

Índice

Capítulo 1: Introducción	4
1.1 Introducción	4
1.1.1 Procesos involucrados en la absorción de Hidrógeno en Metales	5
1.1.2 Influencia de la superficie en la cinética de absorción	7
1.1.3 Cinética de absorción de H en Zr y Zry-4. Antecedentes	9
1.2 Objetivos	10
1.3 Organización de la Tesis	10
Capítulo 2: Caracterización del Zry-4 y técnicas experimentales utilizadas	13
2.1 Caracterización del Zry-4 y sus hidruros	13
2.1.1 Fabricación	13
2.1.2 Composición	13
2.1.3 Morfología y Estructura	14
2.2 Sistema Zr-H	16
2.2.1 Diagrama de Fases Zr-H	16
2.2.2 Solubilidad Sólida Terminal de H en Zr y Zry-4	16
2.2.3 Difusión de H en Zr y Zry-4	17
2.3 Técnicas Experimentales y Equipamiento Desarrollado	18
2.3.1 Técnicas volumétricas	18
2.3.2 Espectroscopia de electrones Auger (AES)	19
2.3.3 Limpieza por bombardeo de Argón (Etching) y Sputtering	19
2.3.4 Preparación de las muestras	21
Capítulo 3: Cinética de Absorción de Hidrógeno Gaseoso en Zry-4	24
3.1 Cinética de absorción de hidrógeno en Zry-4	24
3.1.1 Tratamiento superficial y repetitividad	24
3.2 Etapas de la cinética	25
3.2.1 Caracterización termodinámica y estructural del estado de equilibrio	27
3.3 Etapa Inicial de absorción	28
3.3.1 Efecto del espesor de la película	32
3.3.2 Efecto del tiempo de limpieza con Argón	33
3.3.3 Morfología del proceso de absorción en la etapa Inicial	34
3.3.4 Efecto de la longitud de las muestras	35
3.3.5 Resumen de las principales características de la etapa Inicial	40
3.4 Etapa Transitoria	41
3.4.1 Morfología de la Interfase	42
3.5 Etapa Lineal	46
3.5.1 Morfología del proceso de hidruración	46
3.5.2 Velocidad de avance del frente de hidruración	48
3.6 Etapa Final	52
3.7 Conclusiones	53

Capítulo 4: Análisis teórico de la cinética de hidruración en Zry-4	55
4.1 Introducción	55
4.2 Antecedentes en el tratamiento analítico	56
4.2.1 Modelo macroscópico	56
4.2.2 Tiempos característicos	57
4.2.3 Resultados del Modelo	57
4.3 Modelado fenomenológico microscópico	58
4.3.1 Introducción	58
4.3.2 Descripción del modelo	59
4.4 Modelo de Reacción-Difusión para la cinética en la etapa lineal	64
4.4.1 Descripción del modelo	64
4.4.2 Resultados numéricos	66
4.4.3 Comparación con resultados experimentales	69
4.5 Conclusiones sobre la etapa lineal	70
Capítulo 5: Efecto del Microaleado y la Microestructura en la cinética de Absorción en Zry-4	72
5.1 Introducción	72
5.2 Detalles experimentales	74
5.2.1 Microestructura	74
5.2.2 Microaleantes	75
5.3 Resultados Experimentales	78
5.3.1 Efecto de los microaleantes en la cinética de absorción	78
5.3.1.1 Curvas de cinética de absorción	78
5.3.1.2 Velocidad del frente de hidruración y energía de activación	80
5.3.2 Efecto de la microestructura	85
5.3.3 Mediciones en Zr puro	87
5.4 Conclusiones	89
Capítulo 6: Termodifusión de hidrógeno en Zry-4	91
6.1 Introducción	91
6.2 Modelado del problema de termodifusión	92
6.2.1 Fenomenología del problema	92
6.2.2 Aspectos generales del modelo de reacción-difusión	92
6.2.3 Equilibrio de fases e histéresis	94
6.2.4 Cinética de precipitación	94
6.2.5 Análisis termodinámico del problema	95
6.2.5.1 Estado estacionario en presencia de un gradiente térmico	95
6.2.5.2 Condiciones de borde en las interfaces en el estado estacionario	97
6.2.5.3 Morfología del estado estacionario	98
6.2.5.4 Discusión sobre sistemas metal-hidrógeno	98
6.2.5.5 Solución ideal	100
6.2.6 Análisis del problema de redistribución en el campo de	

dos fases	100
6.2.6.1 Antecedentes del tratamiento del problema	100
6.2.6.2 Expresión general para el flujo en el campo bifásico	101
6.2.6.3 Modelado fenomenológico del calor de transporte	102
6.2.6.4 Evolución espacio-temporal de la concentración en el campo bifásico	103
6.3 Detalles Experimentales	105
6.3.1 Dispositivo experimental	105
6.3.2 Preparación de las muestras	106
6.3.3 Análisis cualitativo de la técnica de carga catódica	106
6.3.3.1 Cálculo de la corriente de recombinación	108
6.3.3.2 Cálculo de la corriente difusional	108
6.3.3.3 Ecuación para el balance de corrientes	110
6.3.4 Hidruración-Resultados	113
6.3.4.1 Difusión de H a través del Hidruro	113
6.3.4.2 Homogeneización	115
6.4 Resultados	116
6.5 Aplicación al problema de termodifusión en reactores nucleares tipo CANDI-J	122
6.5.1 Campo de temperaturas	123
6.5.2 Umbral de iniciación de ampollas de hidruro	123
6.5.3 Tamaño máximo de las ampollas	124
6.6 Conclusiones	125
Capítulo 7: Conclusiones	128