

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA	1
1.1	Introducción y objetivos	3
1.1.1	Objetivos de la investigación.....	5
1.1.2	Estructura de los contenidos.....	6
1.2	El problema de distribución en planta	8
1.2.1	Tipos básicos de distribución en planta	8
1.2.1.1	Posición fija.....	9
1.2.1.2	Por secciones, por proceso o desplazamiento lento.	10
1.2.1.3	En cadena, en serie o desplazamiento rápido.	10
1.2.1.4	En sistemas de fabricación flexibles, por grupos homogéneos o por familia de productos.	11
1.2.2	Metodologías clásicas para la resolución del problema de distribución en planta	13
1.2.2.1	Primeras aproximaciones	13
1.2.2.1.1	Immer	13
1.2.2.1.2	"Sequence analysis" de Buffa	13
1.2.2.1.3	"Systematic plan of attack" de Reed.....	15
1.2.2.1.4	"Ideal systems approach" de Nadler.....	15
1.2.2.1.5	Metodología de Apple	16
1.2.2.2	Systematic Layout Planning (SLP)	17
1.2.2.2.1	Fase de definición	19
1.2.2.2.2	Fase de Análisis	22
1.2.2.2.3	Fase de Síntesis	24
1.2.2.2.4	Fase de Evaluación.....	24
1.2.2.2.5	Fase de Selección	25
1.2.2.2.6	Fase de Instalación.....	25
1.2.2.3	Métodos de generación de layouts.	26
1.2.2.3.1	Métodos exactos (óptimos).....	27
1.2.2.3.2	Heurísticas específicas del problema.....	28
1.2.2.3.3	Metaheurísticas	30
2	ASPECTOS GEOMÉTRICOS DEL PROBLEMA DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....	35
2.1	Modelos de representación espacial.....	38
2.1.1	Modelos topológicos.....	39
2.1.1.1	Aspectos básicos de la teoría de grafos.....	40
2.1.1.2	Aplicación al problema de distribución en planta	44
2.1.2	Modelos geométricos	45
2.1.2.1	Modelos de una dimensión (SRLP)	45
2.1.2.2	Modelos de dos dimensiones (FLP)	46
2.1.2.2.1	Modelos discretos.....	47
2.1.2.2.2	Modelos continuos	52
2.1.2.3	Modelos de dos dimensiones y media (MFLP)	68
2.1.2.4	Modelos de tres dimensiones	76

2.2 Métrica de la distancia.....	77
2.2.1 Distancia entre centroides	78
2.2.2 Distancia por contorno lateral.....	81
2.2.3 Distancia por camino más corto	81
2.2.4 Distancia rectilínea esperada (EDIST)	82
3 INDICADORES APLICADOS AL PROBLEMA DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	83
3.1 Objetivos, principios e indicadores	86
3.1.1 Objetivos	87
3.1.1.1 Muther	87
3.1.1.2 Otros autores	89
3.1.2 Principios	91
3.2 Indicadores empleados en el problema de distribución en planta	95
3.2.1 Indicadores Cualitativos	96
3.2.1.1 Índice de cercanía (Closeness Rating)	96
3.2.1.2 Flexibilidad	97
3.2.1.3 Adyacencia	99
3.2.1.4 Movimientos peligrosos.....	99
3.2.2 Indicadores Cuantitativos.....	100
3.2.2.1 Indicadores de Flujo	100
3.2.2.1.1 Coste de transporte de materiales (MHC)	100
3.2.2.1.2 Tiempo de movimiento de los materiales (MMT).....	100
3.2.2.1.3 Indicadores de flujo de Lin y Sharp	101
3.2.2.1.4 Circulación	106
3.2.2.2 Indicadores Geométricos	108
3.2.2.2.1 Indicadores de Perímetro.....	110
3.2.2.2.2 Indicadores de Compacidad	116
3.2.2.2.3 Indicadores de Robustez	119
3.2.2.2.4 Indicadores de Forma.....	121
3.2.2.2.5 Indicadores de Inercia	128
3.2.2.3 Indicadores de aprovechamiento de área	130
3.3 Relación Objetivos-principios-indicadores	133
3.4 Selección de los indicadores a emplear	138
3.4.1 Indicadores de flujo	140
3.4.2 Indicadores geométricos	141
3.4.2.1 Indicadores de perímetro	145
3.4.2.2 Indicador de robustez	146
3.4.2.3 Indicador de compacidad.....	147
3.4.2.4 Indicadores de forma	148
3.4.2.5 Relación con el indicador propuesto	149
3.4.3 Indicadores seleccionados.....	151

4	MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	153
4.1	Optimización multiobjetivo	156
4.2	Técnicas no basadas en Pareto	159
4.2.1	Agregación de objetivos	160
4.2.2	Método de programación por metas	161
4.2.3	Método de las restricciones ϵ	162
4.2.4	VEGA (Vector Evaluated Genetic Algorithm)	163
4.2.5	Ordenamiento Lexicográfico	164
4.2.6	Algoritmos MiniMax	165
4.3	Técnicas basadas en Pareto	166
4.3.1	Algoritmos Evolutivos Multi-Objetivo - MOEA	167
4.3.1.1	MOGA (Multi Objective Genetic Algorithm)	168
4.3.1.2	NSGA (Nondominated Sorting Genetic Algorithm) y NSGA-II	169
4.3.1.3	NPGA (Niche-Pareto Genetic Algorithm) y NPGA-II	170
4.3.1.4	SPEA (Strength Pareto Evolutionary Algorithm) y SPEA-II	171
4.3.1.5	PAES (Pareto Archived Evolution Strategy)	171
4.3.1.6	PESA (Pareto Envelope-based Selection Algorithm) y PESA-II	172
4.3.1.7	MOMGA (Multi Objective Messy Genetic Algorithm) y MOMGA-II	172
4.3.1.8	MicroGA (Micro Algoritmo Genetico MicroGA) y MicroGA-II	173
4.3.2	Sistemas Inmunes Artificiales Multi-Objetivo - MOAIS	174
4.3.3	Colonias de Hormigas Multi-Objetivo - MOACO	175
4.3.4	Enjambre de partículas Multi-Objetivo (Particle Swarm Optimization)	175
4.3.5	Algoritmos Meméticos Multi-Objetivo	176
4.3.6	Scatter Search Multi-Objetivo	178
4.3.7	Evolución Diferencial Multi-Objetivo	179
4.3.7.1.1	No basadas en Pareto	181
4.3.7.1.2	Basadas en Pareto	182
4.3.7.1.3	Combinadas	183
4.4	Simulated Annealing Multiobjetivo - MOSA	184
4.4.1	Los primeros pasos	185
4.4.2	UMOSA (Método de Ulungu y Teghem)	186
4.4.3	PSA (Pareto Simulated Annealing, Czyzak)	188
4.4.4	SMOSA (Método de Suppapitnarm y Parks)	190
4.4.5	NAM y PARK	191
4.4.6	WMOSA (Weighted based Multi-Objective Simulated Annealing)	194
4.4.7	PDMOSA (Pareto Dominated Multi-Objective Simulated Annealing)	195
4.4.8	MC-MOSA (Multi Cooling Multi-Objective Simulated Annealing)	197
4.4.9	AMOSA	198
4.4.10	EMOSA	200
4.4.11	MCMOSA	201
4.4.12	DBMOSA	202

5	PLANTEAMIENTO MULTIOBJETIVO DEL PROBLEMA DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA..	205
5.1	Clasificación de las técnicas multiobjetivo aplicadas al problema de distribución en planta	212
5.1.1	Clasificación de Waghodekar y Sahu	212
5.1.2	Clasificación de Malakooti	215
5.1.3	Clasificación propuesta.....	218
5.2	Evaluación de soluciones	219
5.3	Optimización de soluciones	222
5.3.1	Métodos basados en funciones agregadas	225
5.3.1.1	Función objetivo agregada aditiva	225
5.3.1.2	Función objetivo agregada multiplicativa	247
5.3.2	Métodos basados en frontera de Pareto	253
6	METODOLOGÍA PROPUESTA	261
6.1	Construcción de soluciones.....	264
6.1.1	Aspectos Geométricos.....	265
6.1.1.1	Caracterización del recinto	265
6.1.1.1.1	Tamaño del recinto	265
6.1.1.1.2	Aspectos formales del recinto.....	265
6.1.1.2	Modelo geométrico empleado	268
6.1.1.3	Tamaño de la discretización.....	268
6.1.2	Colocación de Actividades	269
6.1.2.1	Formas de realizar el relleno.....	269
6.1.2.1.1	ALDEP	269
6.1.2.1.2	Curvas de relleno del Espacio - SFC.....	272
6.1.2.1.3	Definición de la técnica de colocación empleada. SFC y sus reglas	274
6.1.2.2	Estructura de Bandas	277
6.1.2.2.1	Número de bandas (n_b)	279
6.1.2.2.2	Ancho de Banda (b_i)	280
6.1.2.2.3	Secuencia de bandas	283
6.1.2.3	Secuencia de colocación empleada	284
6.1.3	Codificación de las soluciones	285
6.2	Generación de soluciones	286
6.2.1	Espacio de soluciones - Vecindad de una solución.....	286
6.2.2	Mecanismos de generación	287
6.2.2.1	Intercambio de actividades.....	287
6.2.2.2	Intercambio de bandas	289
6.2.2.3	Agregación de bandas.....	290
6.2.2.4	Expansión de bandas	291
6.2.3	Tamaño de la vecindad.....	293
6.3	Algoritmo de optimización empleado	296
6.3.1	Formulación del problema	296
6.3.2	Estructura de un algoritmo Simulated Annealing monobjetivo	297
6.3.2.1	Modelo matemático del algoritmo	300
6.3.2.2	Implementación del algoritmo	302
6.3.2.2.1	Cálculo de la temperatura inicial.....	302

6.3.2.2.2	Temperatura final (criterio de congelación)	303
6.3.2.2.3	Condición de equilibrio (Longitud de la cadena de Markov)	303
6.3.2.2.4	Lev de evolución de la temperatura	304
6.3.3	Algoritmo Annealing Multiobjetivo.....	305
6.3.3.1	Temperatura inicial del algoritmo	308
6.3.3.2	Esquema de enfriamiento	310
6.3.3.3	Condición de equilibrio en un escalón de temperatura	311
6.3.3.4	Criterio de congelación.....	312
6.3.3.5	Criterio de estabilización	313
6.4	Mecánica del proceso de optimización	314
6.4.1	Experimentos concatenados.....	314
6.4.2	Experimentos independientes	314
6.4.2.1	Criterio de parada del proceso de optimización.....	315
6.4.2.2	Depuración de la frontera de Pareto.....	315
7	PLAN EXPERIMENTAL. RESULTADOS OBTENIDOS	317
7.1	El problema de Armour y Buffa de 20 actividades. AB20.....	319
7.2	Soluciones históricas del problema.....	323
7.2.1	Modelo geométrico discreto.....	323
7.2.2	Modelo geométrico continuo	327
7.2.3	Fronteras de Pareto bicriterio del problema	333
7.2.3.1	Indicadores de configuración	333
7.2.3.2	Indicadores de actividad.....	335
7.2.4	Frontera de Pareto Coste - Circulación - Forma Media Ponderada	337
7.3	Evaluación del potencial del modelo geométrico empleado	338
7.3.1	Indicadores de configuración.....	339
7.3.2	Indicadores de actividad	342
7.4	Plan experimental y soluciones obtenidas	344
7.4.1	Obtención de Fronteras de Pareto Bicriterio	345
7.4.1.1	Frontera Coste-Circulación	345
7.4.1.2	Frontera Coste-Forma Media Ponderada.....	349
7.4.1.3	Frontera Coste-SRF.....	353
7.4.1.4	Frontera Coste-Forma Mínima	357
7.4.1.5	Frontera Coste-Robustez	360
7.4.1.6	Frontera Coste-Compacidad.....	363
7.4.2	Obtención de Frontera de Pareto Coste-Circulación-Forma Media Ponderada	367
8	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	373
8.1	Conclusiones	375
8.2	Trabajos futuros	379
9	BIBLIOGRAFÍA	381