

ÍNDICE	PÁGINA.
INTRODUCCIÓN	1
I EL REACTOR NUCLEAR MODULAR DE HELIO CON TURBINA DE GAS	3
1.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE ENERGÍA NUCLEAR	3
1.2 EL REACTOR NUCLEAR.....	5
1.2.1 Elementos de los reactores nucleares	5
1.2.2 Tipos de reactores nucleares.....	6
1.3 REACTORES NUCLEARES AVANZADOS	7
1.4 EL REACTOR DE ALTA TEMPERATURA REFRIGERADO POR GAS (HTGR - HIGH TEMPERATURE GAS REACTOR)	8
1.4.1 TIPOS DE REACTORES HTGR	10
1.5 EL REACTOR PBMR (PEBBLE BED MODULAR REACTOR).....	10
1.5.1 Operación del PBMR	11
1.5.2 Combustible del PBMR.....	12
1.6 EL REACTOR GT-MHR	15
1.6.1 Diseño del GT-MHR	15
1.6.2 Sistemas de la Planta	16
1.6.3 Combustible del GT-MHR	19
1.6.4 Ciclo Termodinámico del Reactor.....	21
1.6.5 Características de seguridad del GT-MHR.....	23
1.6.6 Ventajas ambientales del GT-MGR.	26
1.6.7 Resistencia a la Proliferación del GT-MHR.....	26
1.6.8 Competitividad económica del GT-MHR	27
II EL MÉTODO DE MONTE CARLO Y EL PROGRAMA DE CÓMPUTO MCNPX.	29
2.1 MÉTODO DE MONTECARLO.....	29
2.1.1 Historia del método de Monte Carlo	29
2.1.2 Conceptos básicos del Método Monte Carlo.....	30
2.1.2.1 Generación de números pseudo-aleatorios	30
2.1.2.2 Teorema del límite central	30
2.1.2.3 Técnicas de muestreo	31
2.1.3 Descripción del algoritmo.	33
2.1.4 Método de Monte Carlo para transporte de partículas.	34
2.1.4.1 Trayectoria de las partículas	35

2.1.4.2 Cálculo de la criticidad	38
2.2 EL PROGRAMA DE CÓMPUTO MCNPX.....	41
2.2.1 Formato del archivo de entrada	41
2.2.1.1 Tarjeta de definición de celdas (Cell Cards):	41
2.2.1.2 Tarjeta de definición de las superficies. (Surface Cards):	42
2.2.1.3 Tarjeta de datos (Data Cards):	43
2.2.2 Descripción del archivo de salida.....	45
III ELABORACIÓN DE MODELOS Y SIMULACIÓN DEL NÚCLEO DEL REACTOR.	47
3.1 MODELO DE LA PARTÍCULA DE COMBUSTIBLE TRISO.	47
3.2 MODELO DEL ELEMENTO COMPACTO.....	49
3.3 MODELO DEL ENSAMBLE HEXAGONAL	51
3.4 MODELO HETEROGÉNEO DEL NÚCLEO.....	53
3.5 MODELO SIMPLIFICADO	57
3.6 MODELO HOMOGÉNEO DEL PIN.....	57
3.7 MODELO HOMOGÉNEO DEL NÚCLEO GT-MHR.....	58
3.8 IMPLEMENTACIÓN DE LA OPCIÓN DE QUEMADO	60
IV DISEÑO DE UN MÉTODO ALTERNO PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DEL CÁLCULO DEL QUEMADO DE COMBUSTIBLE DE MCNPX.....	61
4.1 MÉTODO DISEÑADO	61
4.1.1 Principales instrumentos computacionales del método.....	61
4.1.2 Descripción del Método Diseñado	62
4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	68
4.2.1 Evaluación del método.	72
CONCLUSIONES	74
ANEXO 1	76
REFERENCIAS	87

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. REACCIÓN DE FISIÓN NUCLEAR	4
FIGURA 1.2. ESQUEMA DE UNA REACCIÓN EN CADENA	4
FIGURA 1.3. REACCIÓN DE FUSIÓN NUCLEAR	4
FIGURA 1.4. ESTRUCTURA DEL REACTOR HTGR	8
FIGURA 1.5. COMBUSTIBLE HTGR	9
FIGURA 1.6. CICLO DE OPERACIÓN ESQUEMÁTICO DE LA PLANTA PBMR	11
FIGURA 1.7. PLANTA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON REACTOR PBMR	12
FIGURA 1.8. DISEÑO DE ELEMENTO DE COMBUSTIBLE PARA PMBR	13
FIGURA 1.9. MÓDULO GT-MHR	16
FIGURA 1.10. EDIFICIO DEL GT-MHR	17
FIGURA 1.11. ELEMENTOS PRINCIPALES DEL GT- MHR	18
FIGURA 1.12. VISTA EN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE UNA PARTÍCULA TRISO ..	19
FIGURA 1.13. COMPORTAMIENTO DEL COMBUSTIBLE	19
FIGURA 1.14. COMBUSTIBLE DE PARTÍCULAS REVESTIDAS	20
FIGURA 1.15. NÚCLEO ANULAR GT-MHR	21
FIGURA 1.16. ESQUEMA DE FLUJO DEL REFRIGERANTE DEL GT-MHR	22
FIGURA 1.17. COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS TÉRMICAS	22
FIGURA 1.18. RADIACIÓN PASIVA, CONVECCIÓN NATURAL Y CONDUCCIÓN DEL CALOR RESIDUAL DEL SILO DE CONTENCIÓN	24
FIGURA 1.19. ELIMINACIÓN DEL CALOR RESIDUAL CUANDO EL SISTEMA DE CONVERSIÓN DE POTENCIA NO ES ACCESIBLE	25
FIGURA 1.20. TEMPERATURAS DE CALENTAMIENTO DEL NÚCLEO CON RECHAZO DE CALOR PASIVO	25
FIGURA 2.1. EJEMPLO DE FUNCIÓN DE PROBABILIDAD, P(X)	32
FIGURA 2.2. FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN, C(X), OBTENIDA DE LA INTEGRACIÓN DE LA FUNCIÓN DENSIDAD DE PROBABILIDAD	33
FIGURA 2.3. TRAYECTORIA ALEATORIA DE UNA PARTÍCULA A TRAVÉS DE UN MEDIO	36
FIGURA 2.4. DIRECCIÓN DE LA PARTÍCULA EN COORDENADAS ESFÉRICAS	32
FIGURA 2.5. ÁNGULOS LOCALES DE DISPERSIÓN DE LA PARTÍCULA	38
FIGURA 2.6. FORMATO DE ARCHIVO DE ENTRADA DE MCNPX	41
FIGURA 2.7. ESQUEMA DE USO RECOMENDADO	46
FIGURA 3.1 ESQUEMA DE COMBUSTIBLE	48
FIGURA 3.2. MODELACIÓN MCNPX DE LA PARTÍCULA TRISO. MATRIZ CÚBICA	49
FIGURA 3.3. MODELO MCNPX DE UN ARREGLO DE CELDAS	49
FIGURA 3.4. MODELO MCNPX DEL COMPACTO. MATRIZ CÚBICA	50

FIGURA 3.5. MODELO MCNPX DEL COMPACTO. MATRIZ HEXAGONAL	50
FIGURA 3.6 ACERCAMIENTO DEL MODELO COMPACTO.	51
FIGURA 3.7. MODELOS PARA LOS BLOQUES DE ENSAMBLES.....	51
FIGURA 3.8. ENSAMBLE BÁSICO CON MCNPX.....	52
FIGURA 3.9. ENSAMBLE BÁSICO, PLANO XY.	52
FIGURA 3.10. NÚCLEO DE GRAFITO Y TUBOS REFRIGERANTES. PLANO XY.....	52
FIGURA 3.11. CONFIGURACIÓN DEL NÚCLEO DEL REACTOR GT- MHR CON TRES ANILLOS.....	53
FIGURA 3.12. VISTA SUPERIOR DE LA LATTICE DEL NÚCLEO	54
FIGURA 3.13. SECCIONES HORIZONTALES DEL NÚCLEO. PLANO YZ.....	54
FIGURA 3.14. SECCIONES HORIZONTALES DEL NÚCLEO. PLANO YZ.....	55
FIGURA 3.15. NÚCLEO DEL REACTOR GT-MHR	55
FIGURA 3.16. NÚCLEO DEL REACTOR GT-MHR ESQUEMATIZADO	56
FIGURA 3.17. MODELO EMPLEADO	56
FIGURA 3.18. MÉTODO DE HOMOGENIZACIÓN RPT	58
FIGURA 3.19. PIN HOMOGÉNEO	58
FIGURA 3.20. VISTA SUPERIOR DEL NÚCLEO GT-MHR SIMPLIFICADO.....	59
FIGURA 4.1. MODELO DE UNA PARTÍCULA DE COMBUSTIBLE TRISO UTILIZADA EN CPM-3	63
FIGURA 4.2. LISTAS DE ISÓTOPOS GENERADAS	65
FIGURA 4.3. EVOLUCIÓN DE LA K-EF.....	70
FIGURA 4.4. COMPARACIÓN DE K-EF PARA MCNPX Y EL MÉTODO DISEÑADO	71
FIGURA 4.5. COMPARACIÓN DE LOS CÓDIGOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 INDICADORES PARA EL REACTOR PBMR.....	14
TABLA 1.2. PARÁMETROS DE OPERACIÓN A POTENCIA PLENA NOMINAL DEL GT-MHR...	23
TABLA 1.3 INDICADORES PARA EL REACTOR GT-MHR	28
TABLA 3.1. DIMENSIONES DE UNA PARTÍCULA DE COMBUSTIBLE TRISO.....	48
TABLA 3.2. DIMENSIONES DE LA PARTÍCULA TRISO UTILIZADA PARA LOS MODELOS SIMULADOS.....	53
TABLA 3.3. COMPARACIÓN MODELOS DE NÚCLEO GT-MHR	59
TABLA 3.4. TIEMPOS DE EJECUCIÓN DE MODELOS CON Y SIN QUEMADO	60
TABLA 4.1. VALORES DE “K-EF DE QUEMADO” OBTENIDOS CON DISTINTAS FORMAS DE MANIPULACIÓN DE ISÓTOPOS.....	68
TABLA 4.2. VALORES DE K-EF OBTENIDOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO.....	69
TABLA 4.3. VALORES DE K EFF OBTENIDOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO E INTERPOLACIÓN	69
TABLA 4.4. VALORES OBTENIDOS CON EL MÉTODO DISEÑADO Y CON MCNPX	70
TABLA 4.5. VALORES OBTENIDOS CON EL MÉTODO DISEÑADO, CON MCNPX Y CON CPM-3	71
TABLA 4.6. DIFERENCIAS %DK/K ENTRE MCNPX Y EL MÉTODO DISEÑADO	72
TABLA 4.7. DIFERENCIAS EN PCM ENTRE MCNPX Y EL MÉTODO DISEÑADO	73
TABLA 4.8. TIEMPOS DE QUEMADO	73