

Contenido

Capítulo 1 Introducción	31
1.1. Motivación.....	31
1.2. Estado del arte	33
1.3. Objetivos y organización del trabajo	36
Capítulo 2.....	43
Bases teóricas y fundamentos físicos.....	43
2.1. Termohidráulica	43
2.1.1. Ecuaciones generalizadas de conservación del fluido multifásico.	44
2.1.2. Discretización espacio-temporal de las ecuaciones de conservación del fluido.	47
2.1.2.1 Métodos de discretización espacio-temporal	49
2.1.2.2 Aspectos básicos del método semi-implícito empleado	52
2.1.2.3 Ecuaciones de conservación en volúmenes finitos	53
2.1.3. Ecuaciones de cierre.....	60
2.1.4. Solución numérica.	62
2.1.4.1 Método semi-implícito para ecuaciones acopladas por la presión	62
2.1.5. Códigos y metodologías.....	70
2.1.5.1 Códigos termohidráulicos de planta.	71
2.1.5.2 Códigos termohidráulicos de subcanal.	72
2.2. Neutrónica	73
2.2.1. Teoría de la difusión neutrónica.....	74
2.2.2. Tipos de problemas aplicados a física de reactor	76
2.2.2.1 El problema estacionario	78
2.2.2.2 El problema transitorio	79
2.2.3. El método de diferencias finitas en malla gruesa (CMFD)	81
2.2.4. Determinación de los factores de acoplamiento nodal – problema bi-nodo	83
2.2.4.1 Método nodal analítico (ANM).....	84
2.2.4.2 Método de expansión nodal (NEM).....	87
2.2.5. Reconstrucción de potencia a nivel de varilla	91

2.2.5.1	<i>Funciones de forma de la potencia total</i>	94
2.2.5.2	<i>Distribuciones de flujo intranodal</i>	94
2.2.5.3	<i>Procedimiento de interpolación del flujo en la esquina</i>	96
2.2.6.	Códigos y metodología	99
2.3.	Comportamiento de combustible	101
2.3.1.	Fenomenología y modelos	101
2.3.1.1	<i>Respuesta térmica: conducción de calor a través de la varilla</i>	104
2.3.1.2	<i>Respuesta mecánica de la varilla</i>	107
2.3.1.3	<i>Liberación de gases de fisión y presión interna</i>	109
2.3.1.4	<i>Corrosión de la vaina y liberación de hidrógeno</i>	110
2.3.2.	Códigos y metodología	111
Capítulo 3	.....	115
Diseño de la plataforma multifísica	.....	115
3.1.	Aspectos generales de la plataforma multifísica	115
3.1.1.	Selección de códigos y acoplamientos	115
3.1.1.1	<i>Códigos termohidráulicos</i>	116
3.1.1.2	<i>Código neutrónico</i>	117
3.1.1.3	<i>Códigos termomecánicos</i>	118
3.1.2.	Acoplamiento y optimización de los códigos de la plataforma	118
3.2.	Acople TH-TH semi-implícito TRACE/CTF	118
3.2.1.	Los componentes tipo ‘exterior’ de TRACE.....	119
3.2.2.	Consideraciones en la aplicación de los componentes ‘exterior’ al acople TRACE/CTF 122	
3.2.3.	Esquema de acople.....	123
3.2.4.	Comunicación y control de ejecución del código acoplado	125
3.2.5.	Intercambio de información entre códigos	127
3.2.5.1	<i>Punto de sincronización iInput</i>	127
3.2.5.2	<i>Punto de sincronización iInit</i>	129
3.2.5.3	<i>Punto de sincronización iOldTime</i>	130
3.2.5.4	<i>Punto de sincronización iControl</i>	132
3.2.5.5	<i>Punto de sincronización iSemiEdg</i>	133
3.2.5.6	<i>Punto de sincronización iSemiSolv</i>	133
3.2.5.7	<i>Punto de sincronización iSemiSave</i>	134

3.2.5.8	<i>Punto de sincronización iConduct</i>	134
3.2.6.	Resolución de las ecuaciones acopladas del fluido	135
3.2.7.	El archivo de acople.....	144
3.2.8.	Otros aspectos destacados	146
3.2.8.1	<i>Control de paso de tiempo</i>	146
3.2.8.2	<i>Convergencia y backup</i>	147
3.3.	Acople semi-implícito TRACE/CTF por solapamiento de dominios	148
3.4.	Acople TH-NK3D CTF/PARCS	149
3.4.1.	Esquema de acople.....	149
3.4.2.	Comunicación y control de ejecución del código acoplado	152
3.4.3.	Modificaciones introducidas en los códigos.....	158
3.4.4.	Otros aspectos destacados	158
3.4.4.1	<i>Control de paso de tiempo y backup</i>	158
3.4.4.2	<i>Capacidad de realizar reconstrucciones de potencia a nivel de varilla</i>	158
3.5.	Acople TH-TM CTF/FRAPTRAN.....	159
3.5.1.	Esquema de acople.....	160
3.5.2.	Comunicación y control de ejecución del código acoplado	162
3.5.3.	Modificaciones introducidas en los códigos.....	166
3.5.4.	Otros aspectos destacados	166
3.5.4.1	<i>Control de paso de tiempo y backup</i>	166
3.5.4.2	<i>Algoritmos de búsqueda automática de varillas desfavorables</i>	167
3.6.	Paralelización de CTF mediante MPI.....	167
3.6.1.	Optimización del código secuencial original	169
3.6.2.	Sustitución del solucionador	169
3.6.3.	Paralelización en subdominios axiales	173
3.6.4.	Distribución de información durante simulaciones acopladas.....	178
3.6.5.	Escalabilidad y eficiencia de la paralelización	179
3.7.	Plataforma informática: diseño y opciones.....	180
3.7.1.	Diseño e implementación.....	183
3.7.2.	Capacidades y limitaciones simuladoras.....	186
3.7.3.	Opciones de simulación.	189
3.7.4.	Interfaz con el usuario y archivo de entrada.....	189
Capítulo 4.....		193

Aplicaciones prácticas y resultados	193
4.1. Aplicaciones a reactores PWR	193
4.1.1. Descripción de los escenarios	193
4.1.1.1 <i>Análisis de un transitorio operacional de inserción de barra de control.</i>	193
4.1.1.2 <i>Análisis de un transitorio de inyección de boro.</i>	195
4.1.2. Modelos desarrollados	195
4.1.2.1 <i>Modelo de sistema de TRACE</i>	195
4.1.2.2 <i>Modelo de núcleo de CTF</i>	197
4.1.2.3 <i>Modelo neutrónico de núcleo de PARCS.</i>	199
4.1.2.4 <i>Modelo de varilla de combustible de FRAPCON/FRAPTRAN.</i>	200
4.1.2.5 <i>Datos y herramientas auxiliares.</i>	202
4.1.3. Obtención del estado estacionario previo a los transitorios analizados.	206
4.1.3.1 <i>Estado estacionario TRACE/CTF</i>	206
4.1.3.2 <i>Estado estacionario PARCS.</i>	207
4.1.3.3 <i>Estado estacionario FRAPCON.</i>	210
4.1.3.4 <i>Estado estacionario paralelo acoplado TRACE/CTF/PARCS</i>	210
4.1.4. Resultados del transitorio de inserción de barra de control.	213
4.1.5. Resultados del transitorio de inyección de boro.	223
4.2. Aplicaciones a reactores BWR	226
4.2.1. Análisis de los transitorios de disparo de turbina de Peach Bottom Unit 2	226
4.2.2. Modelos desarrollados	228
4.2.2.1 <i>Modelo de sistema de TRACE</i>	229
4.2.2.2 <i>Modelo de núcleo de CTF</i>	230
4.2.2.3 <i>Modelo neutrónico de núcleo de PARCS.</i>	233
4.2.2.4 <i>Modelo de varilla de combustible de FRAPCON/FRAPTRAN.</i>	233
4.2.2.5 <i>Datos y herramientas auxiliares.</i>	235
4.2.3. Obtención del estado estacionario previo a los transitorios analizados.	238
4.2.3.1 <i>Estado estacionario TRACE/CTF</i>	239
4.2.3.2 <i>Estado estacionario PARCS.</i>	240
4.2.3.3 <i>Estado estacionario FRAPCON.</i>	242
4.2.3.4 <i>Estado estacionaria acoplado TRACE/CTF/PARCS.</i>	243
4.2.4. Resultados de los transitorios de PBTT-2.	246

4.2.4.1	Transitorio TRACE/CTF/PARCS: escenario extremo 1.....	249
4.2.4.2	Transitorio TRACE/CTF/PARCS: escenario extremo 2.....	251
4.2.4.3	Transitorio TRACE/CTF/PARCS: escenario extremo 3.....	254
Capítulo 5	.....	257
Conclusiones y	.....	257
líneas futuras	.....	257
5.1.	Conclusiones	257
5.2.	Líneas futuras	260
Capítulo 6	.....	263
Aportaciones	.....	263
6.1.	Principales Aportaciones	263
6.1.1.	Publicaciones en revistas indexadas JCR relacionadas con la tesis.....	263
6.1.2.	Presentaciones realizadas en congresos internacionales.....	264
6.1.3.	Presentaciones realizadas en congresos nacionales.....	267
6.1.4.	Informes técnicos y contratos de I+d+i con empresas.....	271
Referencias	.....	273