

# Índice de contenidos

<b>Resumen</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de contenidos</b>	<b>iv</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos . . . . .	1
1.2. Estructura del Trabajo . . . . .	2
1.3. Motivación . . . . .	3
1.4. Elementos Combustibles Nucleares . . . . .	4
1.5. Combustibles Nucleares Avanzados y Tolerantes a Accidentes . . . . .	8
1.6. Simulación de Barras Combustibles . . . . .	10
1.7. Códigos de Simulación Analizados . . . . .	13
<b>2. Código FUELROD</b>	<b>14</b>
2.1. Descripción del código . . . . .	15
2.2. Simulación de una BC de un reactor PWR . . . . .	21
2.2.1. Variación de la presión interna de llenado . . . . .	21
2.2.2. Variación del diámetro de la pastilla combustible . . . . .	25
2.2.3. Variación de la porosidad del combustible . . . . .	27
2.2.4. Variación del diámetro interno de vaina . . . . .	29
2.2.5. Variación del diámetro externo de vaina . . . . .	32
2.2.6. Variación del coeficiente de convección . . . . .	33
2.2.7. Variación de la presión del Refrigerante . . . . .	35
2.2.8. Análisis paramétrico sobre el tamaño de la pastilla y la vaina . . . . .	37
2.3. Simulación de una BC del reactor Atucha I . . . . .	39
2.3.1. Variación de la presión interna de llenado . . . . .	39
2.3.2. Variación del diámetro de pastilla . . . . .	40
2.3.3. Variación del diámetro interno de vaina . . . . .	42
2.3.4. Variación del diámetro externo de vaina . . . . .	43

2.3.5.	Variación de la porosidad . . . . .	45
2.3.6.	Variación del coeficiente de convección . . . . .	46
2.4.	Simulación de una BC de un reactor CANDU . . . . .	48
2.4.1.	Variación del plenum de la BC . . . . .	48
2.4.2.	Variación del diámetro de pastilla . . . . .	50
2.4.3.	Variación del diámetro interno de vaina . . . . .	51
2.4.4.	Variación del diámetro externo de vaina . . . . .	53
2.4.5.	Variación de la porosidad . . . . .	54
2.4.6.	Variación del coeficiente de convección . . . . .	56
2.5.	Resolución del ejercicio CRP FUMEX-II . . . . .	58
2.5.1.	Introducción . . . . .	58
2.5.2.	Historia de Potencia . . . . .	58
2.5.3.	Descripción de la BC . . . . .	60
2.5.4.	Temperatura externa de vaina . . . . .	61
2.5.5.	Resultados . . . . .	62
2.5.6.	Conclusiones . . . . .	69
2.6.	Resolución del ejercicio EPRI NP-369 . . . . .	71
2.6.1.	Caso A - Experimento CC-7 . . . . .	71
2.6.2.	Caso B: Experimento WR1-206 . . . . .	79
2.6.3.	Caso C: Experimento IFA-418 . . . . .	87
2.7.	FUELROD versión 3.0 . . . . .	92
2.7.1.	Listado de modificaciones realizadas . . . . .	92
2.7.2.	Descripción del <i>input</i> . . . . .	95
2.7.3.	Descripción del <i>output</i> . . . . .	98
2.7.4.	Conclusiones sobre la actualización . . . . .	103
2.8.	Conclusiones del código FUELROD . . . . .	104
<b>3.</b>	<b>Código BaCo</b> . . . . .	<b>105</b>
3.1.	Descripción del código BaCo . . . . .	105
3.2.	El código BaCo3D . . . . .	106
3.3.	Comparación entre los códigos BaCo y FUELROD . . . . .	110
3.4.	Resolución del ejercicio EPRI NP-369 . . . . .	114
3.4.1.	Introducción . . . . .	114
3.4.2.	Resultados para el combustible AE1 . . . . .	114
3.4.3.	Resultados para el combustible BE1 . . . . .	116
3.4.4.	Conclusión . . . . .	119
3.5.	Resolución del ejercicio CRP FUMEX-I . . . . .	120
3.5.1.	Introducción . . . . .	120
3.5.2.	Temperatura central de pastilla a 5000MWd/TnUO <sub>2</sub> y 150W/cm . . . . .	122

---

3.5.3.	Temperatura central de pastilla a 20000MWd/tnUO <sub>2</sub> y 150W/cm	123
3.5.4.	Liberación de gases de fisión a EOL . . . . .	123
3.5.5.	Temperatura central de pastilla en función del quemado . . . . .	124
3.5.6.	Deformación de la vaina . . . . .	125
3.5.7.	Conclusión . . . . .	126
3.6.	Resolución del ejercicio CRP FUMEX-III . . . . .	127
3.6.1.	Simulación del elemento combustible JC . . . . .	128
3.6.2.	Simulación del elemento combustible NR . . . . .	134
3.6.3.	Conclusión . . . . .	139
3.7.	Resolución del ejercicio Halden IFA-507 . . . . .	141
3.8.	Conclusiones del código BaCo . . . . .	145
<b>4.</b>	<b>Código FRAPCON</b>	<b>146</b>
4.1.	Descripción del código . . . . .	146
4.1.1.	Limitaciones del código . . . . .	147
4.1.2.	Funcionamiento del código . . . . .	148
4.2.	Simulación de una barra combustible CAREM . . . . .	149
4.3.	Simulación de una barra combustible ATUCHA . . . . .	152
4.4.	Resolución del ejercicio Halden IFA-507 . . . . .	155
4.5.	Resolución del ejercicio OECD/NEA “benchmark on pellet-clad mecha- nical interaction” . . . . .	157
4.5.1.	Descripción de los casos resueltos . . . . .	158
4.5.2.	Resultados de las simulaciones . . . . .	160
4.6.	Conclusiones del código FRAPCON . . . . .	174
<b>5.</b>	<b>Análisis y modelado de Combustibles Tolerantes a Accidentes</b>	<b>175</b>
5.1.	Análisis de materiales avanzados para vainas . . . . .	175
5.1.1.	Vainas de aleación de FeCrAl o SiC . . . . .	176
5.1.2.	Análisis sobre recubrimientos de Cr en vainas . . . . .	178
5.2.	Modelado termo-mecánico de vainas ATF . . . . .	185
5.2.1.	Simulación de una vaina en 2D . . . . .	186
5.2.2.	Simulación de una vaina con recubrimiento externo en 2D . . . . .	190
5.2.3.	Simulación de una vaina con recubrimiento externo y fisura in- terna en 2D . . . . .	192
5.2.4.	Simulación de una vaina con recubrimiento externo y fisura ex- terna en 2D . . . . .	194
5.3.	Análisis de pastillas combustibles avanzadas . . . . .	197
5.4.	Análisis de combustibles ATF: ATUCHA-I . . . . .	210

---

5.4.1. Análisis del comportamiento del combustible con vainas de SiC y FeCrAl . . . . .	210
5.4.2. Análisis del comportamiento del combustible con vainas de Fe-CrAl variando el espesor de pared . . . . .	214
5.5. Análisis de combustibles ATF: CAREM . . . . .	218
5.5.1. Análisis de vainas de SiC y FeCrAl . . . . .	218
5.5.2. Análisis de vainas de FeCrAl variando el espesor de pared . . . . .	221
5.6. Análisis de combustibles ATF: FUMEX-I . . . . .	223
5.6.1. Resultados con vaina de Zry, FeCrAl y SiC, utilizando el espesor de pared nominal . . . . .	223
5.6.2. Resultados con vaina de Zry y FeCrAl con diferentes espesores de pared . . . . .	226
5.7. Conclusiones de los combustibles ATF . . . . .	228
<b>6. Conclusiones</b>	<b>230</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>234</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>238</b>