Índice general

1. Introducción **1**

1.1. Desgaste por fretting en la industria nuclear 1

1.1.1. Elementos Combustibles 2

1.1.2. Tubos de Presión 5

1.1.3. Generadores de Vapor 5

1.2. Generadores de vapor del reactor CAREM 25 9

1.3. Motivación y Objetivos 11

1.4. Estructura del trabajo 12

2. Desgaste por Fretting en Tubos de Generadores de Vapor **13**

2.1. Condiciones de servicio y materiales de un generador de vapor 13

2.1.1. Química del agua en un generador de vapor 14

2.1.2. Materiales usados en tubos de generadores de vapor 15

2.1.3. Materiales usados en estructuras soportes de tubos de generadores de vapor 16

2.2. Desgaste por fretting 17

2.2.1. Tipos de desgaste 18

2.2.2. Modelo de contacto por fretting 19

2.2.3. Características del desgaste por fretting 21

2.3. Estudios de desgaste por fretting en generadores de vapor 24

2.4. Conclusiones del capítulo 28

3. Dispositivos Experimentales y Materiales **30**

3.1. Generalidades de ensayos de desgaste por fretting 30

3.2. Diseño y fabricación de un dispositivo de ensayos 32
3.2.1. Diseño de las articulaciones del dispositivo 37
3.3. Mejoras implementadas 41
3.4. Materiales usados en este trabajo 43
3.4.1. Materiales de tubos 43
3.4.2. Materiales de patines 45
3.4.3. Condición Superficial 47
3.5. Resumen del capítulo 49

4. Desarrollo de Técnica de Cuantificación del Daño 50
4.1. Revisión de técnicas para cuantificar el daño 50
4.1.1. Medición de volumen por pérdida de peso 51
4.1.2. Medición de volumen mediante modelos geométricos 51
4.1.3. Técnica de activación de una capa delgada 52
4.1.4. Medición de volumen a partir de topografía superficial 52
4.1.5. Comparación entre técnicas volumétricas 53
4.2. Técnica volumétrica utlizada en este trabajo 53
4.2.1. Determinación de la topografía del *scar* por interferometría óptica 54
4.2.2. Programa para determinación del volumen removido 56
4.2.3. Análisis del error 58
4.3. Validación de la metodología por interferometría óptica 59
4.3.1. Validación: volumen entre una esfera y un plano 60
4.3.2. Validación: volumen entre cilindros cruzados 62
4.4. Resumen del capítulo 63

5. Ensayos según Norma ASTM G204-10 64
5.1. Características de ensayos de FW de acuerdo con ASTM G204-10 . . . 64
5.2. Diferencias en la geometría de contacto 66
5.3. Ensayos realizados 66
5.4. Volumen de material removido 67
5.5. Características geométricas de los *scars* 73
5.6. Características del material adherido en el *scar* 74

5.7. Constantes de desgaste por fretting 81
5.8. Conclusiones del capítulo 82

6. Evolución del Daño por FW con el Número de Ciclos de Fretting 84
6.1. Determinación del régimen de fretting 84
6.2. Evolución del Coeficiente de Fricción 86
6.3. Ensayos de FW a diferente número de ciclos 87
6.4. Evolución del volumen del *scar* 88
6.5. Evolución de la geometría del *scar* 89
6.5.1. Dimensión longitudinal y circunferencial del *scar* 94
6.5.2. Profundidad del *scar* 97
6.6. Conclusiones del capítulo 99

7. Discusión y Conclusiones Generales 101
7.1. Discusión 101
7.1.1. Ensayos de acuerdo con ASTM G204-10 101
7.1.2. Materiales usados 102
7.1.3. Medio de ensayo 102
7.1.4. Material adherido en el *scar* 103
7.2. Conclusiones 104

A. Anexo: Rotaciones por deformaciones en el fleje 112

B. Anexo: Diseño del anillo de carga 115

C. Anexo: Registros de Calibración 118

D. Anexo: Certificados de materiales 120

E. Anexo: Intersección entre cilindros 124

F. Anexo: Ajuste de superficies 127

G. Anexo: Código del Programa en Matlab 130