

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes y motivación	2
1.2. Descripción del problema	3
1.3. Solución propuesta	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Alcances	4
1.6. Metodologías y herramientas utilizadas	5
1.7. Resultados esperados	6
1.8. Organización del documento	7
2. Marco teórico	8
2.1. Proyecto FIC-R	9
2.2. Generación de vapor de agua	10
2.3. Calderas	12
2.3.1. Funcionamiento de una caldera	13
2.3.2. Clasificación de las calderas	14
2.4. Caldera de lecho fluidizado	16
2.5. Caldera de tubo tipo helicoidal	16
2.6. Tipos de soporte para calderas helicoidales	18
2.7. Mecánica computacional	19
2.7.1. Diseño de Ingeniería asistido por computador	21
2.7.2. Ingeniería asistida por computador	21
2.8. Método de los elementos finitos	22
3. Diseño del intercambiador de calor	24
3.1. Modelo	25

3.1.1.	Diseño preliminar y modificaciones	25
3.1.2.	Tipo de soporte	25
3.1.3.	Creación del modelo en <i>Autodesk Inventor</i>	26
3.1.4.	Importación del modelo en <i>ANSYS</i> y ajustes	34
3.1.5.	Denominación de componentes	34
3.2.	Definición del material	35
3.2.1.	Densidad equivalente	36
3.2.2.	Adición de materiales	36
3.3.	Malla de la estructura	37
3.3.1.	Espesor	37
3.3.2.	Mallado general	38
3.3.3.	Tamaño de elementos en los bordes	38
3.3.4.	Agarre en las conexiones	39
3.3.5.	Malla final	39
3.3.6.	Estudio de tamaño de elementos	41
3.4.	Condiciones de borde	45
3.4.1.	Temperatura	45
3.4.2.	Presión	46
3.4.3.	Gravedad	47
3.4.4.	Soportes	48
4.	Análisis de los resultados de la simulación	52
4.1.	Desplazamientos y deformaciones	53
4.1.1.	Desplazamiento total	53
4.1.2.	Desplazamiento en X	54
4.1.3.	Desplazamiento en Z	55
4.1.4.	Desplazamiento en Y	57
4.1.5.	Deformación elástica equivalente	58
4.2.	Esfuerzos	59
4.2.1.	Esfuerzo equivalente de von-Mises	59
4.2.2.	Esfuerzo normal	62
4.2.3.	Esfuerzos principales	64
4.2.4.	Esfuerzos de corte	67
4.3.	Estadísticas del cálculo	71
4.4.	Análisis de resultados	71
4.4.1.	Desplazamientos y deformaciones	71

4.4.2. Los esfuerzos	72
5. Conclusiones	74
5.1. Consideraciones	75
Bibliografía	78
Anexos	79
A. Planos de fabricación	80
B. Artículo	91
C. Póster	100
D. Resumen para JMC 2016	102
E. Resultados fallidos	104
E.1. Soportes sólo en la entrada y salida de agua	104
E.2. Soportes fijos	105
E.3. Soportes de desplazamiento y alambres	105
E.4. Soportes de desplazamiento y placas tipo Andersen Etal	105
E.5. Soportes de desplazamiento y placas soporte	107
F. Archivos digitales	108

Índice de figuras

2.1. Eolípila de Nerón	11
2.2. Esquema caldera de vapor	12
2.3. Diagrama de temperatura-entalpía del agua en una caldera	14
2.4. Distancia entre los tubos	17
2.5. Clasificación de calderas helicoidales	19
2.6. Tipos de soportes	20
2.7. Interfaz ANSYS	22
3.1. Boceto inicial	27
3.2. Arreglo de tubos helicoidales	28
3.3. Boceto de codos	29
3.4. Codo	30
3.5. Ensamble	31
3.6. Divisiones de temperatura	31
3.7. Divisiones de soportes	32
3.8. Soportes	33
3.9. Modelo final	33
3.10. Geometría en ANSYS	34
3.11. Denominación de componentes	35
3.12. Elementos en los bordes	39
3.13. Enganche de mallas	39
3.14. Malla final	40
3.15. Malla final con aumento	40
3.16. Tipos de elementos de la malla	41
3.17. Mallas en simulaciones de estudio	43
3.18. Resultados estudio de malla	44
3.19. Aplicación de temperaturas	45
3.20. Gradiente de temperatura final	46

3.21. Presión en los tubos	46
3.22. Gravedad	47
3.23. Soportes de desplazamiento cilíndrico	49
3.24. Contactos entre soportes y tubos	50
3.25. Soportes en las placas	50
3.26. Concentración de esfuerzos	51
3.27. Condiciones de borde	51
4.1. Desplazamiento total vista general	53
4.2. Desplazamiento total	53
4.3. Vista general desplazamiento en eje X	54
4.4. Vista inferior desplazamiento en eje X	55
4.5. Vista general desplazamiento en eje Z	56
4.6. Vista inferior desplazamiento en eje Z	56
4.7. Vista general desplazamiento en eje Y	57
4.8. Vista lateral desplazamiento en eje Y	57
4.9. Vista general deformación elástica equivalente	58
4.10. Vista aumentada deformación elástica equivalente	59
4.11. Vista general esfuerzo equivalente de von-Mises	60
4.12. Vista aumentada esfuerzo equivalente de von-Mises	61
4.13. Vista aumentada esfuerzo equivalente de von-Mises en los tubos	61
4.14. Vista aumentada esfuerzo equivalente de von-Mises en la salida de agua	61
4.15. Vista general esfuerzo normal	62
4.16. Vista aumentada esfuerzos normales mayores	63
4.17. Esfuerzo normal mayor de tracción en los tubos	63
4.18. Esfuerzo normal mayor de compresión en los tubos	63
4.19. Vista general esfuerzo principal máximo	64
4.20. Vista aumentada esfuerzo principal máximo	64
4.21. Vista aumentada esfuerzo principal máximo en tubos	65
4.22. Vista general esfuerzo principal mínimo	66
4.23. Vista aumentada esfuerzo principal mínimo	66
4.24. Vista aumentada esfuerzo principal mínimo en los tubos	66
4.25. Vista general esfuerzo de corte	67
4.26. Vista aumentada esfuerzo de corte positivo mayor	67
4.27. Vista aumentada de los esfuerzos de corte en Codo 4	68
4.28. Vista general esfuerzo de corte máximo	69
4.29. Vista aumentada esfuerzo de corte máximo	69

4.30. Vista aumentada esfuerzo de corte máximo en los tubos	70
E.1. Simulación con soportes sólo en entrada y salida de agua	104
E.2. Simulación con soportes fijos	105
E.3. Simulación con alambres	106
E.4. Simulación con placas tipo Andersen Etal	106
E.5. Interpenetración con soportes tipo placa	107

Índice de cuadros

3.1. Instrucciones para tubos helicoidales	28
3.2. Instrucciones barrido codo	29
3.3. Propiedades ASTM-A213-T22	35
3.4. Opciones de mallado	38
3.5. Parámetros estudio de tamaño de elementos	42
3.6. Resultados estudio tamaño de elementos I	42
3.7. Resultados estudio tamaño de elementos II	42