

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Actividad Sísmica en Chile	1
1.2. Descripción del Problema	3
1.3. Motivación	5
1.4. Objetivos y Alcances.....	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.4.3. Alcances	6
2. METODOLOGÍA	7
2.1. Estrategia de Solución General	7
2.2. Análisis del Modelo Integrado de la Caldera	8
2.3. Análisis del Modelo Local de Tubos.....	10
2.3.1. Diseño de los Tubos	11
2.3.2. Implementación del Modelo Computacional	13
2.3.3. Método de Análisis.....	14
2.4. Evaluación del Impacto.....	15
3. MARCO TEÓRICO.....	19
3.1. Conceptos Relevantes	19
3.1.1. Generadores de Vapor	19
3.1.2. Vibraciones Mecánicas	20
3.1.3. Energía de Deformación.....	27
3.1.4. Contacto entre Superficies Sólidas.....	29
3.1.5. Mecánica del Impacto	35
3.2. Criterios de Diseño Sísmico	40
3.2.1. Norma NCh2369.Of2003	40
3.2.2. Código ASCE/SEI 7	42
3.3. Código ASME.....	45
3.3.1. “Boiler & Pressure Vessel Code”.....	45
3.3.2. “Power Piping Code” B31.1.....	45
3.4. Método de Elementos Finitos.....	48
3.4.1. Softwares Utilizados en el Análisis.....	49
4. RESULTADOS.....	50
4.1. Análisis Modal del Modelo Integrado de la Caldera.....	50

4.2.	Espectro de Respuesta del Modelo Integrado de la Caldera	52
4.3.	Análisis Modal del Modelo Local de Tubos	57
4.4.	Excitación Armónica del Modelo Local de Tubos.....	58
4.5.	Energía de Deformación.....	60
4.6.	Impacto Entre los Tubos Interiores y la Pared de la Caldera	61
4.7.	Impacto Entre los Tubos Interiores Contra una Placa.....	66
5.	ANÁLISIS.....	69
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
	GLOSARIO.....	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	76
	ANEXOS.....	77
a)	Especificaciones Técnicas SA213.....	77
b)	Especificaciones Técnicas SA210.....	79
c)	Rangos de Deformación para el Contacto Entre Tubos	81
d)	Línea de Flujo Plástico.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Parámetros generales de la carga sísmica para la caldera.....	9
Tabla 2-2: Parámetros sísmicos del espectro de diseño	10
Tabla 2-3: Especificaciones técnicas del piping de la caldera	12
Tabla 3-1: Resumen de expresiones para el cálculo de la energía de deformación	28
Tabla 3-2: Resumen de ecuaciones para contacto esférico	38
Tabla 4-1: Resultados del análisis modal, modos con mayor participación de masa.....	50
Tabla 4-2: Modos de vibración de la primera sección de tubos	51
Tabla 4-3: Desplazamientos nodales para distintas posiciones de la carcasa de la caldera	53
Tabla 4-4: Resultados de la aceleración nodal, para el nodo 1003.	55
Tabla 4-5: Aceleración y rotación del techo de la caldera	55
Tabla 4-6: Amplificación de la aceleración	55
Tabla 4-7: Frecuencias fundamentales de vibración del haz de tubos	57
Tabla 4-8: Máxima amplitud modal de la parte inferior de los tubos	58
Tabla 4-9: Desplazamiento sísmico para distintos métodos de combinación	58
Tabla 4-10: Desplazamiento angular producto de la rotación del techo	59
Tabla 4-11: Máxima amplitud del extremo inferior del haz de tubos	60
Tabla 4-12: Propiedades geométricas	60
Tabla 4-13: Cálculo de energía cinética de impacto	61
Tabla 4-14: Cálculo de la energía de impacto transmitida al contacto entre tubos.....	61
Tabla 4-15: Propiedades mecánicas de los cilindros en contacto.....	62
Tabla 4-16: Parámetros equivalentes de contacto esférico	62
Tabla 4-17: Límite de fluencia (contacto esférico)	62
Tabla 4-18: Límite elasto-plástico.....	63
Tabla 4-19: Magnitud del impacto para el contacto entre tubos perpendiculares.....	65
Tabla 4-20: Trabajo de compresión para 55 tubos en contacto.....	66
Tabla 4-21: Magnitud del impacto para 55 tubos en contacto	67
Tabla 4-22: Trabajo de compresión para 81 tubos en contacto.....	67
Tabla 4-23: Magnitud del impacto para 81 tubos en contacto	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Zona de subducción.....	1
Figura 1-2: Histograma de magnitudes para el norte de Chile.....	2
Figura 1-3: Imagen satelital de la ubicación del nuevo complejo térmico.....	3
Figura 1-4: Actividad sísmica en la zona de interés (Mejillones).....	3
Figura 1-5: Posición del haz de tubos con respecto a la pared de la caldera.....	4
Figura 2-1: Modelo integrado; (izq.) Estructura de acero, (der.) Caldera con sus elementos internos.....	7
Figura 2-2: Simplificación adoptada por el modelo integrado de la caldera.....	11
Figura 2-3: Geometría del modelo elaborado en ADINA.....	13
Figura 2-4: Modelo elaborado en el software ADINA.....	14
Figura 2-5: Superposición de desplazamientos;.....	15
Figura 2-6: Cilindros macizos perpendiculares en contacto	18
Figura 2-7: Esquema de la metodología.....	18
Figura 3-1: Circulación natural en una caldera acuotubular	20
Figura 3-2: Cubo diferencial bajo el efecto de la componente σ_x	27
Figura 3-3: Cubo diferencial bajo el efecto de las componentes del tensor de esfuerzos	27
Figura 3-4: Planos de referencia para superficies en contacto	30
Figura 3-5: Esferas en contacto elástico, presionadas con una carga F.....	30
Figura 3-6: Cilindros paralelos en contacto elástico	32
Figura 3-7: Distribución de presión para los rangos de deformación	37
Figura 3-8: Curva de aceleración espectral	44
Figura 3-9: Impacto del código ASME B31 en el siglo XX	47
Figura 3-10: Modelo de elemento finito, elaborado para el análisis estructural de una hélice	49
Figura 4-1: Vibración del modelo integrado	51
Figura 4-2: Oscilación de la sección de tubos de sobrecalentamiento (Platen SH1)	51
Figura 4-3: Vista lateral de la carcasa de la caldera, con los puntos de referencia.	53
Figura 4-4: Distribución espacial de los nodos en la parte superior de la caldera.	54
Figura 4-5: Interferencias debido a la aplicación del espectro de diseño en el eje Y.....	55
Figura 4-6: Modos de vibración del haz de tubos	57
Figura 4-7: Respuesta armónica del haz de tubos (vista lateral).....	59
Figura 4-8: Distribución del momento nodal (vista lateral).....	61
Figura 4-9: Deformación plástica en la zona de contacto	65
Figura 4-10: Incremento de puntos de contacto	66

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1: Espectro de diseño utilizado en el análisis de la caldera	9
Gráfico 3-1: Método de determinación del espectro de respuesta	23
Gráfico 3-2: Amplitud normalizada versus la razón de frecuencias	26
Gráfico 3-3: Fase de la respuesta estacionaria versus la razón de frecuencias.....	26
Gráfico 3-4: Componentes del esfuerzo debajo de la superficie (contacto esférico)	32
Gráfico 3-5: Componentes del esfuerzo debajo de la superficie (contacto cilíndrico)	34
Gráfico 3-6: Disminución del módulo de Young ante incrementos de temperatura.....	46
Gráfico 3-7: Reducción del límite de fluencia a medida que aumenta la temperatura.....	47
Gráfico 3-8: Nivel de seguridad del código B31.1 (material de los tubos de agua).....	47
Gráfico 4-1: Onda sinusoidal (Modo 41)	56
Gráfico 4-2: Onda sinusoidal (Modo 64)	56
Gráfico 4-3: Onda sinusoidal (Modo 68)	56
Gráfico 4-4: Onda sinusoidal (Modo 113)	56
Gráfico 4-5: Indentación y presión en el rango elástico.....	63
Gráfico 4-6: Indentación y presión en el rango elasto-plástico.....	63
Gráfico 4-7: Indentación y presión en el rango plástico	64
Gráfico 4-8: Trabajo de compresión [J] para cada uno de los tubos involucrados en el choque	64
Gráfico 4-9: Reducción de la fuerza de impacto, al incrementar el número de puntos en contacto .	68