

Índice

1. Introducción y objetivos.....	7
1.1. Introducción.....	7
1.2. Objetivos y alcance del proyecto.....	8
1.3. Estructura del documento.....	9
2. Revisión de la literatura.....	12
2.1. Contexto de los sistemas de fabricación.....	12
2.1.1. Evolución de los paradigmas de fabricación.....	13
2.1.1.1. Época previa a las máquinas de control numérico (antes de 1970).....	13
2.1.1.2. Época de máquinas de control numérico (1970-1990).....	15
2.1.1.3. Época del conocimiento (posterior a 1990).....	17
2.1.2. Requisitos de los sistemas de fabricación actuales.....	18
2.1.2.1. Tiempos de lanzamiento de los productos reducidos.....	19
2.1.2.2. Fabricación de una mayor variedad de productos.....	19
2.1.2.3. Volúmenes de fabricación pequeños y fluctuantes.....	19
2.1.2.4. Bajo precio de los productos.....	20
2.1.3. Estrategias generales para cumplir los requisitos de un sistema de fabricación actual.....	20
2.1.3.1. Estrategias para reducir el tiempo de lanzamiento.....	22
2.1.3.2. Estrategias para producir una mayor variedad de productos.....	23
2.1.3.3. Estrategias para atender volúmenes pequeños y fluctuantes.....	24
2.1.3.4. Estrategias para reducir costes.....	24
2.1.4. Nuevos paradigmas para implementar estrategias.....	25
2.2. Sistemas de Fabricación Reconfigurable.....	27
2.2.1. Definición de un Sistema de Fabricación Reconfigurable.....	28
2.2.2. Características básicas de un Sistema de Fabricación Reconfigurable.....	31
2.2.3. Principios fundamentales de la Fabricación Reconfigurable.....	32
2.2.4. Concepto de familia de productos.....	33
2.2.5. Aspectos de diseño de un SFR.....	36
2.2.5.1. Diseño de la arquitectura de un SFR.....	36
2.2.5.2. Diseño de la configuración de un SFR.....	38
2.2.5.3. Diseño del control de un SFR.....	38
2.3. Células de Fabricación Reconfigurable.....	39
2.3.1. Necesidad de Fabricación Celular.....	39
2.3.2. Fabricación Celular.....	40
2.3.2.1. Tecnología de Grupos.....	40
2.3.2.2. Sistemas de Fabricación Celulares.....	44
2.3.3. Sistemas de Fabricación Reconfigurable Celular.....	50
2.3.3.1. Aspectos previos a la formulación del problema.....	52
2.3.3.2. Formulación del problema.....	53
2.3.3.3. Determinación de método de resolución.....	54
2.3.3.4. Validación del algoritmo.....	54
3. Análisis y modelado para la agrupación de productos en células de fabricación reconfigurable.....	55
3.1. Formulación del problema.....	55
3.2. Analogías con otros problemas combinatorios.....	60

3.2.1. Analogía de nuestro problema, para una única célula, con otros problemas combinatorios.....	60
3.2.2. Analogía de nuestro problema, para varias células, con otros problemas combinatorios.....	63
3.3. Técnicas para la resolución del m-TSP.	66
3.3.1. Modelos de programación lineal para la resolución del m-TSP.....	67
3.3.1.1. Formulación basada en modelos de asignación.	67
3.3.1.2. Formulación basada en modelos de flujo en redes.	69
3.3.2. Técnicas heurísticas para la resolución del m-TSP.	70
4. Dgiseño e implementación de métodos de resolución al problema de los SFRC.	73
4.1. Métodos exactos para la resolución de los SFRC.....	74
4.1.1. Formulación basada en modelos de asignación.	74
4.1.2. Formulación basada en modelos de flujo en redes.	75
4.2. Algoritmo de Búsqueda Tabú.....	78
4.3. Adaptación de la Búsqueda Tabú a nuestro problema de SFRC.	82
4.3.1. Representación de las soluciones.....	82
4.3.2. Generación de la solución inicial admisible.	85
4.3.3. Movimientos y soluciones vecinas.	85
4.3.4. Lista tabú: atributos y tamaño.	89
4.3.5. Evaluación de los costes de cada solución.....	92
4.3.6. Criterio de finalización.	92
5. Experimentación y análisis de resultados.....	93
5.1. Diseño de experimentos.	93
5.2. Resultados comparativos con el modelo.	98
5.2.1. Resultados para 1 célula.	98
5.2.2. Resultados para 2 y 3 células.....	99
6. Conclusiones y extensiones.	106
7. Bibliografía.....	108

Índice de figuras

Figura 1: Configuración genérica de una cadena de montaje manual.	14
Figura 2: Configuración genérica de una cadena de montaje automatizada.	14
Figura 3: Máquina CNC.	16
Figura 4: Objetivos económicos de varios paradigmas de fabricación.	18
Figura 5: Modelo de un sistema de fabricación.	21
Figura 6: Estrategias para reducir el tiempo de lanzamiento.	22
Figura 7: Estrategias para producir una mayor variedad de productos.	23
Figura 8: Estrategias para atender volúmenes de productos bajos y variantes.	24
Figura 9: Estrategias para reducir costes.	25
Figura 10: Taxonomía de los paradigmas de producción.	27
Figura 11: Escalabilidad de los SFR.	29
Figura 12: Aspectos de reconfiguración para un SFR.	30
Figura 13: Organización del sistema y recursos reconfigurables.	30
Figura 14: Relación entre productos, componentes y variantes.	34
Figura 15: Similitud entre miembros de familias de productos.	34
Figura 16: Variantes de un producto obtenidas por la combinación de distintos componentes.	35
Figura 17: Aspectos de diseño de un SFR.	36
Figura 18: Escenario de aplicación de un SFR.	38
Figura 19: Planta de producción organizada por tipo de procesos.	41
Figura 20: Planta de producción en Tecnología de Grupos.	41
Figura 21: Distintos recursos empleados en SFC.	45
Figura 22: Planta de producción de un SFCV.	46
Figura 23: Marco de trabajo modular para un SFCD.	50
Figura 24: Librerías de módulos en máquinas reconfigurables.	51
Figura 25: Ejemplo de dendograma.	56
Figura 26: Secuenciación de familias de productos.	57
Figura 27: Comparación entre SFR y SFRC.	59
Figura 28: Secuenciación de familias en SFRC.	60
Figura 29: Problema del TSP.	61
Figura 30: Diseño y planificación de familias de productos.	62
Figura 31: Problema del m-TSP ($m=2$).	64
Figura 32: Grafo con costes para de un m-TSP.	66
Figura 33: Ejemplo de resolución de un problema m-TSP para $m=3$	67
Figura 34: SFRC con $F=C=3$	77
Figura 35: Comparación entre costes de reconfiguración para un SFR y un SFRC con $C=1$	78
Figura 36: Mínimos locales de una Función Objetivo.	79
Figura 37: Diagrama de flujo de la Búsqueda Tabú.	81
Figura 38: Elección del mejor movimiento posible.	82
Figura 39: Primera representación de una solución del m-TSP.	83
Figura 40: Segunda representación de una solución del m-TSP.	84
Figura 41: Tercera representación de una solución del m-TSP.	84
Figura 42: Movimiento “SWAP” intracelular.	86
Figura 43: Movimiento “INSERT” intracelular.	87
Figura 44: Movimiento “SWAP” intercelular (INTER-SWAP).	87
Figura 45: Movimiento “INSERT” intercelular (“INTER-INSERT”).	88
Figura 46: Representación de los movimientos intracelulares.	91

Figura 47: Representación de movimientos intercelulares.....	91
Figura 48: Cálculo de costes de reconfiguración para un SFRC con $C=1$ y $F=4$	92

Índice de tablas

Tabla 1: Nomenclatura de los paradigmas de fabricación detallados en la Figura 10. ..	26
Tabla 2: Analogía entre el m-TSP y el problema de los SFRC.	65
Tabla 3: Tamaños de las vecindades.	88
Tabla 4: Analogía entre problemas SFC y SFR.	93
Tabla 5. Características de problemas de Grupo 1.	94
Tabla 6: Características de problemas de Grupo 2.	95
Tabla 7: Características de los problemas del Grupo 3.	96
Tabla 8: Vecindades usadas para 2 y 3 células.	97
Tabla 9: Resultados del grupo 1 para 1 célula.	98
Tabla 10: Resultados del grupo 2 para 1 célula.	99
Tabla 11: Resultados del grupo 3 para 1 célula.	99
Tabla 12: Promedio en desviaciones en % respecto al óptimo para 2 y 3 células.	100
Tabla 13: Resultados del grupo 1 para 2 células.	101
Tabla 14: Resultados del grupo 2 para 2 células.	102
Tabla 15: Resultados del grupo 3 para 2 células.	103
Tabla 16: Resultados del grupo 1 para 3 células.	103
Tabla 17: Resultados del grupo 2 para 3 células.	104
Tabla 18: Resultados del grupo 3 para 3 células.	105