

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Motivación	3
1.3. Estado del Arte	4
1.4. Metodología e Hipótesis	6
1.4.1. Métricas de Evaluación	7
1.4.2. Hipótesis	7
1.5. Organización de la Tesis	8
2. Planteamiento de los Problemas asociados a la Ecuación de Difusión Neutrónica	9
2.1. Introducción	9
2.2. Ecuación de Difusión Neutrónica	10
2.3. Ecuación de los Modos Lambda. Problema Estacionario	17
2.4. Estudio de Transitorios. Problema Dinámico	25
2.5. Conclusiones	28
3. Métodos de Resolución de Sistemas de Ecuaciones Lineales Dispersos	31
3.1. Introducción	31
3.2. Métodos Directos	32
3.3. Métodos Iterativos Estacionarios	33
3.3.1. Método Iterativo de Jacobi (J)	34
3.3.2. Método Iterativo de Gauss–Seidel (GS)	34
3.3.3. Convergencia de las Técnicas Generales Iterativas	36
3.3.4. Método Iterativo de Sobrerelajación Sucesiva (SOR)	37
3.3.5. Métodos Multipaso	38
3.3.5.1. Métodos Multipaso de Grado \hat{s}	39
3.3.5.2. Método Multipaso de Jacobi (MMJ)	42
3.3.5.3. Método Multipaso de Gauss–Seidel (MMGS)	43

3.4. Métodos Iterativos basados en Subespacios de Krylov	45
3.4.1. Método de Arnoldi	46
3.4.2. Método del Residuo Mínimo Generalizado (GMRES)	48
3.4.3. Método Gradiente Conjugado (GC)	50
3.4.4. Método Gradiente Biconjugado (BCG)	53
3.4.5. Método Gradiente Biconjugado Estabilizado (BCGSTAB)	54
3.4.6. Método Residuo Cuasi-mínimo Libre Transpuesto (TFQMR)	58
3.5. Precondicionadores	61
3.5.1. Precondicionadores Jacobi, Gauss-Seidel y SOR Simétrico	63
3.5.2. Factorización LU Incompleta (ILU) General	64
3.5.3. Factorización ILU sin Relleno (ILU0)	65
3.5.4. Factorización ILU con Nivel de Relleno K (ILUK)	66
3.5.5. Factorización ILU Modificada (MILU)	67
3.5.6. Factorización ILU con Umbral (ILUT)	68
3.6. Conclusiones	69
4. Plataformas y Software de Computación	71
4.1. Introducción	71
4.2. Hardware	71
4.2.1. Cluster Kubrick	72
4.2.2. Cluster Kefren	72
4.2.3. Cluster Jacquard	72
4.3. Software	74
4.3.1. Matlab	74
4.3.2. SuperLU	74
4.3.3. SPARSKIT	75
4.3.4. pARMS	76
4.3.4.1. Sistemas Lineales Dispersos Distribuidos	76
4.3.4.2. Precondicionamiento ARMS Paralelo	78
4.3.4.3. Precondicionamiento Aditivo de Schwarz	80
4.3.4.4. Precondicionamiento Complemento de Schur	81
4.3.4.5. Precondicionadores y Solvers en pARMS	83
4.3.5. PETSc	83
4.3.5.1. Organización de PETSc	84
4.3.5.2. Objetos Vector, Matriz y KSP en PETSc	85
4.3.6. Hypre	87
4.3.6.1. Características Principales	88

4.3.6.2.	Interfases Conceptuales	89
4.3.6.3.	La Interfase IJ	90
4.3.6.4.	Métodos y Precondicionadores en la Interfase IJ	91
4.4.	Conclusiones	91
5.	Resultados Numéricos	93
5.1.	Introducción	93
5.2.	Solución de los Sistemas de Ecuaciones Lineales Dispersos de la Ecuación de Difusión Neutrónica. Caso Estacionario	94
5.2.1.	Estrategias y Métodos	94
5.2.1.1.	Método de Arnoldi	96
5.2.2.	Caso de Estudio: Reactor Ringhals-I	98
5.2.3.	Estudio Secuencial del Comportamiento de las Librerías	100
5.2.3.1.	Análisis en la Librería SPARSKIT	103
5.2.3.2.	Análisis en la Librería PETSc	108
5.2.3.3.	Análisis en la Librería pARMS	110
5.2.3.4.	Mejor Tiempo Secuencial	113
5.2.4.	Estudio Paralelo	114
5.2.4.1.	Análisis en la Librería PETSc	115
5.2.4.2.	Análisis en la Librería pARMS	118
5.2.4.3.	Análisis en la Librería SuperLU	119
5.2.4.4.	Speedup y Eficiencia	119
5.2.5.	Conclusiones del Caso Estacionario	121
5.3.	Solución de los Sistemas de Ecuaciones Lineales Dispersos de la Ecuación de Difusión Neutrónica. Caso Dinámico	123
5.3.1.	Métodos Multipaso	123
5.3.1.1.	Método Multipaso de Jacobi (MMJ)	124
5.3.1.2.	Método Multipaso de Gauss-Seidel (MMGS)	125
5.3.1.3.	Método Multipaso de Gauss-Seidel con Dos Parámetros de Relajación (MMGS2)	126
5.3.1.4.	Método Multipaso de Gauss-Seidel con Dos Parámetros de Relajación y Tolerancia Adaptativa (MMGS2A)	126
5.3.2.	Caso de Estudio: Reactor Leibstadt	128
5.3.3.	Estudio Secuencial en Matlab	129
5.3.3.1.	Determinación de ω Óptimo en el método MMJ	130
5.3.3.2.	Determinación de ω Óptimo en el método MMGS	130
5.3.3.3.	Determinación de ω_1 y ω_2 Óptimos en el método MMGS2	132
5.3.3.4.	Pruebas Experimentales con el método MMGS2A	133

5.3.4. Análisis en la Librería PETSc. Plataforma Kefren	134
5.3.4.1. Estudio Secuencial	136
5.3.4.2. Estudio Paralelo	136
5.3.4.3. Speedup y Eficiencia	138
5.3.5. Análisis en las Librerías de Hypre y PETSc.	
Plataforma Jacquard	138
5.3.5.1. Estudio Secuencial	139
5.3.5.2. Estudio Paralelo	141
5.3.5.3. Speedup y Eficiencia. Una Comparativa entre las Librerías Hypre y PETSc	144
5.3.6. Conclusiones del Caso Dinámico	145
6. Extensión de los Métodos y Algoritmos con más de 2 Grupos de Energía	149
6.1. Introducción	149
6.2. Planteamientos Hipotéticos	150
6.3. Estudio del Caso Estacionario. Ecuación de los Modos Lambda	151
6.3.1. Análisis del Planteamiento con la Hipótesis H1	151
6.3.2. Análisis del Planteamiento con la Hipótesis H2	153
6.3.3. Análisis del Planteamiento con la Hipótesis H3	154
6.3.4. Estrategias de Paralelización bajo la Hipótesis H3	155
6.3.4.1. Identificación de Operaciones	155
6.3.4.2. Grafo de Dependencias	156
6.3.4.3. Grafo de Dependencias Alternativo	158
6.4. Estudio del Caso Dinámico. Transitorios	159
6.4.1. Análisis del Planteamiento con la Hipótesis H1	160
6.4.2. Análisis del Planteamiento con la Hipótesis H2	161
6.4.3. Análisis del Planteamiento con la Hipótesis H3	161
6.4.4. Diseño de un Método Multipaso en la Hipótesis H3	162
6.4.4.1. Método Multipaso en la Hipótesis H3 basado en Jacobi	162
6.4.4.2. Método Multipaso en la Hipótesis H3 basado en Gauss– Seidel	163
6.5. Conclusiones	167
7. Conclusiones Finales y Trabajos Futuros	169