2.....	60
Gráfico 32: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL5 - RY2.....	60
Gráfico 33: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL6 - RX1 RX3.....	60
Gráfico 34: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL6 - RX1 RX3.....	61
Gráfico 35: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL6 - RX2 RX4.....	61
Gráfico 36: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL6 - RX2 RX4.....	61
Gráfico 37: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL6 - RY1.....	62
Gráfico 38: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL6 - RY1.....	62
Gráfico 39: Momento Curvatura M- $\varphi$ - PL6 - RY2.....	62

Gráfico 40: Fuerza Deformación F- $\Delta$ - PL6 - RY2.....	63
Gráfico 41: Deformada Caldera Modelo Fixed - Plano XY. Factor de Amplificación: 10. ....	69
Gráfico 42: Deformada Caldera Modelo Fixed - Plano XZ. Factor de Amplificación: 10.....	70
Gráfico 43: Deformada Caldera Modelo Fixed - Plano YZ. Factor de Amplificación: 10.....	71
Gráfico 44: Deformada Caldera Modelo ISE - Plano XY. Factor de Amplificación: 10.....	75
Gráfico 45: Deformada Caldera Modelo ISE - Plano XZ. Factor de Amplificación: 10.....	76
Gráfico 46: Deformada Caldera Modelo ISE - Plano YZ.....	77
Gráfico 47: Deformada Caldera - Plano XY. Factor de Amplificación: 10.....	80
Gráfico 48: Deformada Caldera - Plano XZ. Factor de Amplificación: 10.....	81
Gráfico 49: Deformada Caldera - Plano YZ. Factor de Amplificación: 10.....	82
Gráfico 50: Deformación Elástica vs Plástica. ....	83
Gráfico 51: Fuerza - Deformación o Momento - Giro. FUENTE: ASCE41-13.....	85

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Mapa SIC.....	5
Figura 2: Mapa SING. ....	6
Figura 3: Central Térmica Convencional. ....	7
Figura 4: Central Térmica de Ciclo Combinado.....	9
Figura 5: Estructura de Soporte de Caldera en Estudio.....	9
Figura 6: Estructura de Interacción Soporte – Caldera.....	10
Figura 7: Caldera y Hangers.....	10
Figura 8: Estructura de la Caldera.....	11
Figura 9: Stopper Tipo I con daño. FUENTE: “Atico, Peru, Mw 8.4 Earthquake of June 23, 2001”. Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering of ASCE.....	12
Figura 10: Stopper Tipo II con daño. FUENTE: “Atico, Peru, Mw 8.4 Earthquake of June 23, 2001”. Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering of ASCE.....	13
Figura 11: Modelo Integrado.....	14
Figura 12: Simplificación de Paquete de Tubos del Furnace. ....	16
Figura 13: Tubos simplificados del Furnace. ....	16
Figura 14: Paquetes de Tubos del Cage.....	17
Figura 15: Simplificación de Tubos Dinámicamente Equivalentes del Cage. ....	18
Figura 16: Componentes de Gran Tamaño. ....	19
Figura 17: Pared de Tubo y Techo de la Caldera. ....	19
Figura 18: Hangers.....	20
Figura 19: Propuesta de Diseño. ....	23
Figura 20: Vista General Propuesta de Diseño.....	24
Figura 21: Ejes Locales Frames.....	25
Figura 22: Grados de Libertad de los Stoppers.....	26
Figura 23: Releases Guía y Columna de Sacrificio.....	26
Figura 24: Simplificación en Modelo.....	26
Figura 25: Propuesta de Stopper Simplificada.....	27
Figura 26: Modelo Integrado Fixed.....	27
Figura 27: Distribución Pedestales y Geometría MAT.....	29
Figura 28: Zonas y asentamientos estáticos.....	30
Figura 29: Modelo con Interacción Suelo Estructura (ISE).....	31
Figura 30: Plataformas .....	38
Figura 31: Plataforma - PL0.....	38
Figura 32: Plataforma - PL1.....	38
Figura 33: Plataforma - PL2.....	39
Figura 34: Plataforma - PL3.....	39
Figura 35: Plataforma - PL4.....	39
Figura 36: Plataforma - PL5.....	40
Figura 37: Plataforma - PL6.....	40

Figura 38: Buckstays.....	41
Figura 39: PL1 con Stoppers.....	42
Figura 40: PL3 con Stoppers.....	43
Figura 41: PL4 con Stoppers.....	43
Figura 42: PL5 con Stoppers.....	43
Figura 43: PL6 con Stoppers.....	44
Figura 44: Stopper Tipo I.....	44
Figura 45: Stopper Tipo II.....	45
Figura 46: Modelo Integrado Fixed y ISE.....	46
Figura 47: Esquema Análisis de Pushover.....	50
Figura 48: Carga concentrada en cualquier punto. FUENTE: ICHA.....	84
Figura 49: Carga concentrada en el extremo libre. FUENTE: ICHA.....	85
Figura 50: Plataformas PL5 y PL6.....	92
Figura 51: Supuesto de Dilatación por Temperatura.....	93
Figura 52: Stopper Tipo Link.....	93
Figura 53: Giro Horizontal y Vertical de Stopper Tipo Link.....	94
Figura 54: Columna de Refuerzo.....	94
Figura 55: Distancia Libre (GAP).....	95
Figura 56: Relaciones Momento Curvatura y Modelo del ASCE41-13.....	13
Figura 57: Load Patterns – Live.....	21
Figura 58: Modelación y Asignación de Carga.....	21
Figura 59: Rótula Plástica.....	21
Figura 60: Load Case Live.....	22
Figura 61: Otros Parámetros para Análisis de Pushover.....	22
Figura 62: Curva Fuerza Deformación – Análisis de Pushover.....	23