



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN

**PROBLEMA DE ENRUTAMIENTO DE VEHÍCULOS CON RECEPCIÓN Y
ENTREGA SIMULTÁNEA (VRPSPD)**

Por:
ALESSANDRO CHACÓN
RICARDO SANTANA

Realizado con la asesoría de:
PROF. EMELY ARRÁIZ

PROYECTO DE GRADO
Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar
como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero de Computación

Sartenejas, Noviembre de 2011



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN

ACTA FINAL PROYECTO DE GRADO

**PROBLEMA DE ENRUTAMIENTO DE VEHÍCULOS CON RECEPCIÓN Y
ENTREGA SIMULTÁNEA (VRSPD)**

Presentado por:
ALESSANDRO CHACÓN
RICARDO SANTANA

Este Proyecto de Grado ha sido aprobado por el siguiente jurado examinador:

PROF. EMELY ARRAIZ

PROF. CAROLINA CHANG

PROF. OSCAR MEZA

Sartenejas, 11/01/12

Resumen

El problema de enrutamiento de vehículos (VRP por las siglas de Vehicle Routing Problem) es un problema de optimización combinatoria del área de logística y distribución de bienes. Una de sus variantes es VRPSPD, el cual tiene la particularidad que los clientes pueden recibir y entregar bienes de manera simultánea.

En este trabajo se busca resolver VRPSPD por medio de diferentes metaheurísticas híbridas, con el propósito de comparar sus resultados y poder recomendar la que genere la solución de mejor calidad y tiempo.

Para ello se realizó una investigación sobre las metaheurísticas más utilizadas para resolver VRPSPD y se seleccionaron seis. Esas seis se implementaron y para cada una de ellas se estudiaron los parámetros que más influyen en su comportamiento, para luego entonar cada uno de ellos. Una vez entonada cada metaheurística, se comparó su desempeño con los resultados del trabajo utilizado como base para la implementación de la metaheurística. Las metaheurísticas son ejecutadas con un conjunto de instancias del problema recomendadas en la literatura, mayormente utilizadas en los trabajos referenciados. Finalmente, se seleccionaron las metaheurísticas que proporcionaron la solución de mejor calidad y menor tiempo según cada clase de instancia, y se recomendaron las mejores.

Acrónimos

VRP	Vehicle Routing Problem	Problema del Enrutamiento de Vehículos
NP-Hard	Non-deterministic Polynomial-time Hard Problem	Problema difícil no determinístico de tiempo polinómico
CVRP	Capacitated VRP	VRP con Capacidad
VRPMD	VRP with Multiple Depots	VRP con Múltiples Depósitos
VRPMV	VRP with Multiple Vehicles	VRP con Múltiples Vehículos
SVRP	Stochastic VRP	VRP Estocástico
VRPTW	VRP with Time Windows	VRP con Ventanas de Tiempo
VRPSPD	VRP with Simultaneous Pick-Up and Delivery	VRP con Recepción y Entrega Simultánea
VRPB	VRP with Backhauls	VRP con Recolección
LS	Local Search	Búsqueda Local
GA	Genetic Algorithm	Algoritmo Genético
PSO	Particle Swarm Optimization	Optimización por Enjambre de Partículas
GLS	Guided Local Search	Búsqueda Local Guiada
SS	Scatter Search	Búsqueda en Dispersión
ILS	Iterative Local Search	Búsqueda Local Iterada
TS	Tabu Search	Búsqueda Tabú
ACO	Ant Colony Optimization	Optimización basada en Colonia de Hormigas
TSP	Travelling Salesman Problem	Problema del Agente Viajero

Índice general

Índice general	VI
Índice de tablas	IX
Índice de figuras	XVIII
Índice de algoritmos	XIX
Introducción	1
1 El Problema de Enrutamiento de Vehículos	3
1.1 Descripción	3
1.2 Variantes de VRP	4
1.3 VRP con Recepción y Entrega Simultánea (VRPSPD)	5
1.3.1 Modelo Matemático	5
1.3.1.1 Características del Problema	5
1.3.1.2 Notación	6
1.3.1.3 Formulación Matemática	6
2 Metaheurísticas	8
2.1 Definición	8
2.2 Clasificación	8
2.3 Metaheurísticas de interés	9
2.3.1 Búsqueda Local	9
2.3.2 Búsqueda Local Iterada	9
2.3.3 Búsqueda en Vecindades Variables	10
2.3.4 Búsqueda Tabú	11
2.3.5 Búsqueda Local Guiada	12
2.3.6 Optimización Basada en Colonia de Hormigas	13
2.3.7 Optimización por Enjambre de Partículas	14

2.3.8	Búsqueda en Dispersión	15
2.3.9	Algoritmo Genético	16
3	Detalles de implementación	18
3.1	Consideraciones generales	18
3.1.1	Lenguaje de programación	18
3.1.2	Estructura de datos para la representación de una solución	18
3.1.3	Algoritmos de generación de soluciones iniciales	19
3.2	Heurísticas y metaheurísticas	21
3.2.1	Búsqueda local	21
3.2.2	Búsqueda descendente en vecindades variables (VND)	22
3.2.3	Mecanismos de Perturbación	24
3.3	Metaheurísticas híbridas	25
3.3.1	Búsqueda Local Iterada con Vecindades Variables Modificada (ILS-VND-M)	25
3.3.2	Búsqueda Tabú Guiada Modificada (GTS-M)	26
3.3.3	Sistema de Hormigas Modificado (AS-M)	28
3.3.4	Busqueda en Dispersión Modificada (SS-M)	31
3.3.5	Algoritmo Genético Modificado (GA-M)	35
3.3.6	Optimización por Enjambre de Partículas Modificado (PSO-M)	37
4	Resultados computacionales	41
4.1	Pruebas experimentales	41
4.1.0.1	Ambiente de ejecución	41
4.1.1	Instancias utilizadas	41
4.1.2	Entonación de parámetros	42
4.1.2.1	Pruebas de entonación	42
4.1.3	Evaluación comparativa de la calidad de las metaheurísticas	48
4.1.4	Resultados para Metaheurística GTS-M	49
4.1.5	Resultados para Metaheurística ILS-VND-M	50
4.1.6	Resultados para Metaheurística AS-M	51
4.1.7	Resultados para Metaheurística SS-M	53
4.1.8	Resultados para Metaheurística PSO-M	54
4.1.9	Resultados para Metaheurística GA-M	55
4.2	Comparación de las mejores metaheurísticas	56
	Conclusiones y recomendaciones	59
	Bibliografía	61

A	Pseudocódigos de algoritmos utilizados	64
B	Tablas de comparación de metaheurísticas	72
B.1	GTS-M	72
B.2	ILS-VND-M	75
B.3	AS-M	77
B.4	SS-M	79
B.5	PSO-M	81
B.6	GA-M	82
C	Tablas de resultados de entonación de parámetros de metaheurísticas	83
C.1	ILS-VND-M	83
C.1.1	Dethloff	83
C.1.2	SalhiNagy	93
C.2	SS-M	98
C.2.1	Dethloff	98
C.2.2	SalhiNagy	108
C.3	GTS-M	112
C.3.1	Dethloff	112
C.3.2	SalhiNagy	125
C.4	AS-M	132
C.4.1	Dethloff	132
C.4.2	SalhiNagy	145
C.5	PSO-M	152
C.5.1	SalhiNagy	152
C.6	GA-M	160
C.6.1	Dethloff	160
C.6.2	SalhiNagy	174

Índice de tablas

3.1	Parámetros de ILS-VND-M	26
3.2	Parámetros de GTS-M	28
3.3	Parámetros de AS-M	31
3.4	Parámetros de SS-M	34
3.5	Parámetros de GA-M	37
3.6	Parámetros de PSO-M	40
4.1	Parámetros finales	47
4.2	Especificación de los procesadores utilizados en las pruebas y factor de conversión correspondiente	49
4.3	Resultados de GTS-M, utilizando instancias de Dethloff	50
4.4	Resultados de GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy	51
4.5	Resultados de ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff	51
4.6	Resultados de ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy	52
4.7	Resultados de AS-M, utilizando instancias de Dethloff	52
4.8	Resultados de AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy	53
4.9	Resultados de SS-M, utilizando instancias de Dethloff	54
4.10	Resultados de SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy	54
4.11	Resultados de PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy	55
4.12	Resultados de GA-M, utilizando instancias de Dethloff	55
4.13	Resultados de GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy	55
4.14	Resultados comparativos finales utilizando instancias de Dethloff	57
4.15	Resultados comparativos finales utilizando instancias de SalhiNagy	58
B.1	Resultados de GTS-M, utilizando instancias de Dethloff	73
B.2	Resultados de GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy	74
B.3	Resultados de ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff	75
B.4	Resultados de ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy	76
B.5	Resultados de AS-M, utilizando instancias de Dethloff	77

B.6	Resultados de AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy	78
B.7	Resultados de SS-M, utilizando instancias de Dethloff	79
B.8	Resultados de SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy	80
B.9	Resultados de PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy	81
B.10	Resultados de GA-M, utilizando instancias de Dethloff	82
B.11	Resultados de GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy	82
C.1	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -LS 10.0	84
C.2	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -LS 40.0	85
C.3	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -LS 70.0	86
C.4	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 25.0 -LS 10.0	87
C.5	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 25.0 -LS 40.0	88
C.6	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 25.0 -LS 70.0	89
C.7	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 55.0 -LS 10.0	90
C.8	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 55.0 -LS 40.0	91
C.9	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 55.0 -LS 70.0	92
C.10	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 15.0 -LS 10.0	93
C.11	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 25.0 -LS 50.0	94
C.12	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 15.0 -LS 80.0	94
C.13	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 35.0 -LS 10.0	95
C.14	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 35.0 -LS 50.0	95
C.15	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 35.0 -LS 80.0	96

C.16	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 55.0 -LS 10.0	96
C.17	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 55.0 -LS 50.0	97
C.18	Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 55.0 -LS 80.0	97
C.19	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 50.0 -b 10 -y 0.1	99
C.20	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 50.0 -b 10 -y 0.5	100
C.21	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 50.0 -b 10 -y 1.0	101
C.22	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -b 10 -y 0.1	102
C.23	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -b 10 -y 0.5	103
C.24	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -b 10 -y 1.0	104
C.25	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 150.0 -b 10 -y 0.1	105
C.26	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 150.0 -b 10 -y 0.5	106
C.27	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 150.0 -b 10 -y 1.0	107
C.28	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 50.0 -b 10 -y 0.1	108
C.29	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 50.0 -b 10 -y 0.2	109
C.30	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 150.0 -b 10 -y 0.1	109
C.31	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 150.0 -b 10 -y 0.2	110
C.32	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 250.0 -b 10 -y 0.1	110
C.33	Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 250.0 -b 10 -y .2	111

C.34	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13	113
C.35	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29	114
C.36	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37	115
C.37	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5	116
C.38	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13	117
C.39	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29	118
C.40	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37	119
C.41	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5	120
C.42	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13	121
C.43	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29	122
C.44	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37	123
C.45	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5	124
C.46	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13	125
C.47	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29	126
C.48	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37	126
C.49	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5	127
C.50	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13	127
C.51	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29	128

C.52	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37	128
C.53	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5	129
C.54	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13	129
C.55	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29	130
C.56	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37	130
C.57	Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5	131
C.58	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015	133
C.59	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015	134
C.60	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015	135
C.61	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015	136
C.62	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015	137
C.63	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015	138
C.64	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015	139
C.65	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015	140
C.66	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015	141
C.67	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015	142
C.68	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015	143
C.69	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015	144

C.70	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015	145
C.71	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015	146
C.72	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015	146
C.73	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015	147
C.74	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015	147
C.75	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015	148
C.76	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015	148
C.77	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015	149
C.78	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015	149
C.79	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015	150
C.80	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015	150
C.81	Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015	151
C.82	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 10.0 -L 10.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	152
C.83	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 10.0 -L 30.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	153
C.84	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 10.0 -L 50.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	153
C.85	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 10.0 -L 70.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	154

C.86	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 10.0 -L 90.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	154
C.87	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 30.0 -L 10.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	155
C.88	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 30.0 -L 30.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	155
C.89	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 30.0 -L 50.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	156
C.90	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 30.0 -L 70.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	156
C.91	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 30.0 -L 90.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	157
C.92	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 50.0 -L 10.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	157
C.93	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 50.0 -L 30.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	158
C.94	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 50.0 -L 50.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	158
C.95	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 50.0 -L 70.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	159
C.96	Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 50.0 -L 90.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5	159
C.97	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100 -p 300 -cprob 40 -mprob 70	161
C.98	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 10.0	162

C.99	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 70.0	163
C.100	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 100.0	164
C.101	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 10.0	165
C.102	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 70.0	166
C.103	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 100.0	167
C.104	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 90.0 -mprob 10.0	168
C.105	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 90.0 -mprob 70.0	169
C.106	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 90.0 -mprob 100.0	170
C.107	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -p 150.0 -cprob 40 -mprob 70	171
C.108	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -p 250.0 -cprob 40 -mprob 70	172
C.109	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -p 300.0 -cprob 40 -mprob 70	173
C.110	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 100 -p 350 -cprob 90 -mprob 70	174
C.111	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 10.0	175
C.112	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 70.0	176
C.113	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 100.0	176
C.114	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 10.0	177
C.115	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 70.0	177
C.116	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 100.0	178

C.117	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 90.0 -mprob 70.0	178
C.118	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 90.0 -mprob 100.0	179
C.119	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 100.0 -p 150.0 -cprob 90 -mprob 70	179
C.120	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 100.0 -p 250.0 -cprob 90 -mprob 70	180
C.121	Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 100.0 -p 350.0 -cprob 90 -mprob 70	180

Índice de figuras

3.1	Representación de una Solución de VRPSPD	19
3.2	Operadores inter-ruta de generación de vecindades.	23
3.3	Operadores intra-ruta de generación de vecindades.	24
3.4	Ilustración del método de combinación	34

Índice de algoritmos

2.1	Pseudocódigo de Búsqueda Local	9
2.2	Pseudocódigo de Búsqueda Local Iterada	10
2.3	Pseudocódigo de Búsqueda Descendente en Vecindades Variables	11
2.4	Pseudocódigo de Búsqueda Tabú	12
2.5	Pseudocódigo de Búsqueda Local Guiada	13
2.6	Pseudocódigo de Optimización basada en Colonia de Hormigas	14
2.7	Pseudocódigo de Optimización por Enjambre de Partículas	15
2.8	Pseudocódigo de Búsqueda en Dispersión	16
2.9	Pseudocódigo de Algoritmo Genético	17
A.1	Pseudocódigo de construcción de las rutas de los vehículos a partir de la estructura de datos de representación de la solución	64
A.2	Pseudocódigo de VND	65
A.3	Pseudocódigo de ILS-VND-M	66
A.4	Pseudocódigo de GTS-M	67
A.5	Pseudocódigo de AS-M	68
A.6	Pseudocódigo de SS-M	69
A.7	Pseudocódigo de GA-M	70
A.8	Pseudocódigo de PSO-M	71

Introducción

Este trabajo consiste en el estudio de una variante del problema de enrutamiento de vehículos (VRP por las siglas de Vehicle Routing Problem) el cual se define como un problema de optimización combinatoria del área de logística y distribución de bienes.

La variante seleccionada para el estudio recibe el nombre de VRPSPD (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery), la cual tiene la particularidad que los clientes pueden recibir y entregar bienes de manera simultánea. La importancia de este tipo de problema es su gran cantidad de aplicaciones en procesos industriales y de servicio. Entre los ejemplos a citar, está la entrega y recolección de botellas llenas y vacías por un mismo vehículo en la industria de bebidas, la distribución de materiales de impresión, en la cual un vehículo entrega y recolecta cartuchos de tinta llenos y vacíos, y por último, otra de las aplicaciones típicas, es la manufactura de equipos electrónicos, donde la fábrica requiere recolectar y disponer de productos cuya vida útil haya expirado.

VRPSPD fue abordado por primera vez por Min [Min89] cuyo trabajo consistió en un caso de estudio para el sistema de distribución de una biblioteca pública. En la literatura se encuentran muchos trabajos que han resuelto satisfactoriamente el problema, algunos muy destacados que han logrado buenos resultados y otros que han sido bases fundamentales para otros. Uno de estos trabajos destacados en la literatura es el de [SN01] que propuso tres heurísticas basadas en inserción para resolver el problema, dos de ellas de tipo ambiciosa y la última adoptando una estrategia de agrupación. A su vez [Det01] propuso heurísticas constructivas basadas en la inserción factible de menor costo, sobrecarga y la capacidad residual. Por último, [ZTK09] propuso una metaheurística híbrida de búsqueda tabú con búsqueda local guiada que logró muy buenos resultados con respecto a otros en la literatura.

El objetivo principal de este trabajo consiste en resolver VRPSPD por medio de diferentes metaheurísticas híbridas, con el propósito de comparar sus resultados y poder recomendar aquella que reporte la mejor calidad y tiempo de solución.

Se realizó una investigación sobre las metaheurísticas más utilizadas para resolver el problema. Se

llevó a cabo un estudio comparativo respecto a la calidad y el tiempo de solución. Del análisis de los resultados que surja de la comparación puede conducir a avances en la resolución a algunas de las variantes más complejas de VRP.

De la investigación sobre metaheurísticas se escogieron seis, las cuales fueron implementadas y modificadas en algunos casos. Para cada metaheurística se determinaron los parámetros que más influyen en su comportamiento, los cuales fueron entonados para lograr mejorar la calidad y tiempo de la solución. Se comparó el desempeño de las metaheurísticas implementadas con los resultados de los artículos relacionados para finalmente seleccionar la metaheurística que mejor resuelve el problema. Es importante destacar que las ejecuciones se realizaron con un conjunto de instancias del problema, ampliamente utilizado en la literatura.

En el primer capítulo del proyecto se describe con detalle VRP y sus variantes, y específicamente, para VRPSPD, el modelo matemático. En el segundo capítulo se presenta una conceptualización, descripción y clasificación teórica de las metaheurísticas utilizadas. En el tercer capítulo se describe el lenguaje de programación aplicado, los detalles de implementación de cada una de las heurísticas, metaheurísticas, metaheurísticas híbridas y la estructura de datos de representación de la solución. En el cuarto capítulo se detallan las pruebas experimentales y las tablas de comparación de los resultados obtenidos. Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados obtenidos.

Capítulo 1

El Problema de Enrutamiento de Vehículos

La distribución de bienes es una tarea fundamental hoy en día para muchas empresas y organizaciones. Problemas como conseguir la distancia más corta entre dos establecimientos, satisfacer demandas de clientes y mejorar el tiempo de la entrega son factores que influyen en el costo final de un servicio. Teniendo en cuenta lo importante que es la distribución para muchos aspectos en la sociedad los investigadores han estudiado formas de reducir los costos, haciendo la distribución más eficiente. El Problema de Enrutamiento de Vehículos (**VRP** por sus siglas en inglés de Vehicle Routing Problem) encapsula las restricciones y definiciones de la distribución de bienes en su forma más general. El problema fue propuesto originalmente por Dantzig y Ramser en 1959 [DR59] mientras intentaban encontrar maneras más eficientes de entregar gasolina a estaciones de servicio utilizando camiones como medio de transporte.

VRP está formado de los siguientes elementos:

- Un depósito que almacena los bienes.
- Un conjunto de clientes que demandan una cantidad exacta de bienes.
- Un conjunto de vehículos cuyo objetivo es transportar los bienes entre el depósito y los clientes.

La resolución exacta del problema es encontrar las rutas que deben recorrer los vehículos para satisfacer las demandas de los clientes de tal manera de minimizar el costo (o distancia) de las rutas.

1.1. Descripción

Se tiene un depósito que contiene una cantidad finita de bienes, los cuales se deben distribuir utilizando una cantidad de vehículos. Éstos deben recorrer los clientes satisfaciendo sus demandas de productos cumpliendo las siguientes restricciones:

- Todos los vehículos deben comenzar su recorrido en el depósito y teminar en el depósito.
- Cada cliente debe ser visitado exactamente por un sólo vehículo una única vez.
- Se deben satisfacer las demandas de todos los clientes en su totalidad.

La resolución del problema consiste en minimizar el costo total de todos los recorridos de los vehículos cumpliendo las restricciones mencionadas anteriormente.

VRP pertenece al conjunto de problemas *NP-Hard*¹. Debido a esto, la utilización de métodos exactos resulta inconveniente para resolver el problema, ya que su tiempo de resolución incrementa de forma exponencial a medida de que las instancias aumentan de tamaño (número de clientes). Generalmente para resolver este tipo de problemas se utilizan algoritmos que logran resultados aproximados de buena calidad con tiempos reducidos. Estos algoritmos son llamados metaheurísticas y han demostrado ser de gran ayuda, siendo así un área de investigación de gran interés dentro de la computación.

Más adelante se describirán las metaheurísticas utilizadas.

1.2. Variantes de VRP

En la vida real muchos problemas de distribución han tratado de modelarse utilizando VRP, sin embargo resulta complejo, por lo que ha surgido la necesidad de crear nuevas formas de modelado más específicas de acuerdo a cada tipo de problema, en algunos casos agregando restricciones y en otros relajando algunas de ellas. Estas nuevas formas de modelado son llamadas variantes. A continuación se mencionan algunas:

El Problema de Enrutamiento de Vehículos con Capacidad (CVRP por sus siglas en inglés de Capacited Vehicle Routing Problem) se define por contar con una flota de vehículos homogéneos que poseen una capacidad máxima fija. Este elemento adicional crea una nueva restricción al problema: no permitir que los bienes dentro del vehículo excedan su capacidad máxima en ningún momento.

En el Problema de Enrutamiento de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW por sus siglas en inglés de Vehicle Routing Problem with Time Windows) se define para cada cliente un rango de tiempo o *ventana de tiempo*, durante el cual debe ser atendido por algún vehículo. Por lo tanto un vehículo puede atender a un cliente si y sólo si el vehículo llega al cliente dentro su ventana de tiempo.

El Problema de Enrutamiento de Vehículos con Recolección (VRPB por sus siglas en inglés de Vehicle Routing Problem with Backhauls) requiere que los clientes se clasifiquen en dos conjuntos disjuntos: clientes que reciben bienes del depósito (llamados consumidores o *linehauls*) y clientes que entregan bienes al depósito (llamados proveedores o *backhauls*). En esta variante se requiere que los consumidores

¹NP-hard: una clase de problemas de decisión que pueden ser resueltos por una máquina de turing no determinista en tiempo polinomial.

sean atendidos antes que los proveedores, permitiendo así asegurar que los vehículos nunca superen su capacidad máxima, entregando todo lo que necesitan entregar antes de recoger nuevos bienes.

El Problema de Enrutamiento de Vehículos Estocástico (SVRP por sus siglas en inglés de Stochastic Vehicle Routing Problem) se caracteriza por poseer uno o varios componentes aleatorios. Podrían haber nuevos clientes durante la ejecución, las demandas podrían ser aleatorias y conocidas sólo al momento de que un vehículo llegue al cliente.

El Problema de Enrutamiento de Vehículos con Múltiples Depósitos (VRPMD por sus siglas en inglés de Vehicle Routing Problem with Multiple Depots) agrega depósitos adicionales al problema general. Por lo tanto una flota de vehículos distinta se encarga de atender a los clientes.

El Problema de Enrutamiento de Vehículos con Múltiples Vehículos (VRPMV por las siglas en inglés de Vehicle Routing Problem with Multiple Vehicles) tiene como elemento clave que la distribución de los bienes no esté limitada a un sólo vehículo por cliente, ya que en algunas situaciones la demanda de bienes de parte de un cliente es mayor a la capacidad máxima del vehículo. Elimina la restricción de que un cliente sea atendido por sólo un vehículo.

A continuación se pasa a describir una variante de particular interés de este proyecto, como lo es VRPSPD.

1.3. VRP con Recepción y Entrega Simultánea (VRPSPD)

El Problema de Enrutamiento de Vehículos con Entrega y Recepción Simultánea (VRPSPD por sus siglas en inglés de Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery) fue abordado por primera vez por Min [Min89] en el año 1989. En esta variante los clientes pueden, de manera simultánea, recibir y entregar bienes. Por lo tanto, cada cliente tiene asociado una cantidad de bienes por recibir y por entregar.

1.3.1. Modelo Matemático

1.3.1.1. Características del Problema

- Las demandas de entrega y recepción de bienes son determinísticas.
- Las demandas de recepción son atendidas exclusivamente desde el depósito.
- No hay intercambio de bienes entre clientes.
- Las demandas de entrega y recepción de bienes no pueden ser divididas.
- Todo cliente es visitado una sola vez.
- No hay restricción de distancia máxima recorrida para los vehículos.

1.3.1.2. Notación

- n : Número total de clientes.
 Q : Capacidad de los vehículos.
 k : Número de vehículos.
 i, j : Índices para el deposito y los clientes. El depósito se denota con el número 0.
 l : Índice para los vehículos.
 c_{ij} : Distancia (costo) entre el cliente i y el cliente j .
 p_j : Bienes a ser entregados por un cliente j , donde $j = 1, 2, \dots, n$.
 d_j : Bienes a ser recogidos por un cliente j , donde $j = 1, 2, \dots, n$.
 x_{ijl} : Variable de decisión que toma el valor de 1 si el vehículo l visita al cliente i antes que al cliente j , de lo contrario es 0.
 y_{ij} : Bienes recogidos hasta el cliente i y transportados hasta el cliente j .
 z_{ij} : Bienes por entregar desde el cliente i y transportados hasta el cliente j .

1.3.1.3. Formulación Matemática

La función objetivo (1.1) correspondiente a esta formulación matemática es la siguiente:

$$\text{Min} \sum_{l=1}^k \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ijl} \quad (1.1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{l=1}^k x_{ijl} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.2)$$

La restricción (1.2) asegura que cada cliente es visitado exactamente una vez por un sólo vehículo.

$$\sum_{i=0}^n x_{ijl} - \sum_{i=0}^n x_{jil} = 0, \quad j = 0, 1, \dots, n, l = 1, 2, \dots, k \quad (1.3)$$

La restricción (1.3) asegura que el mismo vehículo entra y sale de cada cliente que visita.

$$\sum_{j=1}^n x_{0jl} \leq 1, \quad l = 1, 2, \dots, k \quad (1.4)$$

La restricción (1.4) representa que la cantidad de vehículos utilizados es menor o igual que k .

$$\sum_{i=0}^n y_{ji} - \sum_{i=0}^n y_{ij} = p_j, \quad \forall j \neq 0 \quad (1.5)$$

$$\sum_{i=0}^n z_{ji} - \sum_{i=0}^n z_{ij} = d_j, \forall j \neq 0 \quad (1.6)$$

Las restricciones (1.5) y (1.6) son ecuaciones de flujo para la demanda de recepción y de entrega de mercancía.

$$(y_{ij} + z_{ij}) \leq Q \sum_{l=1}^k x_{ijl}, \quad i, j = 0, 1, \dots, n \quad (1.7)$$

La restricción (1.7) establece que los bienes de recepción y de entrega solo pueden ser transportados por arcos pertenecientes a la solución y para ninguno de ellos se excede de la máxima capacidad permitida.

$$x_{ijl} \in \{0, 1\}, y_{ij} \geq 0, z_{ij} \geq 0, i, j = 0, 1, \dots, n, l = 0, 1, \dots, k \quad (1.8)$$

Finalmente la restricción (1.8) muestra la naturaleza de las variables de decisión.

Capítulo 2

Metaheurísticas

2.1. Definición

Ya que el problema de enrutamiento de vehículos es un problema complejo, resolverlo exactamente implica un incremento exponencial del tiempo de cómputo a medida que las instancias aumentan de tamaño. Para problemas complejos usualmente se trata de conseguir una buena solución que tome un tiempo aceptable. Una forma de lograr esto es utilizando las denominadas *metaheurísticas*. El objetivo de esta clase de algoritmos es lograr un balance entre obtener buenos tiempos de ejecución y buenas soluciones a través de un proceso iterativo. La palabra *heurística* proviene del griego *εὕρισκειν*, que significa “hallar, encontrar”. El prefijo *meta* quiere decir “nivel superior”. Juntas podrían interpretarse como ‘mejorar lo encontrado’.

Las metaheurísticas son una familia de algoritmos aproximados de propósitos generales y no determinísticos que consiste de procesos iterativos que guían una heurística subordinada, realizando sobre el espacio de búsqueda exploración y explotación.

- **Exploración:** Busca en el espacio de soluciones lugares nunca antes visitados.
- **Explotación:** Regresa a lugares del espacio de soluciones ya visitados para obtener soluciones anteriormente calificadas como buenas.

2.2. Clasificación

Una metaheurística puede ser:

- **Constructiva:** Construye paso a paso una solución del problema, basándose en la mejor elección de cada iteración.
- **De trayectoria:** Parten de una solución inicial y la mejoran progresivamente hasta lograr el óptimo.

- **Poblacional:** Basado en conjunto de soluciones que evolucionan sobre el espacio de búsqueda.

2.3. Metaheurísticas de interés

A continuación una breve descripción de las metaheurísticas más relevantes para este trabajo.

2.3.1. Búsqueda Local

La *búsqueda local* (LS por sus siglas en inglés de *Local Search*) es uno de los métodos más empleados para resolver problemas complejos. Su origen proviene del año 1950 donde fue utilizada por primera vez para resolver el problema TSP.¹

Como descrito en [HM01] el algoritmo parte de una solución inicial, que se representa en la solución actual, de la cual se obtiene una vecindad parcial o completa de nuevas soluciones. A partir de esta vecindad se elige una nueva solución actual, siempre y cuando la solución sea mejor que la solución actual de acuerdo a un criterio previamente establecido. Este proceso se repite hasta alcanzar un criterio de parada previamente definido.

El pseudocódigo general de LS se puede ver en el **Algoritmo 2.1**.

Algoritmo 2.1: Pseudocódigo de Búsqueda Local

```

100  $S_0 := \text{ConstruirSolucionInicial}()$ 
101  $S_{actual} := S_0$ 
102
103 while ( $\neg \text{criterio\_parada}$ ) do
104      $\text{vecindad} := \text{ConstruirVecindad}(S_{actual})$ 
105      $\text{Seleccionar } S \in \text{vecindad} \mid S := \text{Min}\{\text{Costo}(S)\}$ 
106     if ( $\text{Costo}(S) < \text{Costo}(S_{actual})$ )
107          $S_{actual} := S$ 
108     end if
109 end while
110
111 return  $S_{actual}$ 

```

2.3.2. Búsqueda Local Iterada

La *búsqueda local iterada* (ILS por sus siglas en inglés de *Iterated Local Search*) es una metaheurística de trayectoria que consiste en iterativamente perturbar la solución actual a la cual se le aplica una heurística de mejoramiento. Una perturbación consiste en aplicar un operador de manera aleatoria, obteniendo de esta forma una nueva solución. La fuerza de una perturbación se refiere al número de componentes

¹Siglas en inglés de Traveling Salesman Problem, problema en donde un vendedor debe visitar todos los clientes una única vez, reduciendo su desplazamiento al mínimo

de la solución que son modificadas, es importante destacar que si la perturbación es muy fuerte el ILS puede comportarse como si su solución actual fuera aleatoria, mientras que si la perturbación es muy leve la solución actual normalmente caerá de nuevo en el mismo óptimo local, dejando un espacio de diversificación muy limitado [PH03].

El pseudocódigo general de ILS se puede ver en el **Algoritmo 2.2**.

Algoritmo 2.2: Pseudocódigo de Búsqueda Local Iterada

```

100  $S_0$  := ConstruirSolucionInicial()
101  $S_{mejor}$  := LocalSearch( $S_0$ )
102 while ( $\neg$ criterio_parada) do
103
104      $S_{perturb}$  := Perturbar( $S_{mejor}$ )
105      $S_{actual}$  := LocalSearch( $S_{perturb}$ )
106
107     if (Costo( $S_{mejor}$ ) > Costo( $S_{actual}$ ))
108          $S_{mejor}$  :=  $S_{actual}$ 
109     end if
110
111 end while
112
113 return  $S_{mejor}$ 

```

2.3.3. Búsqueda en Vecindades Variables

La *búsqueda en vecindades variables* (VNS por sus siglas *Variable Neighborhood Search*) es una meta-heurística de trayectoria que consiste en cambiar sistemáticamente de vecindad dentro de una búsqueda local, además de un método de perturbación para diversificar la solución. Una de sus variantes, VND (*Variable Neighborhood Descent* o *Búsqueda Descendente en Vecindades Variables*) se obtiene cuando los cambios de vecindarios son realizados de manera determinística.

El pseudocódigo general de VND se puede ver en el **Algoritmo 2.3** [LCS03].

Algoritmo 2.3: Pseudocódigo de Búsqueda Descendente en Vecindades Variables

```

100 Seleccionar vecindades  $N_k$  para
101  $k := 1, \dots, K_{max}$ 
102  $S_0 := \text{ConstruirSolucionInicial}()$ 
103  $S_{mejor} := S_0$ 
104 while ( $\neg \text{criterio\_parada}$ ) do
105      $k := 1$ 
106     while ( $k < k_{max} + 1$ ) do
107          $vecindad := \text{ConstruirVecindadVND}(N_k, (S_{mejor}))$ 
108         Seleccionar  $S_{actual} \in vecindad \mid S_{actual} := \text{Min}\{Costo(S_{actual})\}$ 
109         if ( $Costo(S_{mejor}) > Costo(S_{actual})$ )
110              $S_{mejor} := S_{actual}$ 
111              $k := 1$ 
112         else
113              $k := k + 1$ 
114         end if
115     end while
116 end while
117
118 return  $S_{mejor}$ 

```

2.3.4. Búsqueda Tabú

La *búsqueda tabú* (TS por sus siglas en inglés de *Tabu Search*) es una metaheurística de trayectoria propuesta por Fred Glover en 1986 [Glo86] con el objetivo de ayudar a la *búsqueda local* a evitar el estancamiento en óptimos locales, permitiendo movimientos dentro del espacio de soluciones que no necesariamente impliquen un mejor valor de función objetivo que el valor actual. Para evitar el fenómeno cíclico de la búsqueda local y así impedir volver a visitar soluciones anteriormente visitadas, éstas se prohíben mediante la utilización de memoria a corto plazo, empleando la llamada *lista tabú*, cuyo propósito es almacenar la historia reciente de la búsqueda. Estas soluciones ya visitadas son declaradas *tabú*, es decir, su posterior exploración está prohibida por un determinado número de iteraciones definidas por el valor de la *tenencia tabú*.

Usualmente es impráctico guardar soluciones en la lista tabú por razones de uso excesivo de recursos. Por este motivo normalmente se guardan movimientos específicos entre soluciones permitiendo así un uso eficiente de recursos y buenos resultados.

Suele ocurrir que la búsqueda tabú evite movimientos que dirijan a muy buenas soluciones como resultado de la utilización de la lista tabú, por lo que generalmente se define un *criterio de aspiración*, que permite a la búsqueda ignorar el hecho de que una solución se encuentre en la lista tabú sólo si esa solución conlleva un valor de función objetivo mejor que el de la mejor solución encontrada hasta el

momento.

El pseudocódigo general de TS se puede ver en el **Algoritmo 2.4**:

Algoritmo 2.4: Pseudocódigo de Búsqueda Tabú

```

100  $S_0 := \text{ConstruirSolucionInicial}()$ 
101  $S_{actual} := S_0$ 
102  $S_{mejor} := S_0$ 
103  $\text{Lista\_Tabu} := \emptyset$ 
104
105 while ( $\neg \text{criterio\_parada}$ ) do
106      $\text{vecindad} := \text{ConstruirVecindad}(S_{actual})$ 
107     Seleccionar  $S \in \text{vecindad} \mid S = \text{Min}\{\text{Costo}(S)\}$ 
108     if ( $\text{Costo}(S) < \text{Costo}(S_{mejor})$ ) // criterio de aspiracion
109          $S_{mejor} := S$ 
110     else
111         if ( $S \in \text{Lista\_Tabu}$ )
112             Seleccionar  $S \in \text{vecindad} \mid S := \text{Min}\{\text{Costo}(S)\} \wedge S \notin \text{Lista\_Tabu}$ 
113         end if
114     end if
115      $S_{actual} := S$ 
116     Guardar  $S_{actual}$  en  $\text{Lista\_Tabu}$  y actualizar tenencia si necesario
117 end while
118
119 return  $S_{mejor}$ 

```

2.3.5. Búsqueda Local Guiada

La *búsqueda local guiada* (GLS por sus siglas en inglés de *Guided Local Search*) es una metaheurística de trayectoria diseñada para guiar la *búsqueda local* penalizando características no deseables de la solución actual, para así evitar el estacamiento en óptimos locales. Primeramente se definen las características de una solución candidata, cuando la búsqueda se atasca en un óptimo local las soluciones que posean ciertas características consideradas no deseables son penalizadas. Usualmente, se utiliza una función de utilidad tal que la característica que maximice la función será penalizada. La característica penalizada y el número de veces que ha sido penalizada será almacenada de manera que en búsquedas posteriores el valor de la función objetivo se vea alterado. De esta manera, la búsqueda se concentra en explorar mayormente soluciones calificadas como deseables y permite prevenir que dirija todo su esfuerzo en explorar sólo una región del espacio de soluciones.

El pseudocódigo general de GLS se puede ver en el **Algoritmo 2.5**:

Algoritmo 2.5: Pseudocódigo de Búsqueda Local Guiada

```

100 Funcion  $U$ 
101 Conjunto  $C$ 
102
103  $S_0 := \text{ConstruirSolucionInicial}()$ 
104  $S_{\text{actual}} := S_0$ 
105  $S_{\text{mejor}} := S_0$ 
106
107 while ( $\neg \text{criterio\_parada}$ ) do
108      $S_{\text{mejor}} := \text{LocalSearch}(S_{\text{actual}})$ 
109     Encontrar la característica  $C_i \mid C_i = \text{Max } \{U(i)\}$ 
110     Penalizar( $C_i$ )
111      $S_{\text{actual}} := S_{\text{mejor}}$ 
112 end while
113
114 return  $S_{\text{mejor}}$ 

```

2.3.6. Optimización Basada en Colonia de Hormigas

La *optimización basada en colonia de hormigas* (ACO por sus siglas en inglés de *Ant Colony Optimization*) es una metaheurística poblacional inspirada en los rastros de feromonas dejados por las hormigas al caminar y el comportamiento de ellas ante las feromonas. Estas feromonas son utilizadas por las hormigas como medio de comunicación con el fin de conseguir una forma óptima para llegar a la comida. Análogamente ACO está basado en la comunicación indirecta de las hormigas artificiales mediante los rastros de feromonas artificiales.

Se tiene un número fijo de hormigas, cada hormiga construye una solución propia basándose en información subyacente a caminos de feromonas dejados por otras hormigas. Si no existen feromonas en los caminos a tomar, se elige un camino aleatorio. Si existen feromonas en los caminos a tomar, se elige probabilísticamente dependiendo de la cantidad de feromonas depositada en los caminos. Mientras más feromonas tenga un camino mayor probabilidad tiene de ser elegido. Cada hormiga deposita feromonas en su recorrido.

Para evitar que el flujo de hormigas se dirija siempre por el camino de más feromonas, acarreado un estancamiento en un óptimo local, se define un factor de evaporación, que reduce la cantidad de feromonas en los caminos cada cierta cantidad de iteraciones o cada cierto tiempo. De esta manera se explorará eficazmente el espacio de soluciones, logrando soluciones de calidad.

El pseudocódigo general de ACO se puede ver en el **Algoritmo 2.6**:

Algoritmo 2.6: Pseudocódigo de Optimización basada en Colonia de Hormigas

```

100 hormiguero := CrearHormigas()
101 InicializarFeromonas()
102  $S_{mejor} := ConstruirSolucionInicial()$ 
103
104 while ( $\neg$ criterio_parada) do
105     foreach  $hormiga \in$  hormiguero do
106          $S_{actual} := ConstruirSolucion(hormiga)$ 
107         ActualizarFeromonas( $S_{actual}$ )
108         if ( $Costo(S_{actual}) < Costo(S_{mejor})$ )
109              $S_{mejor} := S_{actual}$ 
110         end if
111     end foreach
112     EvaporarFeromonas()
113 end while
114
115 return  $S_{mejor}$ 

```

2.3.7. Optimización por Enjambre de Partículas

La *optimización por enjambre de partículas* (PSO por sus siglas en inglés de *Particle Swarm Optimization*) es una metaheurística poblacional inspirada en el comportamiento en grupo de enjambres. PSO imita los movimientos físicos individuales en los enjambres como método de búsqueda.

Un enjambre está compuesto por un número definido de partículas, las partículas tienen dos características esenciales: posición y velocidad. La posición de una partícula representa una solución al problema, mientras que la velocidad representa la habilidad de la partícula para cambiar de posición. Utilizando estos dos factores, se intenta encontrar la mejor posición posible dentro de un espacio de búsqueda, la cual se espera represente una buena solución al problema.

La velocidad de una partícula es constantemente actualizada basándose en tres términos: (1) Inercia, obliga a la partícula a moverse en la misma dirección. (2) Aprendizaje cognitivo, obliga a la partícula a moverse a la mejor posición encontrada hasta el momento por ella. (3) Aprendizaje social, obliga a la partícula a moverse a la mejor posición encontrada hasta el momento por todas las partículas del enjambre. La velocidad de cada partícula es influenciada por los factores cognitivos y sociales con el fin de dirigir el enjambre a encontrar mejores soluciones al problema. Además, se incluye un factor estocástico para evitar que todas las partículas con misma posición se muevan en las mismas direcciones y así explorar extensivamente el espacio de soluciones.

El pseudocódigo general de PSO se puede ver en el **Algoritmo 2.7**:

Algoritmo 2.7: Pseudocódigo de Optimización por Enjambre de Partículas

```

100 enjambre := CrearEnjambre()
101 InicializarPosiciones(enjambre)
102 InicializarVelocidades(enjambre)
103 while ( $\neg$ criterio_parada) do
104     foreach  $p \in$  enjambre do
105         ActualizarVelocidad( $p$ )
106         ActualizarPosicion( $p$ )
107         if ( $\text{Costo}(p) < \text{MejorCosto}(p)$ )
108             ActualizarMejorCosto( $p$ )
109         end if
110         if ( $\text{Costo}(p) < \text{MejorCosto}(\text{enjambre})$ )
111             mejor_particula :=  $p$ 
112         end if
113     end foreach
114 end while
115  $S_{\text{mejor}}$  := ObtenerPosicion(mejor_particula)
116
117 return  $S_{\text{mejor}}$ 

```

2.3.8. Búsqueda en Dispersión

La *búsqueda en dispersión* (SS por sus siglas en inglés de *Scatter Search*) es una metaheurística poblacional la cual está diseñada para operar a través de un conjunto de soluciones, llamado conjunto de referencia, el cual está constituido por buenas soluciones obtenidas hasta el momento. Es importante destacar que una buena solución puede ser considerada de esta forma tanto por su diversidad, como por el valor de su función objetivo. Este enfoque genera sistemáticamente nuevas soluciones a partir del conjunto de referencia a través de combinaciones de soluciones pertenecientes al mismo.

El algoritmo básico SS consta de cinco métodos:

1. Un *Método de generación diversificada* que crea un conjunto de soluciones iniciales.
2. Un *Método de mejora* que mejora la calidad de las soluciones.
3. Un *Método de actualización del conjunto de referencia* que construye el conjunto de referencia con soluciones buenas y diversas.
4. Un *Método de generación de subconjuntos* que determina cuales soluciones del conjunto de referencia sirven como base para la creación de nuevas soluciones.

5. Un *Método de combinación de soluciones* que genera nuevas soluciones a partir de los subconjuntos creados por el método de generación de subconjuntos.

El pseudocódigo general de SS se puede ver en el **Algoritmo 2.8**

Algoritmo 2.8: Pseudocódigo de Búsqueda en Dispersión

```

100 Metodo de Generacion y Diversificacion – Crea un conjunto de soluciones diversas  $P$  de
    tamano  $Psize$ 
101
102 Construir el  $RefSet$  con  $b$  mejores y diversas soluciones de  $P$ ,  $RefSet := \{S^1, \dots, S^b\}$ .
    Ordenarlas de manera creciente en base a su costo.
103
104  $S_{mejor} := S^1$ 
105  $NewSolutions := \mathbf{True}$ 
106 while ( $NewSolutions$ ) do
107      $NewSubset := GenerarSubconjuntos(RefSet)$ 
108      $NewSolutions := \mathbf{False}$ 
109     while ( $NewSubset \neq \emptyset$ ) do
110          $Ss := Seleccionar(NewSubset)$ 
111          $S := Combinar(Ss)$ 
112          $x := Mejorar(S)$ 
113         if ( $(x \notin RefSet) \wedge (Costo(x) < Costo(S^b))$ )
114              $S^b := x$ 
115             Ordenar( $RefSet$ )
116              $NewSolutions := \mathbf{True}$ 
117         end if
118         Eliminar( $Ss$ ,  $NewSubset$ )
119     end while
120 end while
121  $S_{mejor} := S^1$ 
122
123 return  $S_{mejor}$ 

```

2.3.9. Algoritmo Genético

El *algoritmo genético* (GA por sus siglas en inglés de *Genetic Algorithm*) es una metaheurística poblacional utilizada por primera vez por John Holland en el año 1975. El enfoque de GA representa una analogía biológica en donde se simula el proceso evolutivo de una *población* que refiere a un conjunto donde cada individuo representa una solución del problema.

Cada solución perteneciente a la *población* posee un valor asociado que recibe el nombre de *fitness*. Éste determina si una solución es considerada como buena o no y aquellas que tengan mayor *fitness* tendrán mayor oportunidad para aparearse y sobrevivir al paso del tiempo, lo cual permite que la población

evolucione y obtenga cada vez mejores soluciones. La población inicial es generada de manera aleatoria, luego el algoritmo posee tres procedimientos fundamentales:

1. *Selección*: Se encarga de elegir un subconjunto de la población, tal que las soluciones de mayor *fitness* o calidad tengan mayor oportunidad de reproducirse.
2. *Cruce*: Se encarga de simular la reproducción de dos soluciones dentro de la población, las cuales para el efecto del GA serán llamadas “padres”. El cruce da como resultado una o más soluciones que poseen características en común de ambos padres. Estas soluciones reciben el nombre de “hijos” para efectos del GA.
3. *Mutación*: realiza una leve modificación de las características de una solución. Este proceso se utiliza para diversificar una nueva población sin necesidad de depender exclusivamente del proceso de cruce.

El pseudocódigo general de GA se puede ver en el **Algoritmo 2.9**.

Algoritmo 2.9: Pseudocódigo de Algoritmo Genético

```

100 t := 0
101  $P_0$  := GenerarPoblacionInicial()
102 Evaluar( $P_t$ )
103 while ( $\neg$ criterio_parada) do
104     t := t+1
105      $P_t$  := Seleccionar( $P_{t-1}$ )
106     Cruzar( $P_t$ )
107     Mutar( $P_t$ )
108     Evaluar( $P_t$ )
109 end while
110  $S$  := SeleccionarMejor( $P_t$ )
111
112 return  $S$ 

```

Capítulo 3

Detalles de implementación

3.1. Consideraciones generales

3.1.1. Lenguaje de programación

El lenguaje de programación utilizado para la implementación de las seis metaheurísticas fue C++, compilado usando g++ en su versión 4.4.3.

3.1.2. Estructura de datos para la representación de una solución

Para representar una solución de VRPSPD se utilizó la estructura de datos propuesta por [LP10]. Esta estructura ocupa $O(K + N)$ de espacios de memoria y está conformada por los siguientes elementos:

- **Arreglo de inicio:** arreglo de tamaño K que contiene el primer cliente visitado por cada uno de los vehículos. Como los vehículos siempre parten del depósito en VRPSPD se asume que antes del primer cliente visitado se partió del depósito. Si es cero (0) es porque no existen más vehículos.
- **Arreglo del próximo cliente:** arreglo de tamaño N que contiene los clientes visitados por cada uno de los vehículos, exceptuando los almacenados en el arreglo anterior.

La **Figura 3.1** muestra una solución de VRPSPD y su representación utilizando la estructura de datos mencionada. Para construir la ruta recorrida por un vehículo se debe comenzar por obtener el primer cliente visitado de ese vehículo luego del depósito utilizando el *Arreglo de inicio* e iterativamente construir el resto de la ruta con la información en los campos correspondientes al *Arreglo del próximo cliente*, hasta encontrar el depósito (usualmente denotado como cliente 0).

Un esquema general de como obtener la construcción de las rutas a partir de esta estructura de datos puede verse en **Apéndice A, Algoritmo A.1**.

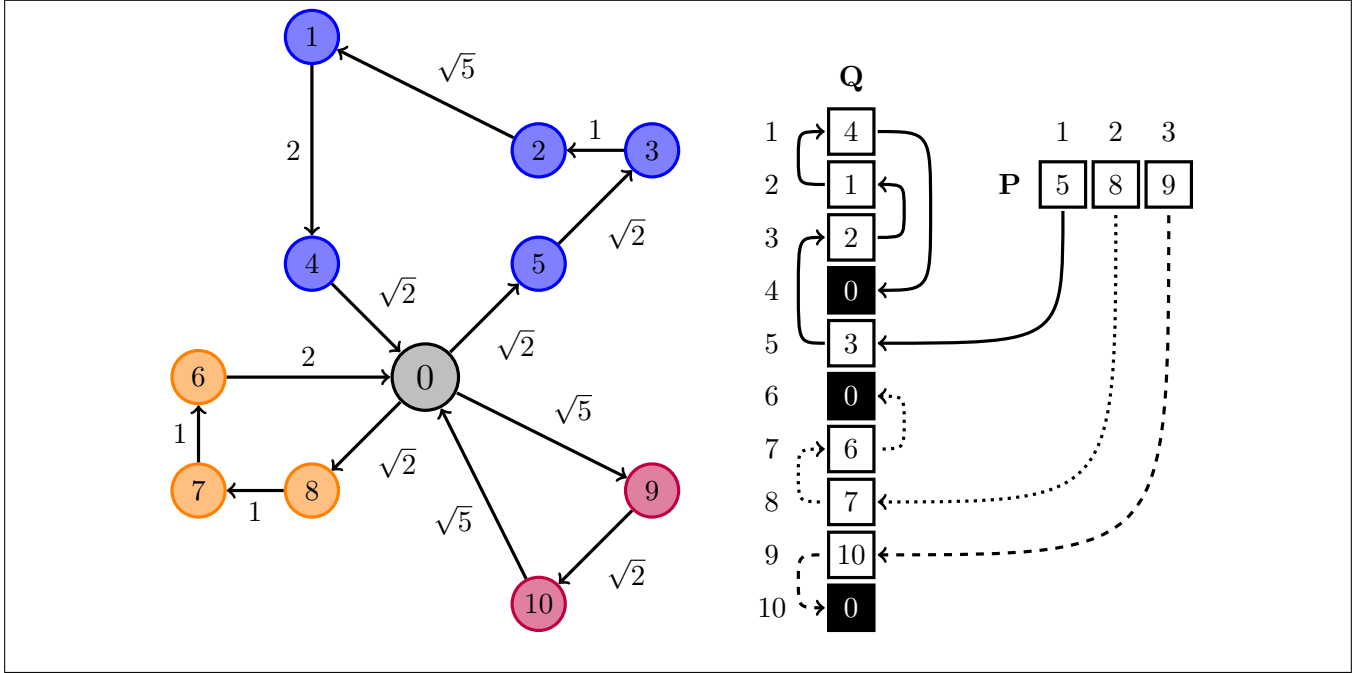


Figura 3.1: Representación de una Solución de VRPSPD. P es el arreglo de Inicio y Q es el arreglo del Próximo Cliente. Los nodos circulares representan los clientes.

3.1.3. Algoritmos de generación de soluciones iniciales

Las metaheurísticas de trayectoria y poblacionales necesitan de una solución inicial para poder realizar su trabajo. Los algoritmos utilizados para generar estas soluciones iniciales son los siguientes:

- **Algoritmo de inserción:** heurística de inserción basada en [CS04]. En un principio este algoritmo crea un número predeterminado r de rutas e inicializa una lista de candidatos LC. Luego inserta aleatoriamente un cliente $t \in LC$ en cada una de ellas. Más tarde realiza iterativamente la mejor inserción posible entre todos los clientes $t \in LC$, tal que su función de evaluación tenga valor mínimo. Este último proceso se repite hasta $LC = \emptyset$. La función de evaluación se encuentra expresada en la siguiente ecuación:

$$f(t, r) = (c_{it} + c_{tj} - c_{ij}) - \gamma(c_{0t} + c_{t0}) \quad (3.1)$$

La primera parte de la ecuación está relacionada con el muy conocido criterio de inserción factible de menor costo, el cual usa una estrategia ambiciosa que toma en cuenta el menor costo adicional de inserción del cliente t entre el cliente i y j en la ruta r . Sólo se toman en cuenta inserciones factibles. La segunda parte de la ecuación corresponde a un recargo utilizado para evitar que se inserten clientes que se encuentren ubicados remotamente del depósito. El costo de salir del depósito y regresar a él está condicionado por un factor $\gamma \in [0,1]$.

- **Algoritmo de generación aleatoria:** inserta los clientes en una posición y ruta aleatorias.
- **Algoritmo de vecino más cercano:** se comienza creando una ruta vacía. Posteriormente se inserta el cliente que minimice el costo. Luego se realiza la inserción factible del cliente adyacente que minimice el costo desde el cliente anterior a éste. Se repite el procedimiento anterior hasta que sea infactible agregar un nuevo cliente. En este escenario se reinicia completamente el procedimiento creando una nueva ruta vacía. Si no hay más clientes sin ser asignados a una ruta se finaliza el algoritmo.
- **Algoritmo de construcción basado en ahorro de costos:** heurística de construcción basada en el ahorro de costos propuesto por [Pae88]. Este algoritmo comienza creando una nueva ruta que contiene el depósito dos veces (origen y terminación de la ruta). Luego, el costo de insertar cada cliente (sin asignar) en cada posible posición factible es calculado. El costo de insertar el cliente k entre los vertices i y j es obtenido por la ecuación:

$$costo_{ijk} = c_{ik} + c_{kj} - gc_{ij} + f|c_{ik} - c_{kj}| \quad (3.2)$$

donde g y f son valores estocásticos tal que $g \in [0,3]$ y $f \in [0,1]$ según [Pae88], y dirigen la metodología de construcción a soluciones iniciales diversas.

Para cada cliente i , la inserción factible que minimice $costo$, denotada como $mcosto_i$ es identificada, y describe la inserción del cliente i en la posición denominada mp_i de la ruta mr_i . Sea mc el cliente con el menor valor de $mcosto_i$, para cada cliente j con $mr_j = mr_{mc}$ y $mp_j = mp_{mc}$, el costo de inserción $mcosto'_j$ es evaluado como $mcosto'_j = \lambda(c_{j0} + c_{0j}) - mcosto_j$, donde λ está uniformemente distribuida y $\lambda \in [0,1]$ mientras que c_{j0} y c_{0j} denotan el costo de transición desde j al depósito y desde el depósito a j respectivamente. Sea ins el cliente para el cual $mcosto'_j$ es mínimo, entonces el cliente ins es asignado a la ruta mr_{ins} , en la posición mp_{ins} . Este procedimiento se repite iterativamente hasta que cada cliente sea asignado a alguna ruta. Si todas las inserciones son infactibles, se crea una ruta nueva disponible para insertar otros clientes.

- **Algoritmo ambicioso de construcción aleatoria:** El procedimiento comienza abriendo la primera ruta ($k = 1$) y después crea una lista de candidatos con el valor de la función greedy de todos los clientes en el problema. El costo de cada camino es evaluado con una función que mide el incremento de la distancia recorrida al agregar un nuevo cliente. Nuevas rutas son creadas cuando la ruta llega al límite de la capacidad permitida. Sea i el índice del último cliente visitado por el vehículo k en la solución parcial actual. Además, sea j el cliente candidato para ser agregado a la ruta, inmediatamente luego del cliente i . Luego el valor de la función greedy para el cliente asociado j se da por la siguiente fórmula:

$$c_{ij} = d_{ij} + d_{j0} \quad (3.3)$$

Donde d_{ij} es la distancia entre el cliente i y el cliente j y d_{j0} denota el la distancia entre el cliente j y el depósito. El procedimiento solo considera como candidatos aquellos clientes que no hayan sido visitados hasta el momento y que no incumplan con la restricción de capacidad. Sea i el último cliente visitado en la ruta actual y j un cliente candidato, se obtiene de la lista de candidatos el $c_{i,j}$, c_{min} y el c_{max} , para luego tomar aleatoriamente alguno de ellos que cumpla con la siguiente ecuación:

$$c_{i,j} \leq c_{min} + \alpha(c_{min} + c_{max}) \quad (3.4)$$

Si ninguno de los clientes restantes es parte de la lista de candidatos, entonces se comienza una ruta nueva incrementando en uno el valor de k .

3.2. Heurísticas y metaheurísticas

En esta sección se presentan las heurísticas y metaheurísticas que fueron utilizadas en las metaheurísticas implementadas como métodos de mejoramiento e hibridación.

3.2.1. Búsqueda local

Se implementó búsqueda local con estrategia *mejor-mejor*, es decir, se busca la mejor solución posible que pertenezca a la vecindad.

Operadores de vecindad utilizados

La mayor parte de los operadores implementados provienen de [CW05], excepto *reverse* e *interchange* que fueron utilizados en [NS05] y [ZTK09] respectivamente. Es importante destacar que todos los operadores de vecindad solo realizan cambios factibles dentro de una solución. Los operadores se aplican de dos formas: *intra-ruta* e *inter-ruta*. Un operador *intra-ruta* realiza cambios de clientes dentro de una ruta. Mientras que un operador *inter-ruta* realiza cambios de clientes entre rutas distintas.

A continuación se presenta una lista de los operadores generadores de vecindades implementados, de los cuales los *inter-ruta* se representan en la **Figura 3.2** y los *intra-ruta* en la **Figura 3.3**:

Operadores intra-ruta:

- **Swap:** intercambia la posición del cliente n_i con la posición de otro cliente n_j .

- **Or-opt:** toma el cliente localizado en la posición p_i y lo inserta en la posición p_j . Este operador fue implementado para realizar la relocalización de uno, dos o tres clientes adyacentes.
- **2-opt:** elimina dos arcos y crea dos arcos distintos entre los clientes que quedan sin arcos invirtiendo el orden del camino entre los arcos generados.
- **Reverse:** invierte la dirección de la ruta en caso de que este cambio reduzca la máxima carga de la ruta correspondiente.

Operadores inter-ruta:

- **Swap:** intercambia la posición del cliente n_i en la ruta r_k con la posición de otro cliente n_j en la ruta r_l .
- **Shift:** toma el cliente localizado en la posición p_i de la ruta r_k y lo inserta en la posición p_j de la ruta r_l . Este operador fue implementado para realizar la relocalización de uno o dos clientes contiguos.
- **Crossover:** divide las rutas r_i y r_j en dos partes: inicial y final. Luego conecta la parte inicial de la ruta r_i con la parte final de la ruta r_j , así como la parte inicial de la ruta r_j es enlazada con la parte inicial de la ruta r_i .
- **Interchange:** divide las rutas r_i y r_j en dos partes: inicial y final. Luego conecta la parte inicial de la ruta r_i con la parte inicial de la ruta r_j , así como la parte final de la ruta r_j es enlazada con la parte final de la ruta r_i invirtiendo el camino generado.

3.2.2. Búsqueda descendente en vecindades variables (VND)

El algoritmo de búsqueda descendente en vecindades variables propuesto en [HM97] se encarga de cambiar sistemáticamente la vecindad actual de manera determinística.

El algoritmo propuesto utiliza un conjunto de once operadores de vecindad. Sólo se admiten modificaciones factibles, es decir, aquellas que no violen la condición de carga permitida en un vehículo. De los operadores utilizados seis hacen modificaciones inter-ruta y el resto intra-ruta.

A continuación se muestran los operadores inter-ruta utilizados. Los operadores se utilizan dentro del algoritmo en el mismo orden en el que están descritos:

- **Shift(1,0):** Relocaliza un cliente de una ruta r_i a una ruta r_j .
- **Crossover:** Descrito anteriormente en **Sección 3.2.1**.
- **Swap(1,1):** Permuta dos clientes de dos rutas distintas.
- **Shift(2,0):** Relocaliza dos clientes consecutivos de una ruta r_i a una ruta r_j .

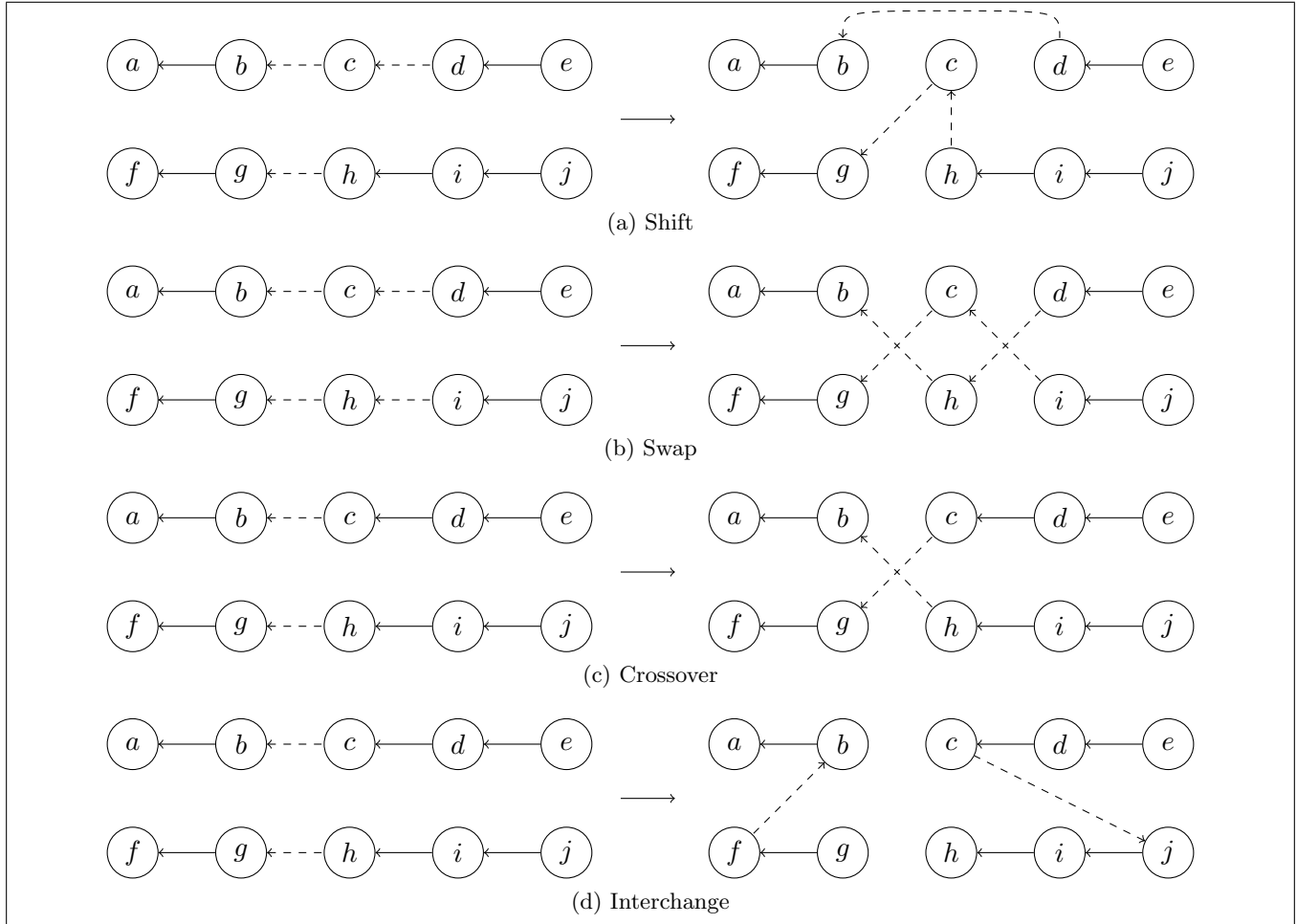


Figura 3.2: Operadores inter-ruta de generación de vecindades.

- **Swap(2,1):** Permuta dos clientes consecutivos de una ruta con un cliente de otra ruta.
- **Swap(2,2):** Permuta dos clientes consecutivos de una ruta con dos clientes consecutivos de otra ruta.

En caso de mejorar la solución actual, se utilizan operadores capaces de mejorar la calidad de las rutas modificadas que contribuyeron a reducir el costo de la solución. Para ello se utilizan los siguientes operadores intra-ruta descritos anteriormente en **Sección 3.2.1**:

- **Or-opt:** Selecciona aleatoriamente alguno de los siguientes operadores: Or-opt(1), Or-opt(2) ó Or-opt(3).
- **Or-opt(1):** Relocaliza un cliente en su misma ruta.
- **Or-opt(2):** Relocaliza dos clientes consecutivos en su misma ruta.

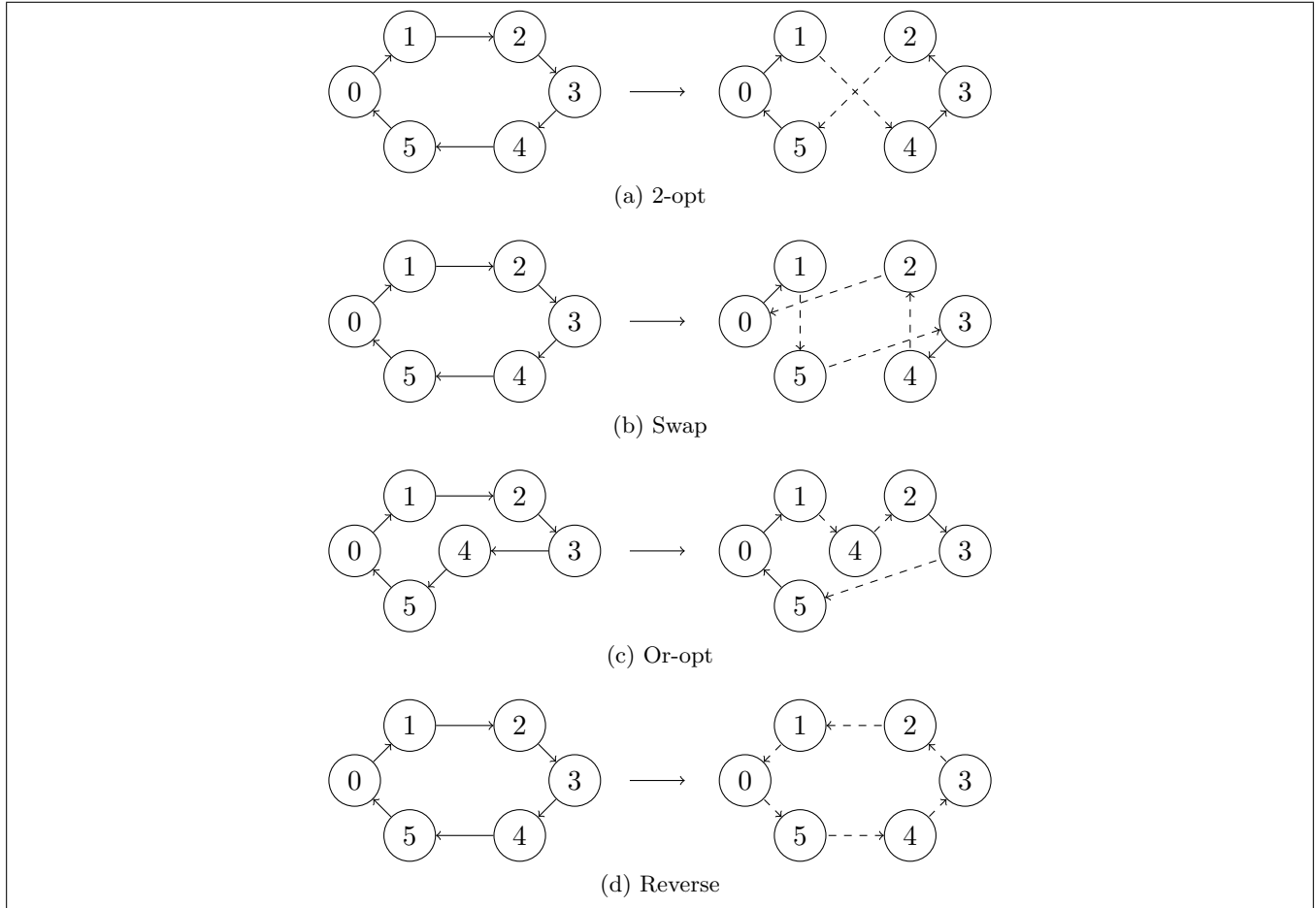


Figura 3.3: Operadores intra-ruta de generación de vecindades.

- **Or-opt(3):** Relocaliza tres clientes consecutivos en su misma ruta.
- **2-opt:** Descrito anteriormente en **Sección 3.2.1**.
- **Reverse:** Descrito anteriormente en **Sección 3.2.1**.
- **Swap:** Permuta dos clientes de una misma ruta.

El pseudocódigo general de VND se puede ver en el **Apéndice A, Algoritmo A.2**.

3.2.3. Mecanismos de Perturbación

Con el propósito de cambiar una solución se utiliza una perturbación. Es importante destacar que todas las perturbaciones realizan cambios factibles dentro de las soluciones. Los operadores implementados fueron los siguientes:

- **Ejection Chain:** Aplicado en [RR96] para una versión clásica de VRP, funciona de la siguiente manera. Un cliente de una ruta r_i se transfiere a una ruta r_j . Un cliente de la ruta r_j se transfiere a la ruta r_k y así sucesivamente. El movimiento termina cuando un cliente de la última ruta transfiere a un cliente a la primera ruta. Los clientes son escogidos aleatoriamente.
- **Double-Swap:** Realiza dos operaciones secuenciales y factibles de Swap con dos clientes seleccionados aleatoriamente.
- **Double-Bridge:** Introducido en [MOF91], esta perturbación fue desarrollada originalmente para TSP¹. Consiste en eliminar cuatro arcos de una ruta y agregar cuatro nuevos. Se aplica aleatoriamente en solo algunas de las rutas.

3.3. Metaheurísticas híbridas

En esta sección se presentan los detalles de implementación de las seis metaheurísticas híbridas implementadas en este trabajo.

3.3.1. Búsqueda Local Iterada con Vecindades Variables Modificada (ILS-VND-M)

El algoritmo búsqueda local iterada con vecindades variables (ILS-VND por sus siglas en inglés de *Iterated Local Search with Variable Neighborhood Descent*) basado en [SOdAFC08] trabaja de la siguiente manera. Tiene un procedimiento principal, el cual se ejecuta un número máximo de iteraciones n , en donde la solución inicial es generada por una heurística greedy. La misma usa como parámetros un factor γ para su función de costo y un entero k que determina la cantidad de rutas de la solución.

La solución es mejorada por un procedimiento basado en la metaheurística ILS, el cual consta de dos partes principales, un método de mejoramiento y una perturbación de la solución. Este procedimiento consta de un criterio de parada en el cual no pueden transcurrir LS iteraciones sin que se encuentre una mejor solución que la encontrada hasta el momento dentro del procedimiento. De encontrar una mejor solución el iterador de criterio de parada se reinicia. Al salir de este procedimiento se compara la mejor solución obtenida con la mejor solución encontrada en iteraciones anteriores del procedimiento principal.

La solución inicial se basa en el algoritmo de inserción descrito en la **Sección 3.1.3**. El método de mejoramiento es realizado por la metaheurística VND descrita en la **Sección 3.2.2**. Por último, para la perturbación se proponen tres mecanismos distintos, *Ejection Chain*, *Double Swap* y *Double Bridge* respectivamente. Cada vez que se invoque a la función de perturbación se escoge alguno de ellos aleatoriamente. Cada uno de estos mecanismos se encuentran descritos en la **Sección 3.2.3**.

El pseudocódigo general de ILS-VND-M se puede ver en el **Apéndice A, Algoritmo A.3**.

¹TSP: Traveling Salesman Problem

Variantes de Implementación

El algoritmo ILS-VND-M no presenta diferencias con respecto a la implementación propuesta en [SOdAFC08].

Parámetros

Las siguientes variables se establecieron como parámetros de ILS-VND-M por la influencia que pueden causar en los resultados finales:

Tabla 3.1: Parámetros de ILS-VND-M

n	Número de iteraciones máximas en el procedimiento principal.
LS	Número de iteraciones máximas sin mejoras dentro de la sección del método de mejoramiento y perturbación de la solución.
y	Factor que influye en la función de costo del algoritmo de inserción para la solución inicial.

3.3.2. Búsqueda Tabú Guiada Modificada (GTS-M)

La búsqueda tabú guiada (GTS por sus siglas en inglés de *Guided Tabu Search*) es una fusión o hibridación de dos metaheurísticas bien conocidas como lo son *Búsqueda Tabú (TS)* y *Búsqueda Local Guiada (GLS)*, implementada basándose en [ZTK09]. Estas dos metaheurísticas han probado ser efectivas para resolver VRP y sus variantes según [GHL94], [NB00], [ZC05], [MB07], [TZK07].

La solución inicial para GTS-M se obtiene del algoritmo de construcción basado en ahorro de costos, ver **Sección 3.1.3**.

Una vez creada la solución inicial, ésta es mejorada utilizando la hibridación TS-GLS. En orden de explorar el espacio de soluciones, la solución es modificada subsecuentemente como todo método de búsqueda local. Para esto cuatro tipos de movimientos intra-ruta e inter-ruta son utilizados mediante el uso de siete operadores. Adicionalmente, una búsqueda descendiente en vecindades variables es realizada según lo especificado previamente en la **Sección 3.2.2**.

Los movimientos a ejecutar son los siguientes:

- **Movimiento exchange.** Operadores: Swap de dos clientes intra-ruta, Swap de dos clientes inter-ruta.
- **Movimiento relocate.** Operadores: Or-opt intra-ruta de un cliente, Shift inter-ruta de un cliente.
- **Movimiento interchange 1.** Operadores: 2-opt intra-ruta, Crossover inter-ruta.

■ **Movimiento interchange 2.** Operador: Interchange inter-ruta.

Para limitar el tiempo de cómputo tomado por los movimientos mencionados, un esquema de reducción de vecindad es aplicado. Para cada cliente i se define como avg_i el costo promedio de todos los arcos adyacentes a i , y se define la vecindad NV_i como todos los clientes adyacentes a i cuyo costo sea menor a avg_i . De esta manera, se permite la creación de un nuevo arco desde j a k sólo si $k \in NV_j$.

Desarrollo de la metaheurística

Se genera la solución inicial mediante el algoritmo de construcción. En cada iteración de GTS-M se selecciona uno de los cuatro movimientos mencionados de manera probabilística. Realizando pruebas empíricas se determinó que los movimientos *exchange* y *relocate* consumen poco tiempo computacional y consiguen reducir más el valor de la función objetivo en comparación con los movimientos *interchange 1* e *interchange 2*. Sin embargo se determinó que estas últimas influyen más en la exploración, ya que diversifican de gran manera las soluciones, haciéndolas imprescindibles. Por lo tanto se decidió establecer una probabilidad de selección de $\frac{1}{3}$ para *exchange* y *relocate*, mientras que a *interchange 1* e *interchange 2* se le otorgó una probabilidad de $\frac{1}{6}$.

El movimiento escogido se efectúa, se realiza primeramente el operador intra-ruta especificado para realizar el mejor cambio posible dentro de una ruta entre cada una de las rutas, para luego realizar el operador inter-ruta, de manera de realizar el mejor cambio posible entre rutas. Si no se encuentra ninguna solución que mejore la solución actual, se procede a realizar VND. Mediante TS, la nueva solución es escogida sólo si no se encuentra en la lista tabú o ha superado el criterio de aspiración (que la solución sea la mejor encontrada hasta el momento). Seguidamente todos los movimientos reversos (aquellos movimientos que lleven a la solución actual) son incluidos en la *lista tabú* por *tabu* iteraciones. La lista tabú se implementó como una lista circular doblemente enlazada de tamaño *tabú*, utilizada como cola. De esta manera se simplifica la adición o sustracción de nuevos movimientos en la lista tabú realizándolos en tiempo constante.

El procedimiento anterior es continuamente coordinado por GLS penalizando el arco $i - j$ perteneciente a la solución actual que maximice la siguiente función de utilidad:

$$U(i, j) = \frac{c_{ij}/avg_{ij}}{1 + p_{ij}} \quad (3.5)$$

Donde p_{ij} es el número de veces que el arco $i - j$ ha sido penalizado, avg_{ij} representa el costo medio de los arcos adyacentes a i y los adyacentes a j y c_{ij} representa el costo entre los clientes i y j .

Finalmente, GTS-M termina luego que cumplir *mni* iteraciones sin lograr ninguna mejoría a la solución actual.

El pseudocódigo general de GTS-M se puede ver en el **Apéndice A, Algoritmo A.4**.

Variantes de Implementación

El GTS-M implementado tiene varias diferencias con respecto al propuesto por [ZTK09]. Al momento de seleccionar un movimiento, éste se selecciona de manera probabilística beneficiando a aquellos que consumen menos tiempo de cómputo, mientras que en el trabajo referenciado se selecciona de manera indefinida. Además, GTS-M al momento de realizar el movimiento ya seleccionado, aplica VND si el movimiento no mejora la solución actual, mientras que en el trabajo referenciado se crea una nueva iteración.

Parámetros

Las variables en la **Tabla 3.2** se establecieron como parámetros de GTS-M por la influencia que pueden causar en los resultados finales.

Tabla 3.2: Parámetros de GTS-M

mni	Número de iteraciones máximas sin mejoras
lambda1	Valor utilizado en el algoritmo de construcción de la solución inicial que controla la importancia relativa entre insertar un cliente en una nueva ruta o no. Siendo los valores cercanos a 0 una alta probabilidad de insertar el cliente en la ruta escogida, y los valores cercanos a 1 una baja probabilidad de insertarla
lambda2	Valor utilizado en GLS que controla la interacción entre exploración del espacio de soluciones y explotación de la solución actual. Siendo los valores cercanos a 0 una inclinación por la explotación de la solución actual, y los valores cercanos a 1 una inclinación por la exploración del espacio de soluciones
tabu	Tamaño de la lista tabú o número de iteraciones que un movimiento es declarado tabú

3.3.3. Sistema de Hormigas Modificado (AS-M)

Sistema de hormigas (AS por sus siglas en inglés de *Ant System*) es una metaheurística de tipo ACO que busca minimizar el costo de las soluciones fundamentándose en el intercambio de información de poblaciones realizando reforzamiento de feromonas. Fue implementada basándose en [Ça10].

La metaheurística AS-M genera una solución inicial factible mediante el algoritmo de vecino más cercano (ver **Sección 3.1.3**) para dirigir a las hormigas en la construcción de las soluciones. En los

arcos de esta solución se deposita una cantidad inicial fija de feromonas. Una vez hecho esto se ubican l hormigas, donde l es el número de clientes del problema VRPSD. Cada hormiga construye su propia solución independientemente, basándose en la atractividad de los clientes, depositando feromonas en todos los arcos por los que se desplaza. Luego de que todas las hormigas crean sus soluciones, se aplica VND a cada solución con el propósito de mejorarlas y se guarda la mejor solución encontrada. El procedimiento anterior es repetido n iteraciones y la mejor solución encontrada se reporta.

Desarrollo de la metaheurística

Se crea la solución inicial y se deposita una cantidad inicial τ_0 de feromonas en cada arco perteneciente a la solución. Se ha observado en la literatura [DG91] que $\tau_0 = 1/lL_0$ impulsa a la metaheurística a construir posteriormente buenas soluciones. l es el número de clientes del problema y L_0 es el costo de la solución inicial. Posteriormente, la visibilidad η_{ij} , entre cada par de clientes es calculada basándose en la siguiente ecuación:

$$\eta_{ij} = \frac{c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}}{c_{ij}} \quad (3.6)$$

De esta manera se beneficia el hecho de que dos clientes cercanos, y a su vez lejanos del depósito, estén en la misma ruta y no en rutas distintas.

La iteración se inicia colocando una hormiga en cada uno de los clientes. Cada una construye su propia solución basándose en la atractividad de los próximos clientes. Se crea una nueva ruta vacía y se coloca el depósito como el primer cliente visitado, seguido por el cliente de la posición de la hormiga. Para cada hormiga k , se crea, a medida que la hormiga construye su solución, una vecindad N_i^k de cada cliente i que contiene los clientes no visitados por la hormiga k que no violan las restricciones del problema. Si N_i^k se encuentra vacío, la hormiga regresa al depósito finalizando esa ruta y comenzando otra desde el depósito. El procedimiento anterior se repite hasta que todos los clientes sean visitados y cada una de las hormigas finalice la construcción de sus soluciones.

La selección del próximo cliente a visitar está basada en el valor de atractividad entre el cliente actual y los clientes en su vecindad. La atractividad entre el cliente i y el j está definida como $\phi_{ij} = (\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta$. Donde τ_{ij} es la cantidad de feromonas en el arco i - j , α y β son parámetros positivos para controlar la importancia relativa entre el peso de las feromonas y el peso de la información heurística de la visibilidad en la atractividad.

La hormiga k localizada en el cliente i puede visitar su cliente más favorable o seleccionar uno probabilísticamente, dependiendo de la siguiente regla:

$$p_i^k = \begin{cases} j \mid \text{Max}\{\phi_{ij}\} & \text{si } q_r \leq q \\ j' & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (3.7)$$

donde q es un parámetro que controla la importancia relativa entre la exploración y la explotación, y q_r es una variable aleatoria distribuida uniformemente tal que $q_r \in [0, 1]$. En el caso en que la hormiga no se dirija hacia el cliente más atractivo, probabilísticamente se selecciona otro cliente basándose en su atraktividad, utilizando la siguiente distribución de probabilidad:

$$j' = \begin{cases} j \mid \frac{\phi_{ij}}{\sum_{l \in N_l^k} \phi_{il}} & \text{si } j \in N_l^k \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (3.8)$$

Luego de que una hormiga construya sus rutas, se aplica VND a la solución con el fin de mejorarla.

Posteriormente de que todas las hormigas construyan sus soluciones, se realiza la evaporación de las feromonas y el reforzamiento de caminos con nuevas feromonas, ordenando todas las hormigas ascendentemente, según la calidad de su solución encontrada (según el costo total). De esta manera, si un arco i - j es utilizado por r -mejor hormiga, las feromonas en ese arco son incrementadas en:

$$\Delta\tau_{ij}^r = \frac{(\lambda - r + 1)}{L_r} \quad (3.9)$$

donde L_r es el costo de la solución construida por la r -mejor hormiga y λ es el número de hormigas. Por lo tanto la actualización de feromonas se realiza de la siguiente manera:

$$\tau_{ij}^r = (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{r=1}^{\lambda} \Delta\tau_{ij}^r \quad (3.10)$$

donde ρ representa la rapidez de evaporación de feromonas. Finalmente, se registra la mejor solución obtenida hasta el momento y se finaliza la iteración.

El pseudocódigo general de AS-M se puede ver en el **Apéndice A, Algoritmo A.5**.

Variantes de Implementación

AS-M se diferencia de [Ça10] en que la mejora de la solución se realiza utilizando VND en lugar de búsqueda local.

Parámetros

Las variables en la **Tabla 3.3** se establecieron como parámetros de AS-M por la influencia que pueden causar en los resultados finales.

Tabla 3.3: Parámetros de AS-M

n	Número de iteraciones
alpha	Variable que define la importancia de la feromona en la atractividad de un cliente
beta	Variable que define la importancia de la visibilidad en la atractividad de un cliente
q	Variable que define la importancia relativa entre exploración y explotación de la metaheurística
ro	Rapidez de evaporación de las feromonas

3.3.4. Búsqueda en Dispersión Modificada (SS-M)

La búsqueda en dispersión (SS por sus siglas en inglés de *Scatter Search*) está basado en [MLGS10] y funciona de la siguiente manera. Comienza al crear un pool de soluciones diversas con el método de diversificación y actualizar el Refset.

Luego realiza un proceso iterativo donde se escoge subconjuntos de soluciones pertenecientes al Refset y aplica con estos el método de combinación. Todas las soluciones derivadas de este método son sujetas al método de mejoramiento y luego son utilizadas para actualizar el Refset. Este proceso iterativo se mantiene hasta que en alguna iteración ninguna nueva solución sea admitida en el Refset. Finalmente, se aplica el VND descrito en la **sección 3.2.2**, a cada una de las soluciones que le pertenecen al Refset y se selecciona la mejor.

Las soluciones del Refset no son cambiadas hasta que todas las combinaciones son realizadas.

Sea P un conjunto de soluciones diversas creado por el método de diversificación y $Psize$ el tamaño de la población P . $Refset$ es el conjunto de referencia y su tamaño es b . El conjunto de referencia contiene dos subconjuntos, uno con b_1 soluciones de calidad $Refset_1$ y otro con b_2 soluciones diversas $Refset_2$, por lo tanto $b = b_1 + b_2$. Las soluciones dentro del conjunto de referencia son representadas por $Refset^j$, para $j = 1, \dots, b$. $NewSubset$ es el subconjunto de soluciones escogidas del $Refset$ y el $Pool$ el conjunto de soluciones generadas por el método de combinación.

A continuación se describen cada uno de los métodos de mayor importancia dentro de la metaheurística.

Método de Generación Diversificada

Se generan $Psize$ soluciones a través de un algoritmo ambicioso de construcción aleatoria descrito en la **sección 3.1.3**.

Método de Mejoramiento

Se utilizan vecindades variables como algoritmo de mejoramiento para las rutas. Entre los operadores inter-ruta utilizados se encuentran, Shift(1,0), Crossover, Swap(1,1). Entre los operadores intra-ruta utilizados se encuentran Or-opt(1), Swap(1,1) y 2-opt. Todos descritos anteriormente en **Sección 3.2.2**.

Método de Actualización del Refset

Se escogen de las $Psize$ soluciones del conjunto P las b_1 soluciones que tengan el mejor costo. Éstas se añaden al *Refset* y son eliminadas de P .

Luego adicionalmente se escogen b_2 soluciones de mayor diversidad y son añadidas al *Refset*. Para medir la diversidad, la distancia entre dos soluciones, s_1 y s_2 , debe de ser calculada. Para realizar esto, se crea una matriz cuadrada llamada ClientCount de tamaño $r * r$, donde r es el máximo número de rutas entre s_1 y s_2 . A continuación se procede a llenar la matriz de tal manera que contenga el número de clientes comunes en la ruta i de la solución s_1 y la ruta j de la solución s_2 . Una vez realizado esto se busca el mayor elemento de la matriz y se suma con el acumulado hasta el momento, para luego borrar la fila y la columna correspondiente a la posición del elemento, este proceso se repite hasta que la matriz no pueda seguir siendo reducida. Por último se resta este valor al número total de clientes, este cálculo da como resultado la distancia entre dos soluciones.

Para ilustrar esto considere las siguientes soluciones:

s_1 : (3,7)(4,5,8,6)(10,2,9,1) s_2 : (7,9,6,8,5)(1,2,3,4,10)

El valor de r es 3 y la matriz ClientCount resultante tiene la siguiente forma:

	s_{21}	s_{22}	s_{23}
s_{11}	1	1	0
s_{12}	3	1	0
s_{13}	1	3	0

Luego de seleccionar los elementos (s_{13}, s_{22}) y (s_{12}, s_{21}) y eliminar en cualquier orden sus columnas y filas correspondientes queda solamente el elemento (s_{11}, s_{23}) . El resultado de la suma de los mayores elementos es 6, lo cual daría como resultado de la distancia lo siguiente:

$$\#ClientesTotal - \#Acumulado = distancia \quad (3.11)$$

es decir:

$$10 - 6 = 4$$

El método calcula la distancia entre una solución de P y todas las que se encuentren en $Refset$, aquella que tenga la mayor distancia acumulada es eliminada de P y agregada en $Refset$. Este proceso se repite hasta que se seleccionen b_2 soluciones para que el $Refset$ tenga b soluciones, b_1 escogidas por calidad y b_2 por diversidad.

Método de Combinación

El método de combinación opera en un par de soluciones que son tomadas del $Refset$ con la lista de soluciones generadas por el método de generación de subconjuntos. La lista de pares de soluciones es tal, que al menos una de ellas es considerada una solución nueva, es decir, fue admitida en el $Refset$ durante la última iteración. El método comienza por comparar un par de rutas entre dos soluciones, luego extrae los clientes semejantes, dejando así una nueva solución parcial.

Para crear una solución completa, se insertan los clientes que aun no han sido asignados en las existentes rutas parciales. La inserción es ambiciosa, tratando de disminuir la distancia incremental de añadir un cliente no asignado a la ruta existente. Si el cliente no puede ser asignado a ninguna de las rutas, se crea una ruta nueva en donde será colocado.

En la **figura 3.4** se puede observar el funcionamiento del mismo. El grafo **(a)** y el grafo **(b)** representan las soluciones que serán combinadas. El grafo **(c)** muestra la solución incompleta resultante de obtener los clientes comunes entre ambas soluciones. Por último el grafo **(d)** representa la solución final resultante de la inserción de los clientes restantes.

El pseudocódigo general de SS-M se puede ver en el **Apéndice A, Algoritmo A.6**.

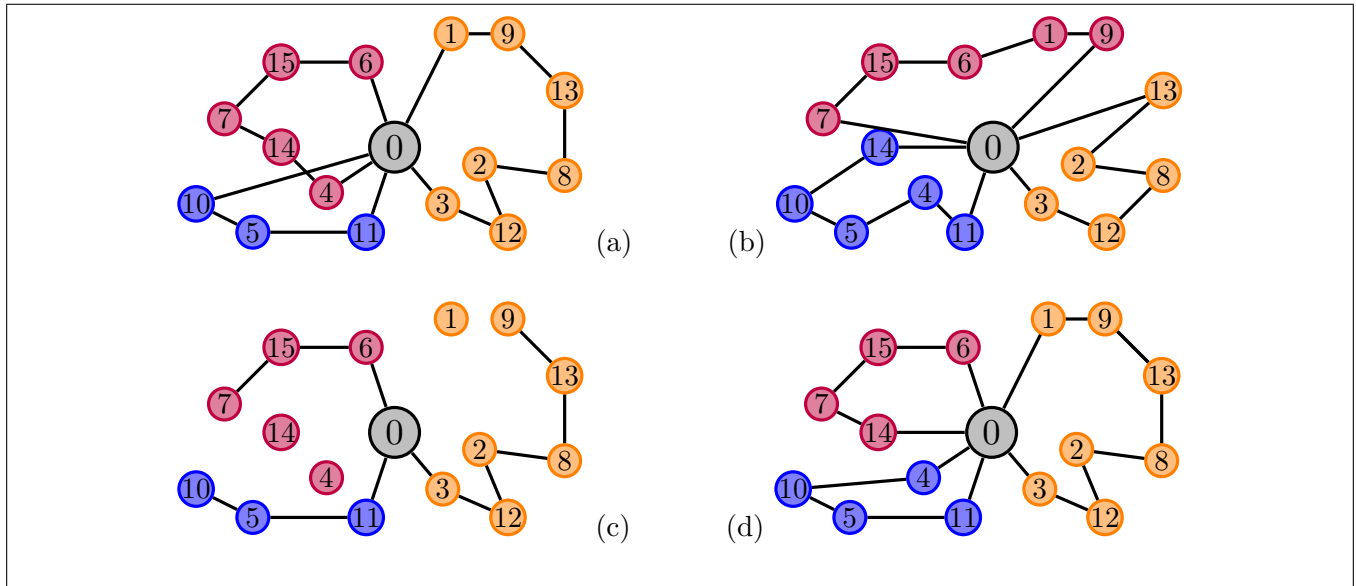


Figura 3.4: Ilustración del método de combinación

Variantes de Implementación

El SS-M implementado tiene una diferencia con el planteado en el artículo base [MLGS10] en el método de combinación. En [MLGS10] se realiza la mejor inserción posible de un solo cliente escogido arbitrariamente, mientras que el mecanismo de inserción utilizado en SS-M se escoge entre todos los clientes no asignados aquel cliente que dé el menor costo añadido a la solución parcial.

Parámetros

Las siguientes variables se establecieron como parámetros de SS-M por la influencia que pueden causar en los resultados finales:

Tabla 3.4: Parámetros de SS-M

n	Tamaño del <i>Pool</i> .
b	Tamaño del Refset.
y	Variable que define la función de costo del método de diversificación.

3.3.5. Algoritmo Genético Modificado (GA-M)

El algoritmo genético (GA por sus siglas en inglés de *Genetic Algorithm*) basado en [EC] empieza por obtener una población inicial, es decir, la primera generación. Se asume que la población inicial contiene una cantidad p de individuos, donde p es un entero.

Luego de calcular el valor del fitness² para cada uno de los individuos de la población inicial, comienza el proceso de selección de dos individuos aleatoriamente, este proceso se repite $p/2$ veces. El criterio de cruce consiste en tomar un entero aleatorio y compararlo con $cprob$, si este resulta ser menor que $cprob$ entonces se procede a aplicar el operador de cruce para producir dos nuevos hijos, de lo contrario continua el proceso de selección de los padres. Subsecuentemente se procede con el proceso de mutación de estos nuevos individuos si cumplen con el criterio, el cual consiste en tomar un entero aleatorio y compararlo con $mprob$, si este resulta ser menor que $mprob$ entonces se procede a aplicar la mutación. Finalmente se calcula para cada hijo su valor de fitness. Para obtener la nueva generación se mantiene el criterio de "steady-state". Luego de alcanzar el número máximo de iteraciones denotado como n el algoritmo pasa la solución a un proceso de mejoramiento logrado con la metaheurística VND descrita en la **Sección 3.2.2**, a cada una de las soluciones de la población y selecciona la mejor.

Solución Inicial y Fitness

La solución inicial es obtenida con el algoritmo ambicioso de construcción aleatoria descrito en la **sección 3.1.3**, este proceso se realiza hasta que el número de soluciones alcance p .

k_{max} es la cantidad máxima de rutas permitidas en una solución, r es la cantidad de rutas de la solución correspondiente y D es la distancia total recorrida por los vehículos la solución correspondiente.

Sea m un entero, si $r > k_{max}$, entonces $m > 0$ y $D = D + M * m$, donde M es un entero muy grande; si $r < k_{max}$ entonces $m = 0$. La función de fitness puede ser expresada de la siguiente forma:

$$f = \frac{1}{(D + M * m)} \quad (3.12)$$

Selección

La escogencia de los padres a cruzar se realiza aleatoriamente. Este método se utiliza para mantener la diversidad dentro de la población.

²Ver **Sección 2.3.9**

El Operador de Cruce (Crossover)

Para el cruce de las soluciones se implementó el operador novel order crossover (NOX). El operador NOX es útil para realizar la diversificación de una población, ya que a pesar de que ambos padres sean iguales se generan dos hijos distintos. Para generar un nuevo hijo primero se crea un intervalo formado por dos puntos aleatorios de la solución perteneciente a uno de los padres y se colocan todos los clientes de este intervalo como los primeros clientes del hijo, luego se añaden los clientes restantes en el orden en que se encuentran en el otro padre. Para generar el segundo hijo se aplica el mismo procedimiento intercambiando el rol de los padres.

Operadores de Mutación

El objetivo de la mutación es modificar levemente una solución actual. Los utilizados en este trabajo son el operador de swap y el operador inverso. Cada vez que se realiza la llamada a la función de mutación ambos operadores se realizan secuencialmente.

- **Swap:** Selecciona dos clientes de la solución aleatoriamente y los intercambia si el resultado es una solución factible, de lo contrario busca otros dos clientes.
- **Operador Inverso:** Halla dos puntos de corte aleatorios en la solución y luego invierte la sección entre las dos posiciones.

Mecanismo de Reemplazo

El algoritmo desarrollado utiliza el enfoque *steady-state*, el cual consiste en reemplazar a los individuos de peor fitness de una población a medida que hijos de mejor fitness se producen. El tamaño de la población se mantiene constante.

El pseudocódigo general de GA-M se puede ver en el **Apéndice A, Algoritmo A.7**.

Variantes de Implementación

El GA-M implementado presenta diferencias con respecto a la implementación propuesta en [EC]. El mecanismo que genera soluciones utilizado en [EC] se realiza con el algoritmo de generación aleatoria, mientras que GA-M utiliza el algoritmo ambicioso de construcción aleatoria. Por otra parte, el sistema de selección propuesto en [EC] es el de torneo, el cual consiste en realizar la selección en base a comparaciones directas entre soluciones, mientras que el utilizado en GA-M es aleatorio.

Parámetros

Las siguientes variables se establecieron como parámetros de GA-M por la influencia que pueden causar en los resultados finales:

Tabla 3.5: Parámetros de GA-M

n	Número de iteraciones.
p	Tamaño de la población.
cprob	Porcentage de cruce.
mprob	Porcentage de mutación.

3.3.6. Optimización por Enjambre de Partículas Modificado (PSO-M)

La optimización por enjambre de partículas (PSO por sus siglas en inglés de *Particle Swarm Optimization*) es una metaheurística que busca minimizar el costo total de las soluciones fundamentándose en el estructuramiento social. Fue implementada basándose en [Kac09].

Esta metaheurística establece un enjambre de partículas, las cuales individualmente funcionan como agentes de búsqueda, y son influenciadas por el conocimiento colectivo. Cada partícula tiene dos vectores asociados: su posición y su velocidad. La posición de la partícula representa una solución no necesariamente factible de VRPSPD, mientras que la velocidad representa la habilidad de esa partícula para desplazarse hacia diversas posiciones, logrando así explorar el espacio de soluciones. PSO-M crea un enjambre o conjunto de partículas en posiciones aleatorias utilizando el algoritmo de generación aleatoria, ver **Sección 3.1.3**.

En cada iteración de PSO-M, las partículas se mueven de posición mediante su velocidad evaluando distintas soluciones al problema. La velocidad de cada partícula es alterada basado en tres términos: inercia, aprendizaje cognitivo y aprendizaje social. El aprendizaje cognitivo proviene de la mejor posición personal de una partícula, mientras que el aprendizaje social viene dado por una estructura social múltiple propuesta por [PP05] definida por la mejor posición global, la mejor posición local [VPMO03] y la mejor posición del mejor vecino. La velocidad de la partícula modifica la posición de la partícula alterando la solución y su costo total. Si la nueva solución es factible, se hace uso de la metaheurística VND con la intención de mejorarla. Seguidamente, cada partícula guarda sus mejores posiciones definidas por el aprendizaje cognitivo y social, es decir, aquellas que minimicen el costo total de las rutas. Este proceso es repetido n iteraciones y finalmente la mejor posición encontrada por todas las partículas es reportada como una solución de VRPSPD.

Representación de una solución como posición de una partícula

El objetivo de PSO-M es encontrar la mejor posición de alguna partícula, la cual es abstraída como una solución al problema. Para poder aplicar esto a VRPSPD, debe existir una clara relación entre la

posición de una partícula y una solución VRPSPD. Una representación de la solución como posición de una partícula es propuesta en [Kac09], tal que una posición está definida como un vector de $(l + 2m)$ dimensiones, donde l es el número de clientes del problema y m es el número de vehículos dispuestos para resolver el problema. Cada dimensión está codificada como un número real, las primeras l dimensiones representan las prioridades de los clientes y cada cliente está representado por una dimensión. Los valores en estas dimensiones son convertidos a una lista de prioridades de clientes en la parte de decodificación. Las otras $2m$ dimensiones están relacionadas con los vehículos, cada vehículo está representado por 2 dimensiones que son utilizadas como puntos de orientación del vehículo en un plano cartesiano. De la misma manera, la velocidad de una partícula está definida como un vector de la misma longitud, sin embargo, su utilización es puramente aritmética y no representa solución alguna.

Extrayendo las primeras l dimensiones del vector de posición, se crea una lista de prioridad de clientes ordenándola por prioridad, haciendo uso de un algoritmo de ordenamiento *QuickSort*. Extrayendo las segundas $2m$ dimensiones se crea una matriz de prioridad de vehículos y clientes, calculando la distancia euclidiana entre las 2 dimensiones de cada vehículo, que representan puntos de orientación, y las 2 dimensiones de la posición de cada cliente en el plano cartesiano. Esta distancia es calculable ya que los clientes en VRPSPD están localizados en un plano cartesiano. De esta manera se construyen las rutas insertando aquellos clientes en orden de prioridad en las rutas cuyos puntos de orientación estén más cercanos. Al obtener la ruta en la que debe ser insertado un cliente, es insertado aplicando la heurística del menor costo³. Cumplido lo anterior, una posición de una partícula es decodificada en una solución VRPSPD.

Desarrollo de la metaheurística

Se crea un enjambre de L partículas, cada una con una posición aleatoria codificada, originada mediante el algoritmo de generación aleatoria. Luego, se establece la velocidad inicial de cada partícula en cero.

La iteración comienza decodificando la posición de las partículas y actualizando sus mejores posiciones encontradas:

- **Mejor posición personal** ($pbest$): definida por la mejor posición encontrada por la partícula.
- **Mejor posición global** ($gbest$): definida por la mejor posición encontrada por todas partículas.
- **Mejor posición local** ($lbest$): definida por la mejor posición encontrada entre una partícula y K de sus vecinos (posiciones más cercanas a la posición de esa partícula).
- **Mejor posición del mejor vecino** ($nbest$): definida por el vecino v de la partícula i que maximice la función de fitness FDR definida en la **Ecuación 3.13**.

³Inserta un cliente en la posición de cierta ruta que minimice el costo de la solución

$$FDR = \frac{Z(i) - Z_p(v)}{|\theta_x(i) - \theta_x^p(v)|} \quad (3.13)$$

donde:

$x = 1 \dots L$,

$Z(i)$ es el costo de la solución representada por la posición de la partícula i ,

Z_p es el costo de la solución representada por el $pbest$ de la partícula v ,

θ_x es la dimensión x de la posición de la partícula i ,

θ_x^p es la dimensión x del $pbest$ de la partícula v .

La inercia w es constantemente actualizada decrementandola con el paso de las iteraciones para así permitir al enjambre explorar libremente las soluciones al principio de la metaheurística, y seguir lo sugerido por el conocimiento social y cognitivo en las iteraciones finales. Es actualizada según la siguiente ecuación:

$$w(\tau) = w(n) + \frac{\tau - n}{1 - n} [w(1) - w(n)] \quad (3.14)$$

donde $w(n)$ representa la inercia en la iteración n , τ representa la iteración actual y n representa el número de iteraciones.

Finalmente, la velocidad (v) y posición (θ) de cada dimensión de cada partícula es actualizada utilizando la **Ecuación 3.15** y **Ecuación 3.16** respectivamente.

$$v(\tau + 1) = w(\tau)v(\tau) + c_p u(pbest - \theta(\tau)) + c_g u(gbest - \theta(\tau)) + c_l u(lbest - \theta(\tau)) + c_n u(nbest - \theta(\tau)) \quad (3.15)$$

donde c_p , c_g , c_l , c_n representan constantes de aceleración de $pbest$, $gbest$, $lbest$ y $nbest$ respectivamente, y u representa una variable aleatoria uniformemente distribuida tal que $u \in [0, 1]$.

$$\theta(\tau + 1) = \theta(\tau) + v(\tau + 1) \quad (3.16)$$

De esta manera la iteración es finalizada. Al terminar todas las iteraciones, $gbest$ representa la mejor solución encontrada.

El pseudocódigo general de PSO-M se puede ver en el **Apéndice A, Algoritmo A.8**.

Variantes de Implementación

PSO-M tiene como diferencia que en lugar de realizar búsqueda local al momento de decodificar la solución como lo propuesto por [Kac09], realiza VND.

Parámetros

Las variables en la **Tabla 3.6** se establecieron como parámetros de PSO-M por la influencia que pueden causar en los resultados finales.

Tabla 3.6: Parámetros de PSO-M

n	Número de iteraciones
L	Número de partículas a utilizar
nroutes	Número de vehículos utilizados en la última mejor solución encontrada
cp	Controla la aceleración de una partícula al utilizar la mejor posición personal
cg	Controla la aceleración de una partícula al utilizar la mejor posición global
cl	Controla la aceleración de una partícula al utilizar la mejor posición local
cn	Controla la aceleración de una partícula al utilizar la mejor posición del mejor vecino
w1	Inercia inicial
wt	Inercia final
K	Número que establece la cantidad de vecinos utilizados para identificar la mejor posición local

Capítulo 4

Resultados computacionales

4.1. Pruebas experimentales

Las seis metaheurísticas implementadas fueron ejecutadas utilizando dos conjuntos de instancias VRP-SPD conocidas en el área y utilizadas por muchos autores. Cada conjunto de instancias incluye datos relevantes a la resolución del problema tales como el número de clientes, posición del depósito y los clientes en un plano cartesiano, capacidad máxima de los vehículos, y demandas de recolección y entrega exigidas por los clientes. Los dos conjuntos de instancias se describen en la próxima sección.

4.1.0.1. Ambiente de ejecución

Las pruebas se realizaron en un servidor dedicado, corriendo Ubuntu 11.10 como sistema operativo, un procesador Pentium Dual-Core E5700 a 3.00GHz y 2 GB RAM DDR3.

4.1.1. Instancias utilizadas

El primer conjunto denominado *Dethloff* fue introducido por Dethloff [Det01] en 2001, donde 50 clientes son generados considerando dos diferentes escenarios geográficos: en el escenario SCA, las coordenadas de los clientes están uniformemente distribuidas en el intervalo $[0,100]$. En el escenario CON, la mitad de las coordenadas están distribuidas de la misma manera que SCA, mientras que la otra mitad están uniformemente distribuidas en el intervalo $[\frac{100}{3}, \frac{200}{3}]$. La demanda de entrega de cada cliente j , D_j , está uniformemente distribuida en el intervalo $[0,100]$, mientras que la demanda de recepción del cliente j , P_j , es calculada utilizando un número aleatorio r_j uniformemente distribuido en $[0,1]$ tal que $P_j = (0.5 + r_j)D_j$. Las instancias son generadas con diferentes capacidades de vehículos escogiendo el mínimo de vehículos μ . Entonces la capacidad correspondiente es establecida como $C = \sum_{s \in J} D_s / \mu$, donde μ se escoge como 3 u 8. Se crean 40 instancias en total.

El segundo conjunto denominado *SalhiNagy* fue introducido por Salhi y Nagy [SN01] en 1999, basado en 14 problemas propuestos en [CMT79]. El número de clientes en estos datos varía desde 50 a 199 clientes.

Dos clases de instancias son generadas aquí, la clase X y la clase Y. La diferencia entre estas dos es que sus demandas de entrega y recolección están intercambiadas. Sólo un subconjunto de estas instancias son utilizadas por ser las más representativas y diversas, de la misma manera que lo hacen muchos autores. Un total de 14 instancias SalhiNagy son utilizadas.

4.1.2. Entonación de parámetros

La entonación de los parámetros de cada metaheurística es un proceso de importancia fundamental, ya que de estos depende la calidad de una solución. No existen fundamentos teóricos que permitan predecir la influencia de cada parámetro en la calidad de una solución. En ese sentido, se realizaron pruebas experimentales con la finalidad de seleccionar las combinaciones de parámetros que generen mejores resultados.

Se realizaron muestreos de cada metaheurística aislando cada parámetro por separado y manteniendo los restantes fijos en sus valores recomendados según los trabajos referidos. Cada parámetro fue probado a lo largo de su intervalo o creando un intervalo a partir del valor recomendado por el trabajo, para comprobar su influencia en el resultado final. Finalmente, los dos parámetros considerados como los más influyentes son escogidos para su posterior entonación. Éstos parámetros son acotados superior e inferiormente según su influencia en el resultado final. Los parámetros restantes son mantenidos fijos en sus valores recomendados.

Para la entonación se realizaron 4 corridas de cada instancia (para un total de 54 instancias) variando los dos parámetros más influyentes de cada metaheurística en su rango acotado. Estas pruebas se encuentran en el **Apéndice C**. Para cada metaheurística, los resultados de la entonación son comparados contra *la mejor solución reportada hasta el momento*¹ para cada instancia y los parámetros finales son escogidos en base a su porcentaje de mejoría promedio (%GP) y a su tiempo de ejecución promedio. Se escogieron parámetros distintos para cada tipo de instancia, ya que la topología de cada clase de problema influye en la solución del problema.

4.1.2.1. Pruebas de entonación

A continuación se presenta una descripción de las pruebas de entonación realizadas para cada metaheurística implementada.

GTS-M

Se determinó a través de los resultados del muestreo previamente mencionado que los parámetros más influyentes para GTS-M son mn_i^2 y $tabu$. Los parámetros restantes de la metaheurística, $lambda1$ y $lambda2$, se establecieron en los valores recomendados del trabajo referenciado.

¹Según su costo promedio, para instancias de Dethloff: [SOdAFC08] y para instancias de SalhiNagy: [ZTK09]

²Para una descripción de los parámetros de GTS-M ver **Sección 3.3, Tabla 3.2**

Las pruebas fueron realizadas en los siguientes rangos:

- *mn*: [3000,6000], con un salto de 500.
- *tabu*: [5,37], con un salto de 4.

Un total de 63 pruebas fueron realizadas utilizando todas las combinaciones de parámetros según los rangos anteriores. Un conjunto de las mismas se presentan en el **Apéndice C, Tabla C.34 a Tabla C.57**.

Se determinó que el número de iteraciones (*mn*) tiene en promedio una alta incidencia en el tiempo del algoritmo y un aumento en calidad de la solución considerable. Por lo tanto, el valor de este parámetro se estableció de tal manera que lograra conseguir soluciones de calidad en tiempos aceptables.

Se determinó que el tamaño de la lista tabú (*tabu*) a medida que se incrementa consigue en promedio mejorar la calidad de las soluciones hasta cierto punto, en el cual la lista tabú resulta ser muy grande y no permite al algoritmo explorar de forma correcta el espacio de soluciones, lo que implica soluciones de peor calidad. Por lo tanto, el valor de este parámetro se estableció en un punto intermedio.

Los valores de los parámetros se establecieron de igual manera para la clase de instancias Dethloff como para SalhiNagy por poseer igual comportamiento en ambos.

ILS-VND-M

Se determinó a través de los resultados del muestreo previamente mencionado que los parámetros más influyentes para ILS-VND-M son n^3 y *LS*. El parámetro *y* se deja fijo para las pruebas en los mejores propuestos por el trabajo referenciado.

Las pruebas fueron realizadas en los siguientes rangos:

- *n*: [5,65], con un salto de 10.
- *LS*: [10,80], con un salto de 10.

Un total de 56 pruebas fueron realizadas utilizando todas las combinaciones de parámetros según los rangos anteriores. Un conjunto de las mismas se presentan en el **Apéndice C, Tabla C.1 a Tabla C.18**.

En las pruebas finales, para cada una de las instancias se ejecutó 30 veces ILS-VND-M para cada uno de los valores de *y*. Para las instancias de Dethloff el rango se encuentra entre [0,1] con saltos de 0.1, mientras que para las instancias de SalhiNagy el rango se encuentra entre [0,0.5] con saltos de 0.05.

Se determinó en la entonación de *n* y *LS* que a medida que se incrementan, el costo promedio de las soluciones mejora hasta cierto punto, en el cual este valor se mantiene en el mismo rango, pero sus tiempos incrementan significativamente. Por lo tanto, estos parámetros se establecieron en un punto intermedio.

³Para una descripción de los parámetros de ILS-VND-M ver **Sección 3.3, Tabla 3.1**

Existe una diferencia en LS para cada clase de instancia, probablemente debido a que la clase SalhiNagy posee instancias más grandes que las de Dethloff, necesitando así una exploración más exhaustiva dentro de la sección del método de mejoramiento y perturbación de la solución.

AS-M

Se determinó a través de los resultados del muestreo previamente mencionado que los parámetros más influyentes para AS-M son n^4 y q . Los parámetros restantes de la metaheurística, α , β y ρ , se establecieron en los valores recomendados del trabajo referenciado.

Las pruebas fueron realizadas en los siguientes rangos:

- n : $[3,6]$, con un salto de 1.
- q : $[0.1,0.4]$, con un salto de 0.1.

Un total de 16 pruebas fueron realizadas utilizando todas las combinaciones de parámetros según los rangos anteriores. Un conjunto de las mismas se presentan en el **Apéndice C, Tabla C.58 a Tabla C.81**.

Se determinó que el número de iteraciones (n) tiene en promedio una alta incidencia en la calidad de las soluciones. Sin embargo, luego de ciertas iteraciones las hormigas construyen soluciones sin ninguna mejoría relevante. Por lo tanto, el valor de este parámetro se estableció de tal manera que se lograra conseguir las mejores soluciones sin malgastar cómputo.

Se determinó que la exploración en la metaheurística juega un valor fundamental, y a medida que se realiza mayor explotación la calidad de la solución empeora. El mejoramiento de la solución beneficiando la exploración por encima de la explotación mejora considerablemente la calidad de la solución a costa de un despreciable tiempo de cómputo. Por lo tanto, el valor de q se estableció de tal manera de beneficiar en gran medida la exploración sobre la explotación.

Existe una diferencia en n para cada clase de instancia, probablemente debido a que la clase SalhiNagy posee instancias más grandes que las de Dethloff, necesitando así una exploración más exhaustiva de las hormigas para mejorar la solución.

SS-M

Se determinó a través de los resultados del muestreo previamente mencionado que los parámetros más influyentes para SS-M son n^5 , y y b . Sin embargo, el parámetro b se establece en el valor recomendado del trabajo referenciado, ya que al incrementarlo afecta significativamente los tiempos de ejecución.

Las pruebas fueron realizadas en los siguientes rangos para las instancias de Dethloff:

⁴Para una descripción de los parámetros de AS-M ver **Sección 3.3, Tabla 3.3**

⁵Para una descripción de los parámetros de SS-M ver **Sección 3.3, Tabla 3.4**

- y : $[0.1,1]$, con un salto de 0.1.
- n : $[50,200]$, con un salto de 50.

Al establecer la combinación parámetros que tiene mejor comportamiento para este tipo de instancias se establecieron los siguientes rangos para las pruebas de SalhiNagy:

- y : $[0.1,0.3]$, con un salto de 0.1.
- n : $[50,250]$, con un salto de 50.

Un total de 55 pruebas fueron realizadas utilizando todas las combinaciones de parámetros según los rangos anteriores. Un conjunto de las mismas se presentan en el **Apéndice C**,

Tabla C.19 a Tabla C.33.

Se determinó que tamaño del *Pool* n no tiene incidencia en el tiempo del algoritmo y provee hasta cierto punto un aumento en calidad de la solución. Por lo tanto, el valor de este parámetro se estableció de tal manera que el *Pool* sea diverso y halla obtenido en las pruebas el mejor comportamiento en su resultado promedio.

Se determinó que la variable que define la función de costo del método de diversificación y no tiene incidencia en el tiempo del algoritmo y provee hasta cierto punto un aumento en calidad de la solución, mientras que sacrifica la diversidad de las soluciones.

Existe una diferencia en y y n para cada clase de instancia, probablemente debido a que la clase SalhiNagy posee instancias más grandes que las de Dethloff, necesitando así un Pool inicial más diverso para obtener mejores soluciones.

PSO-M

Se determinó a través de los resultados del muestreo previamente mencionado que los parámetros más influyentes para PSO-M son n y L . Los parámetros restantes de la metaheurística, cp , cg , cl , cn , $w1$, wt y K se establecieron en los valores recomendados del trabajo referenciado.

Las pruebas fueron realizadas en los siguientes rangos:

- n : $[10,50]$, con un salto de 20.
- L : $[10,90]$, con un salto de 20.

Un total de 15 pruebas fueron realizadas utilizando todas las combinaciones de parámetros según los rangos anteriores. Un conjunto de las mismas se presentan en el **Apéndice C**, **Tabla C.82 a Tabla C.96.**

Se determinó que el número de iteraciones (n^6) tiene en promedio una alta incidencia en el tiempo del algoritmo y un aumento en calidad de la solución considerable. Por lo tanto, el valor de este parámetro se estableció de tal manera que lograra conseguir soluciones de calidad en tiempos aceptables.

Se determinó que el número de partículas (L) tiene en promedio también una alta incidencia en el tiempo del algoritmo y un aumento en calidad de la solución considerable. Por lo tanto, el valor de este parámetro se estableció de tal manera que lograra conseguir soluciones de calidad en tiempos aceptables.

Los valores de los parámetros sólo se pudieron probar para la clase de instancia SalhiNagy.

GA-M

Se determinó a través de los resultados del muestreo previamente mencionado que los parámetros más influyentes para GA-M son $cprob^7$, $mprob$ y p . El parámetro restante n se estableció en un valor fijo para las pruebas finales dado a su baja influencia en la calidad de la solución.

Las pruebas fueron realizadas de la siguiente manera. Se establecieron n y p en los valores recomendados por el trabajo referenciado y se realizaron pruebas para $cprob$ y $mprob$ en los siguientes rangos:

- $cprob$ [10,100], con un salto de 10.
- $mprob$ [10,100], con un salto de 10.

Una vez establecida la mejor combinación de los parámetros $cprob$ y $mprob$ para ambos tipo de instancia, se procedió a realizar pruebas para p dejando fijos $cprob$ y $mprob$. Los rangos son los siguientes:

- p [100,400], con un salto de 50.

Un total de 107 pruebas fueron realizadas utilizando todas las combinaciones de parámetros según los rangos anteriores. Un conjunto de las mismas se presentan en el **Apéndice C, Tabla C.98 a Tabla C.121**.

Se determinó que la probabilidad porcentual de cruce ($cprob$) y la probabilidad porcentual de mutación tiene en promedio una alta incidencia en el aumento en calidad de la solución considerable. Por lo tanto, el valor de este parámetro se estableció de tal manera de que la combinación de ambos lograra conseguir soluciones de calidad.

Se determinó que el tamaño de la población (p) tiene en promedio una alta incidencia en el tiempo del algoritmo y un aumento en calidad de la solución considerable. Por lo tanto, el valor de este parámetro se estableció de tal manera que lograra conseguir soluciones de calidad en tiempos aceptables.

⁶Para una descripción de los parámetros de PSO-M ver **Sección 3.3, Tabla 3.6**

⁷Para una descripción de los parámetros de GA-M ver **Sección 3.3, Tabla 3.5**

Existe una diferencia en $cprob$ y p para cada clase de instancia, probablemente debido a que la clase SalhiNagy posee instancias más grandes que las de Dethloff, necesitando de una población de mayor diversidad para obtener mejores resultados.

Con los parámetros seleccionados para ambos tipo de instancia se realizó una prueba la cual consistía en determinar el porcentaje total de veces que el algoritmo da como resultado la solución de mejor fitness antes de aplicar Vecindades Variables a las soluciones pertenecientes a la población. El resultado se encuentra en el **Apéndice C, Tabla C.97** y **Tabla C.110**. La columna de nombre *Por* en ambas tablas representa de forma porcentual la cantidad de veces que la solución de mejor fitness continúa siendo la de mejor costo luego de aplicar VND a toda la población.

En la **Tabla 4.1** se presenta la combinación de parámetros recomendada para la ejecución de cada metaheurística.

Tabla 4.1: Parámetros finales

Metaheurística	Parámetros finales Dethloff		Parámetros finales SalhiNagy	
<i>GTS – M</i>	mni: 5000 lambda2: 0.05	lambda1: 0.05 tabu: 29	mni: 5000 lambda2: 0.05	lambda1: 0.05 tabu: 29
<i>ILS – VND – M</i>	n: 55	LS: 70	n: 55	LS: 80
<i>AS – M</i>	n: 5 beta: 3.0 ro: 0.015	alpha: 1.0 q: 0.1	n: 6 beta: 3.0 ro: 0.015	alpha: 1.0 q: 0.1
<i>SS – M</i>	n: 150 y: 0.1	b: 10	n: 250 y: 0.2	b: 10
<i>PSO – M</i>		N/A N/A N/A	n: 30 cp: 1 cl: 1	L: 70 cg: 0
<i>GA – M</i>	n: 100 cprob: 40	p: 300 mprob: 70	n: 100 cprob: 90	p: 350 mprob: 70

4.1.3. Evaluación comparativa de la calidad de las metaheurísticas

Se realizaron pruebas con la finalidad de comparar la calidad de los resultados de las metaheurísticas implementadas con respecto a los resultados de los trabajos reproducidos. Para determinar el número de repeticiones se hace uso del *teorema del límite central* (TLC)

De acuerdo con [TCL02] el TLC establece lo siguiente:

Si x_1, x_2, \dots, x_n son variables aleatorias independientes, con idéntico modelo de probabilidad, de valor medio μ y varianza σ^2 , entonces la distribución de las variables

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n x_i - n\mu}{\sigma\sqrt{n}} \quad (4.1)$$

Se aproxima a la de una variable normal tipificada $N(0,1)$. Este resultado prueba que la media muestral

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (4.2)$$

se distribuye aproximadamente como una variable $N(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}})$.

Al menos en los modelos de probabilidad clásicos, se admite una aproximación aceptable al modelo normal, siempre que $n \geq 30$, a pesar de que esta cifra es insuficiente en determinados casos y excesiva en otros.

Por lo especificado anteriormente cada metaheurística fue corrida 30 veces con sus parámetros finales utilizando las instancias de Dethloff y SalhiNagy. De esta manera, se tiene una aproximación del comportamiento promedio de cada metaheurística para distintas clases de instancias en cuanto a tiempo de cómputo y costo de la solución.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas finales para cada metaheurística implementada. Primeramente, se comparan los resultados obtenidos con cada uno de los trabajos referenciados para luego comparar las mejores metaheurísticas. Estas comparaciones se realizan tomando en cuenta el mejor costo obtenido y el tiempo de cómputo utilizado. Los resultados en negrilla son iguales a los de su metaheurística análoga, mientras que los resultados subrayados son mejores. *%Gap* representa el porcentaje de mejoría de la metaheurística implementada con respecto a su análoga, porcentajes negativos representan un mejoramiento o reducción del costo mínimo, mientras que porcentajes positivos implican empeoramiento del resultado.

Para el caso particular de las metaheurísticas GA-M y PSO-M, ciertas consideraciones fueron establecidas. En el caso de GA-M, el trabajo referenciado no incluye resultados de las instancias utilizadas, por lo tanto la tabla de resultados sólo incluye los resultados de la metaheurística implementada (GA-M). En el caso de PSO-M, las instancias de Dethloff utilizadas no pueden ser usadas como entradas al algoritmo,

ya que éstas contienen una matriz de costo entre cada uno de los clientes en lugar de la posición de cada cliente en el plano cartesiano. PSO-M necesita las coordenadas de cada cliente para la construcción de las soluciones. Ya que las instancias utilizadas no contienen esta información, esta clase de instancias no pudo ser utilizada, por lo tanto sólo se muestra la tabla correspondiente a las instancias de SalhiNagy.

Los tiempos de los trabajos referenciados fueron convertidos de manera aproximada al procesador utilizado para las pruebas finales, para ello se utilizaron los datos de [Lon11], que miden los megaflops⁸ (MFLOPS) empleados utilizando la librería *Linpack*⁹ en las máquinas de cada uno de los trabajos referenciados (ver **Tabla 4.2**). Esto con la finalidad de permitir la comparación entre los tiempos de los trabajos reproducidos y las metaheurísticas implementadas. En la **Tabla 4.2** se muestran las relaciones de tiempo entre el procesador *Pentium Dual-Core 3.0GHz* y los otros procesadores. Este valor se utiliza como factor de conversión de los tiempos.

Tabla 4.2: Especificación de los procesadores utilizados en las pruebas y factor de conversión correspondiente

Procesador	MFLOPS	Relación de tiempo
Pentium IV 2.4GHz	687.10	0.75:1
Core 2 Duo 2.5GHz	1642.00	1.79:1
Pentium D 2.8GHz	853.06	0.93:1
Athlon 2.0GHz	734.64	0.80:1
Pentium IV 3.4GHz	941.67	1.03:1
Pentium IV 3.0GHz	830.88	0.91:1
Pentium Dual-Core 3.0GHz	912.78	1:1

Para cada metaheurística se presentan dos tablas correspondientes a los resultados comparativos utilizando las clases de instancias Dethloff y SalhiNagy. La tabla correspondiente a instancias Dethloff se muestra en su forma reducida, combinando instancias con las mismas características. Las tablas completas se pueden ver en el **Apéndice B**.

4.1.4. Resultados para Metaheurística GTS-M

A continuación se presentan los resultados de la metaheurística denominada GTS-M, comparada con la metaheurística propuesta por [ZTK09] que se denominará GTS.

En la tabla **Tabla 4.3** se aprecia que el mejor costo promedio de GTS-M en Dethloff se reduce ligeramente en comparación con el de GTS (-0.04 %). Específicamente, según la **Tabla B.1** el mejor costo se reduce en 9 de 40 instancias, mientras que en 30 se logra el mismo costo. GTS-M logra reducir los

⁸Millones de operaciones de punto flotante por segundo

⁹Paquete de rutinas de álgebra lineal donde se utilizan constantemente operaciones de punto flotante

tiempos de cómputo promedio en aproximadamente un 30 % para esta clase de instancia.

En la tabla **Tabla 4.4** correspondiente a instancias de SalhiNagy se observa un empeoramiento del mejor costo promedio con respecto a GTS (0.77 %), reduciendo los mejores costos reportados en GTS en sólo 2 instancias sobre un total de 14 (**Tabla B.2**). Sin embargo, se aprecia una reducción aproximada de 8 % en los tiempos de cómputo promedio.

El mejoramiento en el mejor costo promedio en instancias Dethloff puede ser atribuido a la implementación de una búsqueda en vecindades variables en lugar de los movimientos de búsqueda local utilizados por GTS. Sin embargo, se puede observar que en instancias de SalhiNagy no ocurre tal mejoramiento. Esto puede deberse a un criterio de selección distinto al momento de seleccionar un operador en el algoritmo de búsqueda local, lo cual puede incidir en la calidad de la solución si se utiliza información de la topología del problema en esta selección. El tamaño de la lista tabú fue descartado como causante de esta diferencia, ya que forma parte de la lista de parámetros que fueron entonados por clase de instancia (Dethloff y SalhiNagy). La reducción de los tiempos de cómputo en ambas clases de instancia se puede atribuir a una implementación eficiente de la representación de la solución y la lista tabú, así como un criterio de selección de operador distinto establecido para favorecer los tiempos de cómputo (ver **Sección 3.3.2**).

GTS-M obtiene un mejor costo promedio que prácticamente no difiere de GTS para instancias Dethloff, mejorando los tiempos de cómputo. Por lo tanto se recomienda su utilización para este tipo de instancias. Sin embargo, para instancias SalhiNagy no se recomienda pues la diferencia entre mejor costo promedio es significativa.

Tabla 4.3: Resultados de GTS-M, utilizando instancias de Dethloff

Instancia	GTS		GTS-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
SCA3	673.44	2.29	673.402	1.56	675.22	1.59	-0.01
SCA8	1028.29	2.73	1028.15	1.72	1039.80	1.50	-0.01
CON3	561.48	2.48	560.95	2.30	564.70	1.55	-0.10
CON8	771.91	2.78	771.745	1.90	781.84	1.50	-0.02
PROM.	758.78	2.57	758.56	1.87	765.39	1.53	-0.04

4.1.5. Resultados para Metaheurística ILS-VND-M

A continuación se presentan los resultados de la metaheurística denominada ILS-VND-M, comparada con la metaheurística propuesta por [SOdAFC08] que se denominará ILS-VND.

En la tabla **Tabla 4.5** se aprecia que el mejor costo promedio de ILS-VND-M en Dethloff aumenta ligeramente en comparación con el de ILS-VND (0.35 %). Específicamente, según la **Tabla B.3** en 20 instancias se logra el mismo costo, mientras que en las otras 20 empeora ligeramente con un máximo de

Tabla 4.4: Resultados de GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy

Instancia	GTS		GTS-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
CMT1X	470.48	3.04	470.48	1.74	472.08	1.69	0.00
CMT1Y	470.48	2.40	470.48	0.80	472.85	1.50	0.00
CMT2X	682.39	4.89	682.39	2.94	686.99	2.56	0.00
CMT2Y	682.39	5.95	682.39	4.84	687.45	2.77	0.00
CMT3X	719.06	7.89	718.40	7.32	727.00	5.60	-0.09
CMT3Y	719.06	9.93	723.40	3.02	728.30	4.77	0.60
CMT4X	854.21	17.23	855.09	29.81	870.76	17.27	0.10
CMT4Y	852.46	21.48	854.68	12.06	874.23	14.87	0.26
CMT5X	1030.56	43.21	1036.17	34.35	1066.62	28.63	0.54
CMT5Y	1031.69	40.35	1027.60	46.03	1066.36	27.14	-0.40
CMT11X	831.09	12.61	871.93	5.20	911.93	15.14	4.91
CMT11Y	829.85	11.44	851.74	18.23	905.47	12.58	2.64
CMT12X	658.83	9.03	663.64	6.53	677.07	4.58	0.73
CMT12Y	660.47	7.82	670.10	8.19	680.86	5.68	1.46
PROM.	749.50	14.09	755.61	12.93	773.43	10.34	0.77

1.96 % . ILS-VND-M aumenta los tiempos de cómputo promedio en aproximadamente un 8 % para esta clase de instancia.

En la tabla **Tabla 4.6** correspondiente a instancias de SalhiNagy se observa un empeoramiento del mejor costo promedio con respecto a ILS-VND, con un máximo de 3.16 % y el promedio de 1.31. Sin embargo, se aprecia una reducción del 14 % en los tiempos de cómputo promedio.

ILS-VND-M obtiene un costo promedio que prácticamente no difiere de ILS-VND para instancias Dethloff, empeorando los tiempos de cómputo. Por lo tanto no se recomienda su utilización para este tipo de instancias. Para instancias SalhiNagy no se recomienda pues la diferencia entre mejor costo promedio es significativa.

En la **Tabla 4.5** y **Tabla 4.6**.

Tabla 4.5: Resultados de ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff

Instancia	ILS-VND		ILS-VND-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
SCA3	673.40	2.12	674.01	5.10	682.27	4.92	0.09
SCA8	1028.15	5.63	1035.59	4.14	1072.68	3.96	0.73
CON3	560.95	3.10	561.29	4.66	573.01	4.91	0.07
CON8	771.65	5.60	775.56	3.98	806.86	4.03	0.53
PROM.	758.54	4.11	761.61	4.47	783.71	4.45	0.35

4.1.6. Resultados para Metaheurística AS-M

A continuación se presentan los resultados de la metaheurística denominada AS-M, comparada con la metaheurística propuesta por [Ça10] que se denominará AS.

Tabla 4.6: Resultados de ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy

Instancia	ILS-VND			ILS-VND-M					
	Mejor costo	T.(seg)	γ	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	γ	%Gap
CMT1X	466.77	1.96	0.30	470.48	4.43	482.96	4.61	0.05	0.79
CMT1Y	466.77	1.93	0.35	470.48	4.68	481.25	4.36	0.15	0.79
CMT2X	684.21	12.51	0.35	685.96	10.26	711.33	9.79	0.00	0.26
CMT2Y	684.21	10.45	0.10	694.80	11.78	710.06	10.16	0.20	1.55
CMT3X	721.40	13.90	0.50	722.84	19.64	737.43	18.71	0.00	0.20
CMT3Y	721.40	11.45	0.50	723.67	19.83	741.25	19.67	0.30	0.31
CMT4X	852.83	90.78	0.40	867.22	47.10	894.29	45.44	0.00	1.69
CMT4Y	852.46	82.44	0.45	867.74	46.34	895.34	47.15	0.15	1.79
CMT5X	1030.55	95.78	0.15	1058.84	78.09	1096.99	91.58	0.40	2.75
CMT5Y	1031.17	105.14	0.30	1063.75	84.06	1097.46	90.52	0.05	3.16
CMT11X	839.39	22.51	0.45	850.66	38.34	892.22	32.60	0.30	1.34
CMT11Y	841.88	26.49	0.45	847.67	30.42	876.59	32.21	0.35	0.69
CMT12X	662.22	14.35	0.05	671.76	19.01	683.18	17.09	0.35	1.44
CMT12Y	662.22	10.82	0.10	673.01	17.64	683.36	17.46	0.00	1.63
PROM.	751.25	35.75		762.06	30.83	784.55	31.53		1.31

Para la clase de instancias Dethloff (**Tabla 4.7**) se aprecia un ligero mejoramiento del mejor costo promedio con respecto a AS (-0.29 %), consiguiendo mejorar los costos de 27 instancias de un total de 40 (**Tabla B.5**). El tiempo de cómputo promedio se redujo de una manera llamativa en aproximadamente 99 %.

Para la clase SalhiNagy se aprecia un mejoramiento del mejor costo promedio con respecto a AS (-2.18 %), consiguiendo reducir todos los mejores costos de AS, es decir, 14 instancias de 14. El tiempo de cómputo promedio fue reducido en aproximadamente 94 %.

El mejoramiento del mejor costo promedio se atribuye a la variedad de vecindades visitadas por VND en comparación con las utilizadas en AS. La reducción contundente del tiempo de cómputo promedio ocurre gracias a la reducción de iteraciones ($n=5$ para Dethloff, $n=6$ para SalhiNagy) en comparación con las recomendadas en AS ($n=1000$), ya que durante la etapa de entonación de este parámetro se determinó que luego de determinado número de iteraciones la solución dejaba de mejorar (ver **Sección 4.1.2.1**). El número de iteraciones pudo ser reducido gracias al aporte que lleva VND al mejoramiento de las soluciones.

AS-M mejora el mejor costo promedio de las dos clases de instancias utilizadas, así como también mejora contundentemente los tiempos de cómputo, por lo tanto AS-M se recomienda para instancias Dethloff y SalhiNagy.

Tabla 4.7: Resultados de AS-M, utilizando instancias de Dethloff

Instancia	AS		AS-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
SCA3	675.38	N/A	673.441	1.28	675.05	1.27	-0.29
SCA8	1037.26	N/A	1032.01	1.32	1040.47	1.31	-0.49
CON3	561.57	N/A	561.063	1.35	563.83	1.34	-0.09
CON8	776.08	N/A	773.938	1.39	780.09	1.40	-0.30
PROM.	762.57	419.43	760.11	1.33	764.86	1.33	-0.29

Tabla 4.8: Resultados de AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy

Instancia	AS		AS-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
CMT1X	470.67	N/A	<u>470.48</u>	1.74	474.70	1.42	-0.04
CMT1Y	472.37	N/A	<u>471.25</u>	1.35	474.94	1.41	-0.24
CMT2X	705.21	N/A	<u>691.13</u>	6.64	700.84	6.86	-2.00
CMT2Y	704.16	N/A	<u>686.76</u>	6.76	700.44	6.59	-2.47
CMT3X	726.55	N/A	<u>724.21</u>	21.06	729.24	21.57	-0.32
CMT3Y	729.02	N/A	<u>723.52</u>	22.69	731.28	22.67	-0.75
CMT4X	893.90	N/A	<u>865.47</u>	94.77	883.96	96.93	-3.18
CMT4Y	895.25	N/A	<u>870.98</u>	97.12	886.17	97.64	-2.71
CMT5X	1115.75	N/A	<u>1077.34</u>	273.74	1085.90	274.51	-3.44
CMT5Y	1112.61	N/A	<u>1070.53</u>	274.44	1085.51	275.57	-3.78
CMT11X	887.36	N/A	<u>847.74</u>	43.28	865.98	42.96	-4.46
CMT11Y	874.13	N/A	<u>845.47</u>	37.33	869.98	37.90	-3.28
CMT12X	681.02	N/A	<u>663.01</u>	18.74	675.11	18.70	-2.64
CMT12Y	671.32	N/A	<u>663.19</u>	18.18	674.76	17.89	-1.21
PROM.	781.38	1131.81	762.22	65.56	774.20	65.90	-2.18

4.1.7. Resultados para Metaheurística SS-M

A continuación se presentan los resultados de la metaheurística denominada GTS-M, comparada con la metaheurística propuesta por [MLGS10] que se denominará SS.

En la tabla **Tabla 4.9** se aprecia que el mejor costo promedio de SS-M en Dethloff se reduce ligeramente en comparación con el de SS (-0.13 %). Específicamente, según la **Tabla B.7** el mejor costo se reduce en 18 de 40 instancias, mientras que en 11 se logra el mismo costo. SS-M aumenta significativamente los tiempos de cómputo promedio en aproximadamente un 63.5 % para esta clase de instancia.

En la tabla **Tabla 4.10**, correspondiente a instancias de SalhiNagy se observa un empeoramiento del mejor costo promedio con respecto a SS, reduciendo los mejores costos reportados en SS en sólo 6 instancias sobre un total de 14 (**Tabla B.2**). SS-M aumenta significativamente los tiempos de cómputo promedio en aproximadamente un 34.2 % para esta clase de instancia.

El aumento significativo de los tiempos de cómputo promedio en las instancias de Dethloff y SalhiNagy, puede ser atribuido a la implementación de un mecanismo de inserción para el método de combinación. En SS se realiza la mejor inserción posible de un solo cliente escogido arbitrariamente, mientras que el mecanismo de inserción utilizado en SS-M se escoge entre todos los clientes no asignados aquel cliente que dé el menor costo añadido a la solución parcial.

SS-M obtiene un mejor costo promedio que prácticamente no difiere de SS para instancias Dethloff. Por lo tanto se recomienda su utilización para este tipo de instancias. Para instancias SalhiNagy no se recomienda, pues el mejor costo promedio, a pesar de no ser significativo, es mayor para SS-M, además de tener un aumento notable en los tiempos de cómputo.

Tabla 4.9: Resultados de SS-M, utilizando instancias de Dethloff

Instancia	SS		SS-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
SCA3	674.16	N/A	675.29	3.19	677.67	3.34	0.17
SCA8	1044.35	N/A	1037.37	11.18	1050.07	9.53	-0.65
CON3	564.17	N/A	561.897	2.88	564.71	2.77	-0.38
CON8	774.305	N/A	777.01	10.04	785.72	9.20	0.34
PROM.	764.24	2.49	762.89	6.82	769.54	6.21	-0.13

Tabla 4.10: Resultados de SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy

Instancia	SS		SS-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
CMT1X	473.23	1.15	470.67	1.80	473.84	1.73	-0.54
CMT1Y	475.14	0.92	472.37	2.60	473.23	2.43	-0.58
CMT2X	691.11	12.61	699.80	14.75	708.96	17.39	1.26
CMT2Y	690.50	11.42	700.28	18.89	711.13	14.05	1.42
CMT3X	730.11	33.82	726.98	30.34	738.05	35.62	-0.43
CMT3Y	725.26	25.79	727.77	27.80	737.32	36.29	0.35
CMT4X	860.97	214.03	866.65	421.30	905.41	231.34	0.66
CMT4Y	868.50	230.74	872.44	321.56	905.47	232.94	0.45
CMT5X	1041.19	955.04	1072.03	773.75	1110.77	1071.87	2.96
CMT5Y	1069.32	448.69	1077.14	1142.85	1110.33	949.78	0.73
CMT11X	883.63	28.63	874.80	68.83	903.88	40.83	-1.00
CMT11Y	873.19	83.94	880.42	92.37	906.81	44.55	0.83
CMT12X	686.38	25.99	673.49	232.82	682.30	59.59	-1.88
CMT12Y	679.17	11.68	675.05	74.83	684.71	63.02	-0.61
PROM.	767.69	151.48	770.71	230.32	789.44	200.10	0.26

4.1.8. Resultados para Metaheurística PSO-M

A continuación se presentan los resultados de la metaheurística denominada PSO-M, comparada con la metaheurística propuesta por [Kac09] que se denominará PSO.

Como lo mencionado a principios de la **Sección 4.1.3** las pruebas de PSO-M fueron realizadas sólo en instancias de la clase SalhiNagy, por lo tanto sólo se muestra la **Tabla 4.11** correspondiente a instancias SalhiNagy.

Se puede observar un mejoramiento considerable del mejor costo promedio para SalhiNagy (**Tabla 4.11**) en comparación con PSO (-2.27%). Específicamente, el mejor costo fue mejorado en 10 de 14 instancias. Además, se evidencia una reducción importante del tiempo de cómputo promedio de un 72 % aproximadamente.

El mejor costo promedio mejora gracias a la aplicación de VND al final de cada iteración de PSO-M, en lugar de aplicar sólo el operador de búsqueda local *2-opt* utilizado en PSO. La mejora del tiempo se atribuye a la reducción significativa del número de iteraciones (n=30) en comparación con el número de iteraciones en PSO (n=1000), reducido gracias al aporte que lleva VND al mejoramiento de las soluciones.

PSO-M mejora tanto el mejor costo promedio como el tiempo de cómputo para el tipo de instancia

utilizada (SalhiNagy), por lo tanto, se recomienda su uso.

Tabla 4.11: Resultados de PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy

Instancia	PSO		PSO-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
CMT1X	467.00	41.20	470.48	5.06	477.81	4.98	0.75
CMT1Y	467.00	41.20	470.48	4.89	476.11	5.13	0.75
CMT2X	710.00	55.62	693.96	8.25	735.46	6.99	-2.26
CMT2Y	710.00	55.62	693.74	5.95	721.04	6.77	-2.29
CMT3X	738.00	117.42	723.67	60.99	735.31	62.71	-1.94
CMT3Y	740.00	116.39	723.23	63.47	737.00	63.39	-2.27
CMT4X	912.00	213.21	878.06	103.76	916.43	101.35	-3.72
CMT4Y	913.00	210.12	872.63	79.17	906.71	101.04	-4.42
CMT5X	1167.00	293.55	1090.08	115.89	1151.52	103.82	-6.59
CMT5Y	1142.00	294.58	1089.93	102.17	1141.93	117.49	-4.56
CMT11X	895.00	232.78	883.28	14.86	913.41	20.12	-1.31
CMT11Y	900.00	234.84	887.01	16.95	910.41	21.66	-1.44
CMT12X	691.00	118.45	691.19	3.83	749.96	3.93	0.03
CMT12Y	697.00	117.42	679.79	3.81	755.03	3.95	-2.47
PROM.	796.36	153.02	774.82	42.08	809.15	44.52	-2.27

4.1.9. Resultados para Metaheurística GA-M

A continuación se presentan los resultados de la metaheurística denominada GA-M en la **Tabla 4.12** y **Tabla 4.13**. Debido a que [EC] no presenta resultados para ninguno de los tipos de instancia utilizados en este trabajo, resulta imposible hacer una comparación

Tabla 4.13: Resultados de GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy

GA-M				
Instancia	Mejor costo	T. (seg)	Costo prom.	T. prom. (seg)
CMT1X	476.38	5.06	476.71	5.04
CMT1Y	472.87	4.56	477.66	4.64
CMT2X	697.28	10.72	705.32	11.00
CMT2Y	697.76	10.15	706.51	10.63
CMT3X	728.50	24.66	736.12	24.48
CMT3Y	725.30	24.70	734.65	24.09
CMT4X	880.66	63.16	896.91	65.36
CMT4Y	892.05	65.54	902.53	66.57
CMT5X	1068.63	134.22	1098.41	134.47
CMT5Y	1087.40	137.00	1104.05	137.40
CMT11X	858.94	40.64	891.06	41.90
CMT11Y	848.68	45.25	877.11	45.61
CMT12X	668.48	24.83	673.47	24.73
CMT12Y	672.60	24.47	674.22	24.43
PROM.	769.68	43.93	782.48	44.31

Tabla 4.12: Resultados de GA-M, utilizando instancias de Dethloff

GA-M				
Instancia	Mejor costo	T. (seg)	Costo prom.	T. prom. (seg)
SCA3	673.76	4.18	675.28	4.06
SCA8	1036.44	3.88	1040.17	3.99
CON3	562.35	4.61	563.59	4.28
CON8	776.01	4.49	778.37	4.17
PROM.	762.14	4.29	764.35	4.12

4.2. Comparación de las mejores metaheurísticas

A continuación se presenta una comparativa de las mejores metaheurísticas y una breve descripción de los resultados.

En la tabla **Tabla 4.14** se encuentran los resultados de las mejores metaheurísticas para instancias Dethloff.

En la tabla **Tabla 4.15** se encuentran los resultados de las mejores metaheurísticas para instancias SalhiNagy.

Se puede observar que para instancias de Dethloff (**Tabla 4.14**) la metaheurística ILS-VND logró obtener los mejores costos para todas las instancias con respecto a las otras. Sin embargo, la metaheurística implementada GTS-M logró obtener el mejor costo en 37 instancias de 40, reduciendo el tiempo promedio en más de un 40 % con respecto a ILS-VND. Además, la metaheurística implementada AS-M logró el mejor costo en 22 instancias de 40, obteniendo un mejor costo promedio que se diferencia de ILS-VND en sólo un 0.20 %, reduciendo el tiempo promedio en más de un 60 %.

Para instancias de SalhiNagy (**Tabla 4.15**) ninguna de las metaheurísticas implementadas escogidas logró conseguir los mejores resultados. La metaheurística GTS logra el mejor costo promedio consiguiendo el mejor costo en 9 de 14 instancias, seguido de ILS-VND que consigue 6 de 14 instancias. La metaheurística implementada que muestra mejores resultados para SalhiNagy es AS-M, que consiguió un mejor costo promedio que se diferencia de GTS en sólo un 1.66 %, con tiempos bastante competitivos.

Tabla 4.14: Resultados comparativos finales utilizando instancias de Dethloff

Instancia	AS-M		GTS-M		GA-M		ILS		SS-M	
	Mejor costo	T. (seg)	Mejor costo	T. (seg)	Mejor costo	T. (seg)	Mejor costo	T. (seg)	Mejor costo	T. (seg)
SCA3-0	636.06	1.21	635.67	1.52	636.06	4.43	635.62	<u>1.60</u>	640.55	2.45
SCA3-1	697.84	<u>1.35</u>	697.84	1.62	697.84	4.67	697.84	2.00	697.84	1.91
SCA3-2	659.34	1.33	659.34	<u>0.92</u>	661.13	3.77	659.34	2.13	659.34	3.01
SCA3-3	680.04	<u>1.26</u>	680.04	3.84	680.04	3.81	680.04	2.02	680.04	3.26
SCA3-4	690.50	<u>1.34</u>	690.50	2.05	690.50	4.08	690.50	2.36	690.50	4.81
SCA3-5	659.90	1.30	659.90	<u>1.11</u>	659.90	3.92	659.90	2.09	665.04	2.29
SCA3-6	651.09	<u>1.32</u>	651.09	1.55	652.47	4.24	651.09	2.20	652.94	2.97
SCA3-7	659.17	1.26	659.17	<u>0.68</u>	659.17	4.27	659.17	3.02	666.15	3.51
SCA3-8	719.47	1.29	719.47	<u>1.11</u>	719.47	4.15	719.47	1.93	719.47	3.88
SCA3-9	681.00	<u>1.15</u>	681.00	1.21	681.00	4.51	681.00	1.84	681.00	3.80
SCA8-0	961.50	1.32	961.50	<u>1.00</u>	973.03	4.16	961.50	4.51	965.26	9.36
SCA8-1	1052.71	1.20	1049.65	<u>2.34</u>	1059.16	3.77	1049.65	5.33	1053.57	17.13
SCA8-2	1044.24	1.13	1039.64	<u>1.43</u>	1050.37	4.16	1039.64	6.12	1050.37	13.90
SCA8-3	985.47	1.28	983.34	<u>2.40</u>	985.60	3.77	983.34	6.15	1014.10	8.64
SCA8-4	1065.49	<u>1.36</u>	1065.49	1.92	1069.71	4.27	1065.49	4.90	1065.49	9.08
SCA8-5	1034.74	1.44	1027.08	<u>2.01</u>	1043.52	3.46	1027.08	6.15	1040.18	13.45
SCA8-6	972.48	1.44	971.82	<u>0.95</u>	976.69	3.98	971.82	4.43	972.48	10.50
SCA8-7	1066.65	1.36	1051.28	<u>1.67</u>	1067.03	3.36	1051.28	9.55	1067.49	9.42
SCA8-8	1071.18	1.48	1071.18	<u>1.30</u>	1071.18	4.20	1071.18	3.66	1071.18	8.71
SCA8-9	1065.60	1.20	1060.50	<u>2.20</u>	1068.10	3.66	1060.50	5.54	1073.62	11.62
CON3-0	616.52	<u>1.46</u>	616.52	2.26	617.59	4.40	616.52	3.61	617.59	1.85
CON3-1	554.47	<u>1.38</u>	554.47	1.40	556.04	7.15	554.47	3.27	554.47	3.18
CON3-2	519.11	1.31	518.00	<u>3.58</u>	521.38	4.56	518.00	3.75	521.38	3.99
CON3-3	591.19	<u>1.40</u>	591.19	2.49	591.20	5.13	591.19	2.39	591.19	1.59
CON3-4	588.79	<u>1.27</u>	588.79	1.59	589.32	5.40	588.79	3.20	588.79	3.17
CON3-5	563.70	<u>1.27</u>	563.70	1.77	563.70	3.74	563.70	3.06	564.88	3.59
CON3-6	499.07	1.56	499.05	<u>1.06</u>	500.88	4.04	499.05	3.45	502.16	2.07
CON3-7	576.48	1.24	576.48	2.51	577.54	3.67	576.48	2.72	576.48	3.92
CON3-8	523.05	<u>1.28</u>	523.05	3.91	523.05	4.02	523.05	2.70	523.05	3.21
CON3-9	578.25	1.32	578.25	2.44	582.79	4.02	578.24	<u>2.82</u>	578.98	2.21
CON8-0	859.74	1.28	857.17	<u>2.22</u>	869.15	4.99	857.17	6.69	869.08	5.89
CON8-1	740.85	1.41	740.85	<u>1.31</u>	741.70	4.60	740.85	5.04	740.85	9.85
CON8-2	712.89	1.63	712.89	<u>1.50</u>	713.44	4.64	712.89	4.40	713.05	12.08
CON8-3	811.07	<u>1.38</u>	811.07	2.67	811.07	4.72	811.07	5.04	815.71	15.30
CON8-4	772.76	1.30	772.25	<u>0.74</u>	772.25	4.74	772.25	6.03	777.24	10.68
CON8-5	754.95	1.31	754.88	<u>1.25</u>	759.44	4.56	754.88	5.90	754.95	9.39
CON8-6	684.05	1.46	678.92	<u>3.97</u>	685.80	4.83	678.92	5.44	686.34	8.60
CON8-7	814.50	1.22	812.89	2.35	814.79	3.67	811.96	<u>4.88</u>	814.50	11.56
CON8-8	778.39	1.46	767.53	<u>2.19</u>	780.80	4.10	767.53	6.20	785.30	8.20
CON8-9	810.18	1.41	809.00	<u>0.76</u>	811.66	4.06	809.00	6.44	813.10	8.80
PROM.	760.11	1.33	758.56	1.87	764.35	4.12	758.54	4.11	762.89	6.82

Tabla 4.15: Resultados comparativos finales utilizando instancias de SalhiNagy

Instancia	AS-M		GTS		GA-M		ILS		PSO-M		SS	
	Mejor costo	T. (seg)	Mejor costo	T. (seg)	Mejor costo	T. (seg)	Mejor costo	T. (seg)	Mejor costo	T. (seg)	Mejor costo	T. (seg)
CMT1X	470.48	1.74	470.48	3.04	476.38	5.06	466.77	<u>1.96</u>	470.48	5.06	473.23	1.15
CMT1Y	471.25	1.35	470.48	2.40	472.87	4.56	466.77	<u>1.93</u>	470.48	4.89	475.14	0.92
CMT2X	691.13	6.64	682.39	<u>4.89</u>	697.28	10.72	684.21	12.51	693.96	8.25	691.11	12.61
CMT2Y	686.76	6.76	682.39	<u>5.95</u>	697.76	10.15	684.21	10.45	693.74	5.95	690.50	11.42
CMT3X	724.21	21.06	719.06	<u>7.89</u>	728.50	24.66	721.40	13.90	723.67	60.99	730.11	33.82
CMT3Y	723.52	22.69	719.06	<u>9.93</u>	725.30	24.70	721.40	11.45	723.23	63.47	725.26	25.79
CMT4X	865.47	94.77	854.21	17.23	880.66	63.16	852.83	<u>90.78</u>	878.06	103.76	860.97	214.03
CMT4Y	870.98	97.12	852.46	<u>21.48</u>	892.05	65.54	852.46	82.44	872.63	79.17	868.50	230.74
CMT5X	1077.34	273.74	1030.56	43.21	1068.63	134.22	1030.55	<u>95.78</u>	1090.08	115.89	1041.19	955.04
CMT5Y	1070.53	274.44	1031.69	40.35	1087.40	137.00	1031.17	<u>105.14</u>	1089.93	102.17	1069.32	448.69
CMT11X	847.74	43.28	831.09	<u>12.61</u>	858.94	40.64	839.39	22.51	883.28	14.86	883.63	28.63
CMT11Y	845.47	37.33	829.85	<u>11.44</u>	848.68	45.25	841.88	26.49	887.01	16.95	873.19	83.94
CMT12X	663.01	18.74	658.83	<u>9.03</u>	668.48	24.83	662.22	14.35	691.19	3.83	686.38	25.99
CMT12Y	663.19	18.18	660.47	<u>7.82</u>	672.60	24.47	662.22	10.82	679.79	3.81	679.17	11.68
PROM.	762.22	65.56	749.50	14.09	769.68	43.93	751.25	35.75	774.82	42.08	767.69	151.48

Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan los hallazgos y contribuciones de este trabajo y se dan algunas recomendaciones.

Seis metaheurísticas del estado del arte fueron estudiadas y posteriormente implementadas para la resolución del Problema de Enrutamiento de Vehículos con Entrega y Recepción Simultánea. Se probaron para los dos tipos de instancias Dethloff y SalhiNagy, y se realizó un estudio comparativo con las metaheurísticas afines.

Para instancias Dethloff la metaheurística implementada GTS-M dió resultados aproximados a los mejores reportados hasta el momento, reduciendo los tiempos de ejecución a un poco menos de la mitad. La metaheurística ILS-VND-M no logró superar los resultados publicados en el trabajo referenciado. La metaheurística GTS-M es altamente recomendada por su calidad de solución y menor tiempo.

Para instancias SalhiNagy las implementaciones de metaheurísticas de trayectoria (ILS-VND-M y GTS-M) no lograron superar los resultados publicados en los trabajos afines. Esto puede deberse a una falta de mejor entonación de los parámetros de las metaheurísticas. La implementación de SS-M tampoco logró superar los resultados de su afín. La metaheurística implementada que generó mejores resultados fue AS-M, sin embargo consume casi cuatro veces el tiempo de ejecución de la metaheurística con mejores resultados (GTS). De las metaheurísticas implementadas AS-M es recomendada por sus resultados aproximados de calidad y tiempo.

Independientemente del tipo de instancia utilizada, las metaheurísticas de trayectoria presentan mejor comportamiento que las poblacionales.

Cada una de las metaheurísticas implementadas se hibridó con VND. El aporte de VND fue fundamental para lograr un mejoramiento de las metaheurísticas implementadas con respecto a los trabajos referenciados. La hibridación sirvió para mejorar los mejores costos promedio en la mayoría de los casos.

La entonación de los parámetros de las metaheurísticas es un proceso de vital importancia ya que de ella depende en gran medida la calidad de las soluciones encontradas. Los muestreos realizados fueron de ayuda para encontrar aquellos parámetros que influyan más en la calidad de las soluciones, así como para

acotar los rangos de cada uno de los parámetros. Más adelante, las pruebas de entonación de parámetros lograron conseguir los valores de los parámetros que generaban, en promedio, las mejores soluciones.

En trabajos futuros se recomienda realizar de forma más exhaustiva la entonación de parámetros, realizando análisis de varianza a todos los parámetros, ya que el muestreo de los parámetros da como resultado sólo un estimador de la influencia de estos parámetros en el comportamiento de la metaheurística y no es una forma certera de conseguir los parámetros más influyentes, así como los rangos de entonación a utilizar. Adicionalmente, se recomienda la ejecución de las metaheurísticas utilizando otras clases de instancia, para de esta manera, asegurar el buen comportamiento de las metaheurísticas en la resolución de VRPSPD en casos de la vida real.

Bibliografía

- [CMT79] N Christofides, A Mingozzi, and P Toth. The vehicle routing problem. *Combinatorial optimization*. Chicester:Wiley; p. 315–38, 1979.
- [CS04] Ann Melissa Campbell and Martin Savelsbergh. Efficient insertion heuristics for vehicle routing and scheduling problems. *Transportation Science*, 2004.
- [CW05] J. F. Chen and T. H. Wu. Vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5):579–587, 2005.
- [Det01] J. Dethloff. Vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up. *OR Spektrum* 23: 79-96, 2001.
- [DG91] M Dorigo and LM Gambardella. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 1: 53-66, 1991.
- [DR59] G. B. Dantzig and J. H. Ramser. The truck dispatching problem. *Management Science*, page 6:80 – 91, 1959.
- [EC] Mingyong Lai Erbao Cao. *An Improved Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up Service*. PhD thesis, College of Economics and Trade, Hunan University, Hunan Province Laboratory of Logistics Information and Simulation Technology, Changsha, 410079, China.
- [GHL94] M. Gendreau, A. Hertz, and G. Laporte. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem. *Management Science*, 40(10), 1276–1290, 1994.
- [Glo86] Fred Glover. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Comput. Oper. Res.*, 1986.
- [HM97] Pierre Hansen and Nenad Mladenović. Variable neighborhood search. *Computers & Operations Research*, 24(11):1097–1100, 1997.

- [HM01] Pierre Hansen and Nenad Mladenović. Variable neighborhood search: Principles and applications. *European Journal of Operational Research*, 2001.
- [Kac09] Voratas Kachitvichyanukul. A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & Operations Research* 36 1693 – 1702, 2009.
- [LCS03] Helena R. Lourenco, Oliver C. Martin, and Thomas Stützle. Iterated local search. *Handbook of Metaheuristics*, pages 321–353, 2003.
- [Lon11] Roy Longbottom. Roy longbottom pc benchmark collection, 2011.
- [LP10] E. Level and D. Palhazi. Metaheurística híbrida para resolver el problema de enrutamiento de vehículos (vrp). *Universidad Simón Bolívar*, 2010.
- [MB07] D. Mester and O. Braysy. Active-guided evolution strategies for large-scale capacitated vehicle routing problems. *Computers and Operations Research*, 34(10), 2964–2975, 2007.
- [Min89] H. Min. The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points. *Transportation Research*, pages 23A:377–386, 1989.
- [MLGS10] Gladys Maquera, Manuel Laguna, Dan Abensur Gandelman, and Annibal Parracho Sant’Anna. *Scatter Search Applied to the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup*. PhD thesis, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión – J, Peru, Leeds School of Business, University of Colorado, Boulder, CO, USA, Programa de Engenharia de Produção, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, RJ, Brasil, 2010.
- [MOF91] O. Martin, S. W. Otto, and E. W. Felten. Large-step markov chains for the traveling salesman. *Complex Systems*, 5:299–326, 1991.
- [NB00] W. P. Nanry and J. W. Barnes. Solving the pickup and delivery problem with time windows using reactive tabu search. *Transportation Research Part B*, 34(2), 107–121, 2000.
- [NS05] G. Nagy and S. Salhi. Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 162:126–141, 2005.
- [Pae88] H. Paessens. The savings algorithm for the vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 34(3), 336–344, 1988.

- [PH03] Nenad Mladenović Pierre Hansen. Variable neighborhood search. *Handbook of Metaheuristics*, pages 145–184, 2003.
- [PP05] Kachitvichyanukul V Pongchairerks P. A non-homogenous particle swarm optimization with multiple social structures. *Proceedings of international conference on simulation and modeling. p. A5-02*, 2005.
- [RR96] C. Rego and C. Roucairol. A parallel tabu search algorithm using ejection chains for the vehicle routing problem. *Meta-heuristics Theory and Applications*, 253–295, 1996.
- [SN01] S. Salhi and G. Nagy. A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling. *OR Spektrum*;23(1):79–96, 2001.
- [SOdAFC08] Anand Subramanian, Luiz Satoru Ochi, and Luédio dos Anjos Formiga Cabral. An efficient ils heuristic for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. 2008.
- [TCL02] *Estadística Matemática con Aplicaciones ; p. 348–354*. Thomsom, 2002.
- [TZK07] C. D. Tarantilis, E. E. Zachariadis, and C. T. Kiranoudis. A hybrid guided local search for the vehicle-routing problem with intermediate replenishment facilities. *Journal on Computing*, 2007.
- [VPMO03] K Veeramachaneni, T Peram, C Mohan, and LA Osadciw. Optimization using particle swarms with near neighbor interaction. *Proceedings of genetic and evolutionary computation conference. p. 110–21*, 2003.
- [ZC05] Y. Zhong and M. H. Cole. A vehicle routing problem with backhauls and time windows: A guided local search solution. *Transportation Research Part E*, 41(2), 131–144, 2005.
- [ZTK09] Emmanouil E. Zachariadis, Christos D. Tarantilis, and Chris T. Kiranoudis. A hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service. *Expert Systems with Applications* 36 1070–1081, 2009.
- [Ça10] Bülent Çatay. A new saving-based ant algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. 2010.

Apéndice A

Pseudocódigos de algoritmos utilizados

A continuación se presentan pseudocódigos de algoritmos descritos en distintas secciones del libro.

Algoritmo A.1: Pseudocódigo de construcción de las rutas de los vehículos a partir de la estructura de datos de representación de la solución

```
100 Entrada: Numero de rutas  $k$ , Arreglo de enteros  $inicio$ , Arreglo de enteros  $proximo$ 
101
102  $i := 0$ 
103  $j := 0$ 
104 Cadena de enteros  $s := < 0 >$ 
105 while ( $i \leq k$ ) do
106      $j := inicio[i]$ 
107     while( $proximo[j] \neq 0$ )
108          $s := s || < proximo[j] >$ 
109          $j := proximo[j]$ 
110     end while
111      $s := s || < 0 >$ 
112      $i := i+1$ 
113 end while
114
115 return  $s$ 
```

Algoritmo A.2: Pseudocódigo de VND

```

100 Entrada:  $S_0$ 
101  $k := 1, \dots, K_{max}$ 
102 Seleccionar vecindades  $N_k$  para
103 //  $N_k$  es el conjunto de vecindades inter-ruta utilizados en el siguiente orden:
104 //  $k=1$  shift(1,0),  $k=2$  crossover(),  $k=3$  Swap(1,1),  $k=4$  Shift(2,0),  $k=5$  Swap(2,1) y
105 //  $k=6$  Swap(2,2).
106
107  $S_{mejor} := S_0$ 
108  $k := 1$ 
109 while ( $k < k_{max} + 1$ )
110    $S' := \text{GenerarVecindadVND}(N_k, (S_{mejor}))$ 
111   if ( $\text{Costo}(S_{mejor}) > \text{Costo}(S')$ )
112      $S'' := \text{Or-opt}(S')$ 
113      $S''' := 2\text{-opt}(S'')$ 
114      $S'''' := \text{Swap}(S''')$ 
115      $S''''' := \text{Reverse}(S''''')$ 
116     if ( $\text{Costo}(S') > \text{Costo}(S''''')$ )
117        $S_{mejor} := S'''''$ 
118     else
119        $S_{mejor} := S'$ 
120     end if
121      $k := 1$ 
122   else
123      $k := k + 1$ 
124   end if
125 end while
126
127 return  $S_{mejor}$ 

```

Algoritmo A.3: Pseudocódigo de ILS-VND-M

```

100 Entrada:  $y$ ,  $n$ ,  $LS$ ,  $k$ 
101
102  $i := 0$ 
103  $Costo(S_{mejor}) := \infty$ 
104 while ( $i < n$ ) do
105      $S := ConstruirSolucionInicial(y, k)$ 
106      $S := VND(S)$ 
107      $iterILS := 0$ 
108     while ( $iterILS < LS$ ) do
109          $iterILS := iterILS + 1$ 
110          $S' := Perturbar(S)$ 
111          $S_{actual} := VND(S')$ 
112         if ( $Costo(S) > Costo(S_{actual})$ )
113              $S := S_{actual}$ 
114              $iterILS := 0$ 
115         end if
116     end while
117     if ( $Costo(S_{mejor}) > Costo(S)$ )
118          $S_{mejor} := S$ 
119     end if
120      $i := i + 1$ 
121 end while
122
123 return  $S_{mejor}$ 

```

Algoritmo A.4: Pseudocódigo de GTS-M

```

100 Entrada:  $mni$ 
101
102  $Lista\_Lista\_Tabu := \emptyset$ 
103  $S_0 := ConstruirSolucionInicial()$ 
104  $S_{mejor} := S_0$ 
105  $S_{actual} := S_0$ 
106  $it = 0$ 
107 while ( $it < mni$ ) do
108      $vecindad := ConstruirVecindad(S_{actual})$ 
109      $Costo(S_{optima}) := \infty$ 
110     foreach  $x \in vecindad$  do
111         if ( $Costo(x) > Costo(S_{mejor})$ )
112              $S_{optima} := x$ 
113         else
114             if ( $x \notin Lista\_Tabu$ )
115                 if ( $Costo(x) < Costo(S_{optima})$ )
116                      $S_{optima} := x$ 
117                 end if
118             end if
119         end if
120     end foreach
121      $S_{actual} := S_{optima}$ 
122     AgregarMovimientoReverso( $Lista\_Tabu$ )
123     if ( $Costo(S_{actual}) < Costo(S_{mejor})$ )
124          $S_{mejor} := S_{actual}$ 
125          $it := 0$ 
126     end if
127      $peor\_arco := ArcoMaximiceUtilidad(S_{actual})$ 
128     PenalizarArco( $peor\_arco$ )
129     SustraerMovimiento( $Lista\_Tabu$ )
130      $it := it + 1$ 
131 end while
132
133 return  $S_{mejor}$ 

```

Algoritmo A.5: Pseudocódigo de AS-M

```

100 Entrada:  $n$ 
101
102 ComputarVisibilidad()
103  $S_0 := \text{ConstruirSolucionInicial}()$ 
104 InicializarFeromonas( $S_0$ )
105  $S_{mejor} := S_0$ 
106  $hormigas := \text{CrearHormigas}()$ 
107  $\text{Costo}(S_{mejor}) := \infty$ 
108  $it := 0$ 
109 while ( $it < n$ ) do
110     foreach  $h \in hormigas$  do
111         while ( $\neg \text{todos\_clientes\_visitados}$ ) do
112             Seleccionar proximo cliente a visitar y agregarlo a la ruta
113             if ( $\neg \text{clientes\_factibles}$ )
114                 Retornar al deposito y crear una nueva ruta
115             end if
116         end while
117          $S_{actual} := \text{ObtenerSolucion}(h)$ 
118         VND( $S_{actual}$ )
119         if ( $\text{Costo}(S_{actual}) < \text{Costo}(S_{mejor})$ )
120              $S_{mejor} := S_{actual}$ 
121         end if
122     end foreach
123     EvaporarReforzarFeromonas()
124      $it := it + 1$ 
125 end while
126
127 return  $S_{mejor}$ 

```

Algoritmo A.6: Pseudocódigo de SS-M

```

100 Metodo de Generacion y Diversificacion – Crea un conjunto de soluciones diversas  $P$  de
    tamano  $Psize$ 
101
102 Construir el  $RefSet$  con  $b$  mejores y diversas soluciones de  $P$ ,  $RefSet := \{S^1, \dots, S^b\}$ .
    Ordenarlas de manera creciente en base a su costo.
103
104  $S_{mejor} := S^1$ 
105  $NewSolutions := \mathbf{True}$ 
106 while ( $NewSolutions$ ) do
107      $NewSubset := \text{GenerarSubconjuntos}(RefSet)$ 
108      $NewSolutions := \mathbf{False}$ 
109     while ( $NewSubset \neq \emptyset$ ) do
110          $Ss := \text{Seleccionar}(NewSubset)$ 
111          $S := \text{Combinar}(Ss)$ 
112          $x := \text{Mejorar}(S)$ 
113         if ( $(x \notin RefSet) \wedge (Costo(x) < Costo(S^b))$ )
114              $S^b := x$ 
115             Ordenar( $RefSet$ )
116              $NewSolutions := \mathbf{True}$ 
117         end if
118         Eliminar( $Ss$ ,  $NewSubset$ )
119     end while
120 end while
121
122  $i := 0$ 
123 while ( $i < b$ ) do
124      $S^{i+1} := \text{VND}(S^{i+1})$ 
125 end while
126 Ordenar( $Refset$ )
127  $S_{mejor} := S^1$ 
128
129 return  $S_{mejor}$ 

```

Algoritmo A.7: Pseudocódigo de GA-M

```

100 Entrada: p, maxgen, cprob, mprob
101
102 Pop := GenerarPoblacionInicial(p)
103 fitnessP := CalcularFitness(Pop,p)
104
105 i:=0
106 while (i < n) do
107     j:=0
108     while (j < (popsize/2)) do
109         padres := Seleccion(Pop)
110         k := ((randomInt())Mod100)+1
111         if(k ≤ cprob)
112             hijos := CrossOver(padres)
113             k := ((randomInt())Mod100)+1
114             if(k ≤ mprob)
115                 hijos := Mutacion(hijos)
116             end if
117             fitnessHijos := CalcularFitness(hijos)
118             Pop := ActualizarPoblacion(hijos, fitnessHijos, Pop,fitnessP)
119         end if
120         j:=j+1
121     end while
122     i := i+1
123 end while
124
125 i:=0
126 while(i<p)do
127      $P_i$  := VND( $P_i$ )
128     i:=i+1
129 end while
130 S := SeleccionarMejor(P)
131 return S

```


Algoritmo A.8: Pseudocódigo de PSO-M

```

100 Entrada:  $n$ 
101 Entrada:  $L$ 
102
103  $S_{mejor} := \infty$ 
104  $enjambre := \text{CrearParticulas}(L)$ 
105 foreach  $particula \in enjambre$  do
106      $S_{actual} := \text{ConstruirSolucionInicial}()$ 
107      $particula := \text{Codificar}(S_{actual})$ 
108      $\text{Velocidad}(particula) := 0$ 
109 end foreach
110
111  $it := 0$ 
112 while ( $it < n$ ) do
113     foreach  $particula \in enjambre$  do
114          $S_{actual} := \text{Decodificar}(particula)$ 
115          $\text{VND}(S_{actual})$ 
116          $particula := \text{Codificar}(S_{actual})$ 
117          $\text{ActualizarPBest}(particula)$ 
118          $\text{ActualizarLBest}(particula)$ 
119          $\text{ActualizarNBest}(particula)$ 
120         if ( $\text{Costo}(S_{actual}) < \text{Costo}(S_{mejor})$ )
121              $S_{mejor} := S_{actual}$ 
122              $\text{ActualizarGBest}()$ 
123         end if
124          $\text{ActualizarInercia}()$ 
125          $\text{ActualizarVelocidad}(particula)$ 
126          $\text{ActualizarPosicion}(particula)$ 
127     end foreach
128      $it := it + 1$ 
129 end while
130
131 return  $S_{mejor}$ 

```

Apéndice B

Tablas de comparación de metaheurísticas

B.1. GTS-M

Tabla B.1: Resultados de GTS-M, utilizando instancias de Dethloff

Instancia	GTS		GTS-M				
	Costo	T.	Costo	T.	Costo prom.	T. prom.	%Gap
SCA3-0	636.06	2.12	<u>635.67</u>	1.52	638.59	1.50	-0.06
SCA3-1	697.84	1.59	697.84	1.62	698.24	1.57	0.00
SCA3-2	659.34	1.93	659.34	0.92	659.34	1.41	0.00
SCA3-3	680.04	2.34	680.04	3.84	681.62	1.72	0.00
SCA3-4	690.50	2.01	690.50	2.05	692.99	1.92	0.00
SCA3-5	659.90	1.92	659.90	1.11	662.09	1.48	0.00
SCA3-6	651.09	3.30	651.09	1.55	651.52	1.43	0.00
SCA3-7	659.17	2.23	659.17	0.68	666.43	1.47	0.00
SCA3-8	719.47	2.53	719.47	1.11	719.80	1.74	0.00
SCA3-9	681.00	2.89	681.00	1.21	681.55	1.65	0.00
SCA8-0	961.50	2.40	961.50	1.00	977.46	1.95	0.00
SCA8-1	1050.20	2.66	<u>1049.65</u>	2.34	1064.18	1.37	-0.05
SCA8-2	1039.64	3.50	1039.64	1.43	1049.81	1.45	0.00
SCA8-3	983.34	2.46	983.34	2.40	1006.85	1.66	0.00
SCA8-4	1065.49	2.01	1065.49	1.92	1069.93	1.61	0.00
SCA8-5	1027.08	3.37	1027.08	2.01	1043.66	1.42	0.00
SCA8-6	971.82	2.00	971.82	0.95	978.22	1.34	0.00
SCA8-7	1052.17	3.24	<u>1051.28</u>	1.67	1064.38	1.55	-0.08
SCA8-8	1071.18	2.57	<u>1071.18</u>	1.30	1076.29	1.15	0.00
SCA8-9	1060.50	3.09	1060.50	2.20	1067.23	1.45	0.00
CON3-0	616.52	2.91	616.52	2.26	623.07	1.82	0.00
CON3-1	554.47	2.22	554.47	1.40	556.06	1.46	0.00
CON3-2	519.26	2.49	518.00	3.58	522.35	1.62	-0.24
CON3-3	591.19	2.08	<u>591.19</u>	2.49	593.81	1.56	0.00
CON3-4	589.32	2.34	588.79	1.59	592.91	1.49	-0.09
CON3-5	563.70	2.58	563.70	1.77	567.71	1.39	0.00
CON3-6	500.80	2.23	<u>499.05</u>	1.06	501.21	1.62	-0.35
CON3-7	576.48	1.80	576.48	2.51	582.81	1.70	0.00
CON3-8	523.05	3.76	523.05	3.91	523.05	1.25	0.00
CON3-9	580.05	2.35	<u>578.25</u>	2.44	583.99	1.62	-0.31
CON8-0	857.17	2.55	857.17	2.22	877.23	1.41	0.00
CON8-1	740.85	2.79	740.85	1.31	755.43	1.44	0.00
CON8-2	713.44	2.15	712.89	1.50	721.38	1.56	-0.08
CON8-3	811.07	2.86	811.07	2.67	822.00	1.63	0.00
CON8-4	772.25	2.23	772.25	0.74	781.12	1.55	0.00
CON8-5	756.91	4.32	<u>754.88</u>	1.25	758.81	1.40	-0.27
CON8-6	678.92	3.00	678.92	3.97	692.10	1.61	0.00
CON8-7	811.96	1.84	812.89	2.35	819.24	1.54	0.11
CON8-8	767.53	3.15	767.53	2.19	775.47	1.36	0.00
CON8-9	809.00	2.90	809.00	0.76	815.65	1.50	0.00
PROM.	758.78	2.57	758.56	1.87	765.39	1.53	-0.04

Tabla B.2: Resultados de GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy

Instancia	GTS		GTS-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
CMT1X	470.48	3.04	470.48	1.74	472.08	1.69	0.00
CMT1Y	470.48	2.40	470.48	0.80	472.85	1.50	0.00
CMT2X	682.39	4.89	682.39	2.94	686.99	2.56	0.00
CMT2Y	682.39	5.95	682.39	4.84	687.45	2.77	0.00
CMT3X	719.06	7.89	718.40	7.32	727.00	5.60	-0.09
CMT3Y	719.06	9.93	723.40	3.02	728.30	4.77	0.60
CMT4X	854.21	17.23	855.09	29.81	870.76	17.27	0.10
CMT4Y	852.46	21.48	854.68	12.06	874.23	14.87	0.26
CMT5X	1030.56	43.21	1036.17	34.35	1066.62	28.63	0.54
CMT5Y	1031.69	40.35	1027.60	46.03	1066.36	27.14	-0.40
CMT11X	831.09	12.61	871.93	5.20	911.93	15.14	4.91
CMT11Y	829.85	11.44	851.74	18.23	905.47	12.58	2.64
CMT12X	658.83	9.03	663.64	6.53	677.07	4.58	0.73
CMT12Y	660.47	7.82	670.10	8.19	680.86	5.68	1.46
PROM.	749.50	14.09	755.61	12.93	773.43	10.34	0.77

B.2. ILS-VND-M

Tabla B.3: Resultados de ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff

Instancia	ILS			ILS-VND-M					
	Costo	T.	γ	Costo	T.	Costo prom.	T. prom.	γ	%Gap
SCA3-0	635.62	1.60	0.40	636.06	5.05	641.14	4.74	0.50	0.07
SCA3-1	697.84	2.00	0.00	697.84	4.66	704.58	4.91	0.30	0.00
SCA3-2	659.34	2.13	0.00	659.34	5.61	670.74	5.12	0.70	0.00
SCA3-3	680.04	2.02	0.10	680.04	4.90	684.47	5.01	0.40	0.00
SCA3-4	690.50	2.36	0.00	690.50	4.78	697.71	4.89	0.50	0.00
SCA3-5	659.90	2.09	0.10	659.90	5.09	683.41	4.75	0.30	0.00
SCA3-6	651.09	2.20	0.00	651.09	5.46	654.98	5.08	0.00	0.00
SCA3-7	659.17	3.02	1.00	664.88	5.12	671.43	4.97	0.50	0.87
SCA3-8	719.47	1.93	0.00	719.47	5.75	724.92	5.08	1.00	0.00
SCA3-9	681.00	1.84	0.00	681.00	4.56	689.38	4.64	0.50	0.00
SCA8-0	961.50	4.51	0.10	970.64	5.41	1026.34	3.88	0.30	0.95
SCA8-1	1049.65	5.33	0.60	1050.93	4.73	1092.84	3.97	0.60	0.12
SCA8-2	1039.64	6.12	0.40	1051.21	3.61	1078.00	3.74	0.70	1.11
SCA8-3	983.34	6.15	0.80	1002.63	3.14	1034.67	3.76	1.00	1.96
SCA8-4	1065.49	4.90	0.90	1067.55	3.96	1109.56	4.01	0.50	0.19
SCA8-5	1027.08	6.15	0.70	1042.30	4.10	1081.86	3.93	0.80	1.48
SCA8-6	971.82	4.43	0.00	971.82	3.39	1009.95	4.29	0.90	0.00
SCA8-7	1051.28	9.55	0.40	1067.11	4.63	1096.02	4.19	0.10	1.51
SCA8-8	1071.18	3.66	0.00	1071.18	3.92	1097.02	3.88	0.70	0.00
SCA8-9	1060.50	5.54	0.60	1060.50	4.55	1100.56	3.97	0.10	0.00
CON3-0	616.52	3.61	1.00	616.52	3.88	637.12	4.90	0.40	0.00
CON3-1	554.47	3.27	1.00	554.47	4.97	562.30	4.87	0.20	0.00
CON3-2	518.00	3.75	0.70	521.38	5.12	526.63	4.80	0.00	0.65
CON3-3	591.19	2.39	0.00	591.19	4.25	598.74	4.95	0.40	0.00
CON3-4	588.79	3.20	0.90	588.79	4.88	599.75	4.70	0.60	0.00
CON3-5	563.70	3.06	0.50	563.70	4.50	581.84	4.79	0.40	0.00
CON3-6	499.05	3.45	1.00	499.05	4.75	509.25	4.92	0.60	0.00
CON3-7	576.48	2.72	0.60	576.48	4.18	593.89	4.93	0.30	0.00
CON3-8	523.05	2.70	0.10	523.05	5.19	530.15	5.01	0.90	0.00
CON3-9	578.24	2.82	0.70	578.25	4.90	590.40	5.21	0.30	0.00
CON8-0	857.17	6.69	0.90	857.17	4.26	908.34	3.84	0.20	0.00
CON8-1	740.85	5.04	0.90	742.29	3.10	773.51	4.05	0.80	0.19
CON8-2	712.89	4.40	1.00	713.60	4.36	736.12	4.18	0.30	0.10
CON8-3	811.07	5.04	0.80	814.50	5.04	843.77	4.31	0.80	0.42
CON8-4	772.25	6.03	0.80	776.60	4.74	825.05	3.71	0.90	0.56
CON8-5	754.88	5.90	0.40	759.87	2.84	786.40	3.83	0.30	0.66
CON8-6	678.92	5.44	0.80	691.30	2.94	712.07	4.33	1.00	1.82
CON8-7	811.96	4.88	0.30	814.50	4.18	836.31	3.92	0.60	0.31
CON8-8	767.53	6.20	0.80	775.62	4.45	799.86	4.00	0.40	1.05
CON8-9	809.00	6.44	0.70	810.18	3.92	847.20	4.09	0.20	0.15
PROM.	758.54	4.11		761.61	4.47	783.71	4.45		0.35

Tabla B.4: Resultados de ILS-VND-M, utilizando instancias de SalhiNagy

Instancia	ILS-VND			ILS-VND-M					
	Mejor costo	T.(seg)	γ	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	γ	%Gap
CMT1X	466.77	1.96	0.30	470.48	4.43	482.96	4.61	0.05	0.79
CMT1Y	466.77	1.93	0.35	470.48	4.68	481.25	4.36	0.15	0.79
CMT2X	684.21	12.51	0.35	685.96	10.26	711.33	9.79	0.00	0.26
CMT2Y	684.21	10.45	0.10	694.80	11.78	710.06	10.16	0.20	1.55
CMT3X	721.40	13.90	0.50	722.84	19.64	737.43	18.71	0.00	0.20
CMT3Y	721.40	11.45	0.50	723.67	19.83	741.25	19.67	0.30	0.31
CMT4X	852.83	90.78	0.40	867.22	47.10	894.29	45.44	0.00	1.69
CMT4Y	852.46	82.44	0.45	867.74	46.34	895.34	47.15	0.15	1.79
CMT5X	1030.55	95.78	0.15	1058.84	78.09	1096.99	91.58	0.40	2.75
CMT5Y	1031.17	105.14	0.30	1063.75	84.06	1097.46	90.52	0.05	3.16
CMT11X	839.39	22.51	0.45	850.66	38.34	892.22	32.60	0.30	1.34
CMT11Y	841.88	26.49	0.45	847.67	30.42	876.59	32.21	0.35	0.69
CMT12X	662.22	14.35	0.05	671.76	19.01	683.18	17.09	0.35	1.44
CMT12Y	662.22	10.82	0.10	673.01	17.64	683.36	17.46	0.00	1.63
PROM.	751.25	35.75		762.06	30.83	784.55	31.53		1.31

B.3. AS-M

Tabla B.5: Resultados de AS-M, utilizando instancias de Dethloff

Instancia	ACO		ACO-M				
	Costo	T.	Costo	T.	Costo prom.	T. prom.	%Gap
SCA3-0	636.10	N/A	<u>636.06</u>	1.21	636.23	1.26	-0.01
SCA3-1	700.10	N/A	<u>697.84</u>	1.35	697.84	1.40	-0.32
SCA3-2	659.30	N/A	659.34	1.33	661.75	1.25	0.01
SCA3-3	680.00	N/A	680.04	1.26	680.08	1.24	0.01
SCA3-4	690.50	N/A	690.50	1.34	690.50	1.34	0.00
SCA3-5	670.10	N/A	659.90	1.30	663.62	1.34	-1.52
SCA3-6	651.10	N/A	<u>651.09</u>	1.32	653.03	1.30	-0.00
SCA3-7	666.10	N/A	<u>659.17</u>	1.26	666.01	1.18	-1.04
SCA3-8	719.50	N/A	<u>719.47</u>	1.29	720.34	1.30	-0.00
SCA3-9	681.00	N/A	681.00	1.15	681.07	1.11	0.00
SCA8-0	961.50	N/A	961.50	1.32	979.44	1.36	0.00
SCA8-1	1063.00	N/A	<u>1052.71</u>	1.20	1060.59	1.19	-0.97
SCA8-2	1040.6	N/A	1044.24	1.13	1049.75	1.07	0.35
SCA8-3	985.90	N/A	<u>985.47</u>	1.28	1004.04	1.26	-0.04
SCA8-4	1071.00	N/A	<u>1065.49</u>	1.36	1069.27	1.32	-0.51
SCA8-5	1054.30	N/A	<u>1034.74</u>	1.44	1049.81	1.46	-1.86
SCA8-6	972.50	N/A	<u>972.48</u>	1.44	978.84	1.43	-0.00
SCA8-7	1059.70	N/A	1066.65	1.36	1069.62	1.38	0.66
SCA8-8	1082.70	N/A	<u>1071.18</u>	1.48	1075.89	1.45	-1.06
SCA8-9	1081.40	N/A	<u>1065.60</u>	1.20	1067.40	1.16	-1.46
CON3-0	616.50	N/A	616.52	1.46	622.14	1.42	0.00
CON3-1	555.60	N/A	<u>554.47</u>	1.38	557.09	1.38	-0.20
CON3-2	521.40	N/A	<u>519.11</u>	1.31	521.03	1.29	-0.44
CON3-3	591.20	N/A	<u>591.19</u>	1.40	591.24	1.44	-0.00
CON3-4	589.30	N/A	588.79	1.27	590.28	1.22	-0.09
CON3-5	563.70	N/A	563.70	1.27	566.64	1.32	0.00
CON3-6	499.20	N/A	<u>499.07</u>	1.56	502.31	1.51	-0.03
CON3-7	577.50	N/A	<u>576.48</u>	1.24	578.59	1.21	-0.18
CON3-8	523.10	N/A	<u>523.05</u>	1.28	523.61	1.30	-0.01
CON3-9	578.20	N/A	578.25	1.32	585.38	1.29	0.01
CON8-0	858.20	N/A	859.74	1.28	872.98	1.32	0.18
CON8-1	740.90	N/A	<u>740.85</u>	1.41	744.43	1.38	-0.01
CON8-2	714.30	N/A	<u>712.89</u>	1.63	715.34	1.57	-0.20
CON8-3	812.30	N/A	<u>811.07</u>	1.38	816.57	1.37	-0.15
CON8-4	770.10	N/A	772.76	1.30	780.95	1.25	0.35
CON8-5	766.60	N/A	<u>754.95</u>	1.31	760.71	1.33	-1.52
CON8-6	697.20	N/A	684.05	1.46	694.02	1.54	-1.89
CON8-7	814.80	N/A	<u>814.50</u>	1.22	816.40	1.23	-0.04
CON8-8	771.30	N/A	778.39	1.46	785.59	1.53	0.92
CON8-9	815.10	N/A	<u>810.18</u>	1.41	813.93	1.45	-0.60
PROM.	762.57	419.43	760.11	1.33	764.86	1.33	-0.29

Tabla B.6: Resultados de AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy

Instancia	AS		AS-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
CMT1X	470.67	N/A	<u>470.48</u>	1.74	474.70	1.42	-0.04
CMT1Y	472.37	N/A	<u>471.25</u>	1.35	474.94	1.41	-0.24
CMT2X	705.21	N/A	<u>691.13</u>	6.64	700.84	6.86	-2.00
CMT2Y	704.16	N/A	<u>686.76</u>	6.76	700.44	6.59	-2.47
CMT3X	726.55	N/A	<u>724.21</u>	21.06	729.24	21.57	-0.32
CMT3Y	729.02	N/A	<u>723.52</u>	22.69	731.28	22.67	-0.75
CMT4X	893.90	N/A	<u>865.47</u>	94.77	883.96	96.93	-3.18
CMT4Y	895.25	N/A	<u>870.98</u>	97.12	886.17	97.64	-2.71
CMT5X	1115.75	N/A	<u>1077.34</u>	273.74	1085.90	274.51	-3.44
CMT5Y	1112.61	N/A	<u>1070.53</u>	274.44	1085.51	275.57	-3.78
CMT11X	887.36	N/A	<u>847.74</u>	43.28	865.98	42.96	-4.46
CMT11Y	874.13	N/A	<u>845.47</u>	37.33	869.98	37.90	-3.28
CMT12X	681.02	N/A	<u>663.01</u>	18.74	675.11	18.70	-2.64
CMT12Y	671.32	N/A	<u>663.19</u>	18.18	674.76	17.89	-1.21
PROM.	781.38	1131.81	762.22	65.56	774.20	65.90	-2.18

B.4. SS-M

Tabla B.7: Resultados de SS-M, utilizando instancias de Dethloff

Instancia	SS		SS-M				
	Costo	T.	Costo	T.	Costo prom.	T. prom.	%Gap
SCA3-0	640.55	N/A	640.55	2.45	640.55	2.95	0.00
SCA3-1	697.84	N/A	697.84	1.91	700.30	3.70	0.00
SCA3-2	659.34	N/A	659.34	3.01	664.13	3.74	0.00
SCA3-3	680.04	N/A	680.04	3.26	681.08	3.54	0.00
SCA3-4	690.50	N/A	690.50	4.81	690.98	3.14	0.00
SCA3-5	659.90	N/A	665.04	2.29	673.31	2.57	0.78
SCA3-6	653.81	N/A	<u>652.94</u>	2.97	653.52	3.03	-0.13
SCA3-7	659.17	N/A	666.15	3.51	670.58	3.39	1.06
SCA3-8	719.47	N/A	719.47	3.88	719.70	3.31	0.00
SCA3-9	681.00	N/A	681.00	3.80	682.57	4.01	0.00
SCA8-0	981.47	N/A	965.26	9.36	985.82	8.54	-1.65
SCA8-1	1077.44	N/A	<u>1053.57</u>	17.13	1069.26	9.85	-2.22
SCA8-2	1050.98	N/A	<u>1050.37</u>	13.90	1052.30	9.72	-0.06
SCA8-3	983.34	N/A	1014.10	8.64	1027.24	7.63	3.13
SCA8-4	1073.46	N/A	<u>1065.49</u>	9.08	1080.71	8.69	-0.74
SCA8-5	1047.24	N/A	<u>1040.18</u>	13.45	1057.39	10.34	-0.67
SCA8-6	995.59	N/A	<u>972.48</u>	10.50	980.72	9.08	-2.32
SCA8-7	1068.56	N/A	<u>1067.49</u>	9.42	1073.92	9.24	-0.10
SCA8-8	1080.58	N/A	<u>1071.18</u>	8.71	1090.33	8.87	-0.87
SCA8-9	1084.80	N/A	<u>1073.62</u>	11.62	1082.97	13.35	-1.03
CON3-0	631.39	N/A	<u>617.59</u>	1.85	621.83	2.32	-2.19
CON3-1	554.47	N/A	554.47	3.18	559.74	2.97	0.00
CON3-2	522.86	N/A	521.38	3.99	521.60	2.64	-0.28
CON3-3	591.19	N/A	591.19	1.59	591.40	2.89	0.00
CON3-4	591.12	N/A	588.79	3.17	591.10	2.88	-0.39
CON3-5	563.70	N/A	564.88	3.59	565.86	2.46	0.21
CON3-6	506.19	N/A	<u>502.16</u>	2.07	502.95	1.97	-0.80
CON3-7	577.68	N/A	<u>576.48</u>	3.92	581.42	3.52	-0.21
CON3-8	523.00	N/A	523.05	3.21	523.70	3.46	0.01
CON3-9	580.05	N/A	578.98	2.21	587.54	2.65	-0.18
CON8-0	860.48	N/A	869.08	5.89	884.50	8.02	1.00
CON8-1	740.85	N/A	740.85	9.85	748.62	9.70	0.00
CON8-2	723.32	N/A	<u>713.05</u>	12.08	717.21	8.79	-1.42
CON8-3	811.23	N/A	815.71	15.30	830.53	10.34	0.55
CON8-4	772.25	N/A	777.24	10.68	787.88	10.06	0.65
CON8-5	756.91	N/A	<u>754.95</u>	9.39	763.88	10.53	-0.26
CON8-6	678.92	N/A	686.34	8.60	694.54	8.24	1.09
CON8-7	814.50	N/A	814.50	11.56	816.88	10.20	0.00
CON8-8	775.59	N/A	785.30	8.20	790.54	7.04	1.25
CON8-9	809.00	N/A	813.10	8.80	822.63	9.10	0.51
PROM.	764.24	2.49	762.89	6.82	769.54	6.21	-0.13

Tabla B.8: Resultados de SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy

Instancia	SS		SS-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
CMT1X	473.23	1.15	<u>470.67</u>	1.80	473.84	1.73	-0.54
CMT1Y	475.14	0.92	<u>472.37</u>	2.60	473.23	2.43	-0.58
CMT2X	691.11	12.61	699.80	14.75	708.96	17.39	1.26
CMT2Y	690.50	11.42	700.28	18.89	711.13	14.05	1.42
CMT3X	730.11	33.82	<u>726.98</u>	30.34	738.05	35.62	-0.43
CMT3Y	725.26	25.79	727.77	27.80	737.32	36.29	0.35
CMT4X	860.97	214.03	866.65	421.30	905.41	231.34	0.66
CMT4Y	868.50	230.74	872.44	321.56	905.47	232.94	0.45
CMT5X	1041.19	955.04	1072.03	773.75	1110.77	1071.87	2.96
CMT5Y	1069.32	448.69	1077.14	1142.85	1110.33	949.78	0.73
CMT11X	883.63	28.63	<u>874.80</u>	68.83	903.88	40.83	-1.00
CMT11Y	873.19	83.94	880.42	92.37	906.81	44.55	0.83
CMT12X	686.38	25.99	<u>673.49</u>	232.82	682.30	59.59	-1.88
CMT12Y	679.17	11.68	<u>675.05</u>	74.83	684.71	63.02	-0.61
PROM.	767.69	151.48	770.71	230.32	789.44	200.10	0.26

B.5. PSO-M

Tabla B.9: Resultados de PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy

Instancia	PSO		PSO-M				
	Mejor costo	T.(seg)	Mejor costo	T.(seg)	Costo prom.	T. prom.(seg)	%Gap
CMT1X	467.00	41.20	470.48	5.06	477.81	4.98	0.75
CMT1Y	467.00	41.20	470.48	4.89	476.11	5.13	0.75
CMT2X	710.00	55.62	693.96	8.25	735.46	6.99	-2.26
CMT2Y	710.00	55.62	693.74	5.95	721.04	6.77	-2.29
CMT3X	738.00	117.42	723.67	60.99	735.31	62.71	-1.94
CMT3Y	740.00	116.39	723.23	63.47	737.00	63.39	-2.27
CMT4X	912.00	213.21	878.06	103.76	916.43	101.35	-3.72
CMT4Y	913.00	210.12	872.63	79.17	906.71	101.04	-4.42
CMT5X	1167.00	293.55	1090.08	115.89	1151.52	103.82	-6.59
CMT5Y	1142.00	294.58	1089.93	102.17	1141.93	117.49	-4.56
CMT11X	895.00	232.78	883.28	14.86	913.41	20.12	-1.31
CMT11Y	900.00	234.84	887.01	16.95	910.41	21.66	-1.44
CMT12X	691.00	118.45	691.19	3.83	749.96	3.93	0.03
CMT12Y	697.00	117.42	679.79	3.81	755.03	3.95	-2.47
PROM.	796.36	153.02	774.82	42.08	809.15	44.52	-2.27

B.6. GA-M

Tabla B.10: Resultados de GA-M, utilizando instancias de Dethloff

GA-M				
Instancia	Costo	T.	Costo prom.	T. prom.
SCA3-0	636.06	4.43	639.50	4.24
SCA3-1	697.84	4.67	698.20	4.14
SCA3-2	661.13	3.77	662.05	3.93
SCA3-3	680.04	3.81	680.37	4.08
SCA3-4	690.50	4.08	690.50	3.91
SCA3-5	659.90	3.92	663.87	4.25
SCA3-6	652.47	4.24	652.92	4.07
SCA3-7	659.17	4.27	664.29	3.93
SCA3-8	719.47	4.15	720.10	4.11
SCA3-9	681.00	4.51	681.00	3.93
SCA8-0	973.03	4.16	974.19	4.15
SCA8-1	1059.16	3.77	1061.80	3.89
SCA8-2	1050.37	4.16	1051.48	4.12
SCA8-3	985.60	3.77	1008.15	4.25
SCA8-4	1069.71	4.27	1072.14	3.83
SCA8-5	1043.52	3.46	1045.61	3.98
SCA8-6	976.69	3.98	976.69	3.99
SCA8-7	1067.03	3.36	1068.46	3.92
SCA8-8	1071.18	4.20	1071.31	3.94
SCA8-9	1068.10	3.66	1071.91	3.82
CON3-0	617.59	4.40	619.16	4.26
CON3-1	556.04	7.15	557.63	4.34
CON3-2	521.38	4.56	521.38	4.57
CON3-3	591.20	5.13	591.31	4.10
CON3-4	589.32	5.40	592.13	4.23
CON3-5	563.70	3.74	565.23	4.29
CON3-6	500.88	4.04	502.67	4.29
CON3-7	577.54	3.67	578.91	3.93
CON3-8	523.05	4.02	524.11	4.36
CON3-9	582.79	4.02	583.33	4.43
CON8-0	869.15	4.99	870.06	4.17
CON8-1	741.70	4.60	751.80	4.31
CON8-2	713.44	4.64	713.49	4.40
CON8-3	811.07	4.72	811.07	4.23
CON8-4	772.25	4.74	777.48	3.97
CON8-5	759.44	4.56	759.60	4.04
CON8-6	685.80	4.83	689.52	4.20
CON8-7	814.79	3.67	814.79	3.84
CON8-8	780.80	4.10	784.11	4.13
CON8-9	811.66	4.06	811.81	4.36
PROM.	762.14	4.29	764.35	4.12

Tabla B.11: Resultados de GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy

GA-M				
Instancia	Mejor costo	T. (seg)	Costo prom.	T. prom. (seg)
CMT1X	476.38	5.06	476.71	5.04
CMT1Y	472.87	4.56	477.66	4.64
CMT2X	697.28	10.72	705.32	11.00
CMT2Y	697.76	10.15	706.51	10.63
CMT3X	728.50	24.66	736.12	24.48
CMT3Y	725.30	24.70	734.65	24.09
CMT4X	880.66	63.16	896.91	65.36
CMT4Y	892.05	65.54	902.53	66.57
CMT5X	1068.63	134.22	1098.41	134.47
CMT5Y	1087.40	137.00	1104.05	137.40
CMT11X	858.94	40.64	891.06	41.90
CMT11Y	848.68	45.25	877.11	45.61
CMT12X	668.48	24.83	673.47	24.73
CMT12Y	672.60	24.47	674.22	24.43
PROM.	769.68	43.93	782.48	44.31

Apéndice C

Tablas de resultados de entonación de parámetros de metaheurísticas

C.1. ILS-VND-M

C.1.1. Dethloff

Tabla C.1: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -LS 10.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
SCA3-0	640.55	0.30	641.97	0.29	635.62	0.78
SCA3-1	708.40	0.38	722.56	0.33	697.84	1.51
SCA3-2	674.29	0.29	697.58	0.27	659.34	2.27
SCA3-3	712.47	0.36	717.69	0.32	680.04	4.77
SCA3-4	690.50	0.30	697.63	0.29	690.50	0.00
SCA3-5	689.59	0.37	701.64	0.30	659.90	4.50
SCA3-6	696.72	0.38	709.08	0.26	651.09	7.01
SCA3-7	669.89	0.39	676.31	0.31	659.17	1.63
SCA3-8	745.33	0.28	754.95	0.31	719.47	3.59
SCA3-9	711.93	0.27	719.45	0.32	681.00	4.54
SCA8-0	1001.33	0.28	1015.17	0.28	961.50	4.14
SCA8-1	1080.67	0.34	1112.55	0.27	1049.65	2.96
SCA8-2	1100.07	0.24	1103.89	0.26	1039.64	5.81
SCA8-3	1044.10	0.36	1053.97	0.32	983.34	6.18
SCA8-4	1138.23	0.40	1153.97	0.37	1065.49	6.83
SCA8-5	1088.81	0.31	1106.23	0.39	1027.08	6.01
SCA8-6	1021.99	0.27	1036.04	0.30	971.82	5.16
SCA8-7	1114.68	0.31	1127.69	0.27	1051.28	6.03
SCA8-8	1071.18	0.24	1130.81	0.26	1071.18	0.00
SCA8-9	1114.34	0.26	1133.72	0.25	1060.50	5.08
CON3-0	650.16	0.31	669.65	0.33	616.52	5.46
CON3-1	568.45	0.38	573.28	0.28	554.47	2.52
CON3-2	521.63	0.39	540.90	0.38	518.00	0.70
CON3-3	611.33	0.30	635.93	0.27	591.19	3.41
CON3-4	611.21	0.33	628.71	0.33	588.79	3.81
CON3-5	569.04	0.31	572.26	0.27	563.70	0.95
CON3-6	511.00	0.30	529.03	0.39	499.05	2.39
CON3-7	618.48	0.36	630.72	0.30	576.48	7.29
CON3-8	546.26	0.46	566.07	0.39	523.05	4.44
CON3-9	599.04	0.31	599.84	0.30	578.24	3.60
CON8-0	919.96	0.23	934.16	0.23	857.17	7.33
CON8-1	777.08	0.47	815.24	0.37	740.85	4.89
CON8-2	776.70	0.26	787.67	0.26	712.89	8.95
CON8-3	857.98	0.24	858.49	0.27	811.07	5.78
CON8-4	825.32	0.44	848.55	0.36	772.25	6.87
CON8-5	825.97	0.26	832.06	0.33	754.88	9.42
CON8-6	724.97	0.29	741.21	0.27	678.92	6.78
CON8-7	839.18	0.24	868.98	0.34	811.96	3.35
CON8-8	794.22	0.28	809.92	0.29	767.53	3.48
CON8-9	825.74	0.28	851.28	0.40	809.00	2.07
PROM.	792.22	0.32	807.67	0.31	758.54	4.31

Tabla C.2: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -LS 40.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
SCA3-0	640.55	1.25	643.75	1.08	635.62	0.78
SCA3-1	712.59	1.06	729.38	0.87	697.84	2.11
SCA3-2	680.00	0.84	700.79	0.72	659.34	3.13
SCA3-3	685.47	1.06	687.22	0.94	680.04	0.80
SCA3-4	690.50	0.93	706.32	0.84	690.50	0.00
SCA3-5	686.44	0.52	686.53	0.78	659.90	4.02
SCA3-6	654.79	0.91	666.88	0.73	651.09	0.57
SCA3-7	669.89	0.68	672.23	0.76	659.17	1.63
SCA3-8	726.44	0.78	750.00	0.79	719.47	0.97
SCA3-9	683.57	1.22	699.63	0.96	681.00	0.38
SCA8-0	1018.78	0.68	1023.67	0.63	961.50	5.96
SCA8-1	1104.59	0.61	1141.33	0.62	1049.65	5.23
SCA8-2	1066.96	0.79	1105.54	0.57	1039.64	2.63
SCA8-3	1049.88	0.80	1087.59	0.66	983.34	6.77
SCA8-4	1109.30	0.73	1119.46	0.79	1065.49	4.11
SCA8-5	1064.55	0.72	1068.26	0.89	1027.08	3.65
SCA8-6	1026.04	0.64	1027.85	0.65	971.82	5.58
SCA8-7	1110.98	1.02	1138.58	0.74	1051.28	5.68
SCA8-8	1103.10	0.53	1139.92	0.53	1071.18	2.98
SCA8-9	1084.48	0.74	1137.56	0.60	1060.50	2.26
CON3-0	661.33	0.72	665.72	0.81	616.52	7.27
CON3-1	561.63	1.04	575.74	0.86	554.47	1.29
CON3-2	523.99	0.87	526.53	0.76	518.00	1.16
CON3-3	591.20	1.18	614.17	0.94	591.19	0.00
CON3-4	620.15	0.79	636.84	0.77	588.79	5.33
CON3-5	571.63	0.83	589.09	0.86	563.70	1.41
CON3-6	513.13	0.85	519.79	0.94	499.05	2.82
CON3-7	604.95	1.23	616.76	0.89	576.48	4.94
CON3-8	529.65	0.88	541.35	0.90	523.05	1.26
CON3-9	590.64	1.01	596.36	0.93	578.24	2.14
CON8-0	923.06	0.68	956.84	0.64	857.17	7.69
CON8-1	777.60	1.00	789.87	0.88	740.85	4.96
CON8-2	729.26	1.09	746.58	0.81	712.89	2.30
CON8-3	851.97	0.99	863.30	0.69	811.07	5.04
CON8-4	824.36	0.71	868.05	0.61	772.25	6.75
CON8-5	768.63	0.55	788.72	0.61	754.88	1.82
CON8-6	699.30	0.63	714.86	0.63	678.92	3.00
CON8-7	857.87	0.61	882.75	0.57	811.96	5.65
CON8-8	800.37	0.64	826.65	0.63	767.53	4.28
CON8-9	851.07	0.72	865.30	0.67	809.00	5.20
PROM.	785.52	0.84	802.94	0.76	758.54	3.34

Tabla C.3: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -LS 70.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
SCA3-0	640.55	1.36	642.46	1.45	635.62	0.78
SCA3-1	712.78	1.71	718.16	1.40	697.84	2.14
SCA3-2	677.10	1.18	682.54	1.21	659.34	2.69
SCA3-3	684.67	1.26	696.03	1.09	680.04	0.68
SCA3-4	693.23	1.35	705.92	1.20	690.50	0.40
SCA3-5	662.75	1.59	677.01	1.83	659.90	0.43
SCA3-6	661.28	1.29	665.53	1.35	651.09	1.57
SCA3-7	671.77	1.31	680.79	1.15	659.17	1.91
SCA3-8	726.86	2.04	736.71	1.52	719.47	1.03
SCA3-9	690.07	1.42	692.78	1.23	681.00	1.33
SCA8-0	1007.80	1.00	1019.70	1.18	961.50	4.82
SCA8-1	1101.06	1.14	1127.76	0.90	1049.65	4.90
SCA8-2	1091.71	1.00	1119.01	0.84	1039.64	5.01
SCA8-3	1036.79	0.84	1048.63	0.95	983.34	5.44
SCA8-4	1120.29	0.85	1145.07	0.95	1065.49	5.14
SCA8-5	1090.77	1.38	1104.89	1.10	1027.08	6.20
SCA8-6	1022.17	1.25	1039.74	1.14	971.82	5.18
SCA8-7	1081.50	0.96	1095.93	1.33	1051.28	2.87
SCA8-8	1099.22	1.46	1124.08	1.13	1071.18	2.62
SCA8-9	1126.82	1.39	1145.95	1.06	1060.50	6.25
CON3-0	633.24	1.22	650.21	1.34	616.52	2.71
CON3-1	568.89	1.62	576.41	1.34	554.47	2.60
CON3-2	521.38	1.32	525.77	1.45	518.00	0.65
CON3-3	594.31	1.28	608.52	1.45	591.19	0.53
CON3-4	605.94	1.79	612.84	1.55	588.79	2.91
CON3-5	568.69	1.00	585.65	1.09	563.70	0.89
CON3-6	516.86	1.35	524.24	1.34	499.05	3.57
CON3-7	599.51	1.00	609.58	1.18	576.48	3.99
CON3-8	526.59	1.52	535.61	1.49	523.05	0.68
CON3-9	591.24	1.74	599.07	1.54	578.24	2.25
CON8-0	907.51	1.12	931.72	1.25	857.17	5.87
CON8-1	786.81	0.98	794.82	0.91	740.85	6.20
CON8-2	727.20	1.18	764.16	1.00	712.89	2.01
CON8-3	850.32	1.03	853.11	1.19	811.07	4.84
CON8-4	827.58	0.72	844.98	0.99	772.25	7.16
CON8-5	785.71	0.92	814.90	1.08	754.88	4.08
CON8-6	702.18	1.22	719.81	1.19	678.92	3.43
CON8-7	842.21	1.27	865.39	0.93	811.96	3.73
CON8-8	790.87	1.02	819.07	0.92	767.53	3.04
CON8-9	815.58	1.51	872.30	1.02	809.00	0.81
PROM.	784.05	1.26	799.42	1.21	758.54	3.08

Tabla C.4: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 25.0 -LS 10.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
SCA3-0	640.55	1.60	643.19	1.53	635.62	0.78
SCA3-1	700.50	2.12	726.25	1.63	697.84	0.38
SCA3-2	675.12	1.42	683.29	1.53	659.34	2.39
SCA3-3	682.46	1.54	688.54	1.49	680.04	0.36
SCA3-4	690.50	1.38	701.73	1.44	690.50	0.00
SCA3-5	659.90	1.78	673.82	1.62	659.90	0.00
SCA3-6	652.94	1.67	655.67	1.55	651.09	0.28
SCA3-7	672.85	1.42	673.85	1.54	659.17	2.08
SCA3-8	719.47	1.52	733.67	1.65	719.47	0.00
SCA3-9	690.07	1.58	700.76	1.62	681.00	1.33
SCA8-0	1015.61	1.98	1027.39	1.87	961.50	5.63
SCA8-1	1097.18	1.29	1117.42	1.26	1049.65	4.53
SCA8-2	1092.94	1.69	1102.00	1.41	1039.64	5.13
SCA8-3	1025.40	1.03	1044.06	1.36	983.34	4.28
SCA8-4	1121.03	1.63	1156.94	1.47	1065.49	5.21
SCA8-5	1071.46	1.36	1091.91	1.50	1027.08	4.32
SCA8-6	1013.70	1.62	1025.38	1.25	971.82	4.31
SCA8-7	1083.63	1.21	1101.53	1.32	1051.28	3.08
SCA8-8	1114.83	1.36	1120.43	1.32	1071.18	4.07
SCA8-9	1102.71	1.18	1118.88	1.22	1060.50	3.98
CON3-0	636.77	1.72	639.11	1.68	616.52	3.28
CON3-1	564.81	1.46	566.50	1.46	554.47	1.86
CON3-2	523.23	1.45	529.21	1.70	518.00	1.01
CON3-3	594.31	1.34	613.26	1.34	591.19	0.53
CON3-4	603.13	1.98	609.41	1.61	588.79	2.44
CON3-5	569.04	1.52	586.28	1.57	563.70	0.95
CON3-6	502.95	2.05	507.77	1.80	499.05	0.78
CON3-7	600.35	1.54	607.71	1.48	576.48	4.14
CON3-8	528.59	1.38	533.48	1.61	523.05	1.06
CON3-9	588.99	1.71	596.03	1.38	578.24	1.86
CON8-0	898.15	1.76	928.87	1.43	857.17	4.78
CON8-1	763.10	2.39	772.95	1.82	740.85	3.00
CON8-2	731.70	1.88	737.10	1.66	712.89	2.64
CON8-3	836.03	1.34	850.09	1.31	811.07	3.08
CON8-4	802.74	1.38	824.89	1.43	772.25	3.95
CON8-5	776.35	1.65	802.90	1.55	754.88	2.84
CON8-6	710.16	1.58	718.62	1.39	678.92	4.60
CON8-7	841.49	1.34	844.21	1.36	811.96	3.64
CON8-8	778.39	1.60	798.16	1.52	767.53	1.41
CON8-9	840.92	1.47	865.62	1.57	809.00	3.95
PROM.	780.35	1.57	792.97	1.51	758.54	2.60

Tabla C.5: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 25.0 -LS 40.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
SCA3-0	641.69	4.63	642.63	4.25	635.62	0.95
SCA3-1	700.50	4.10	709.55	4.01	697.84	0.38
SCA3-2	664.21	4.28	672.85	3.95	659.34	0.74
SCA3-3	681.74	3.90	685.25	3.65	680.04	0.25
SCA3-4	690.50	3.94	692.22	4.13	690.50	0.00
SCA3-5	680.80	4.25	686.26	4.26	659.90	3.17
SCA3-6	652.47	3.46	654.19	3.58	651.09	0.21
SCA3-7	671.77	3.50	676.11	3.55	659.17	1.91
SCA3-8	719.47	3.61	730.11	3.52	719.47	0.00
SCA3-9	681.00	4.48	690.88	4.03	681.00	0.00
SCA8-0	981.73	3.74	1005.63	3.87	961.50	2.10
SCA8-1	1085.54	3.06	1086.60	3.27	1049.65	3.42
SCA8-2	1062.62	5.10	1067.91	3.54	1039.64	2.21
SCA8-3	1032.69	3.24	1040.32	3.33	983.34	5.02
SCA8-4	1074.28	3.17	1112.38	3.25	1065.49	0.82
SCA8-5	1049.98	3.55	1072.99	3.35	1027.08	2.23
SCA8-6	991.49	3.53	998.24	2.87	971.82	2.02
SCA8-7	1066.65	4.56	1093.26	3.54	1051.28	1.46
SCA8-8	1088.20	3.50	1104.36	3.13	1071.18	1.59
SCA8-9	1119.56	3.74	1130.42	3.09	1060.50	5.57
CON3-0	617.59	4.37	631.20	4.28	616.52	0.17
CON3-1	560.61	3.27	564.99	3.62	554.47	1.11
CON3-2	524.13	4.51	528.31	4.25	518.00	1.18
CON3-3	591.48	4.85	600.22	4.17	591.19	0.05
CON3-4	599.13	4.19	601.95	4.05	588.79	1.76
CON3-5	569.04	4.48	574.53	4.47	563.70	0.95
CON3-6	505.14	4.36	511.65	4.10	499.05	1.22
CON3-7	586.53	3.84	598.45	3.92	576.48	1.74
CON3-8	524.59	4.96	532.31	4.20	523.05	0.29
CON3-9	589.57	3.64	591.51	4.06	578.24	1.96
CON8-0	872.79	3.52	894.27	3.54	857.17	1.82
CON8-1	773.48	3.21	777.26	3.63	740.85	4.40
CON8-2	722.56	3.74	732.73	3.62	712.89	1.36
CON8-3	845.27	3.21	848.23	3.18	811.07	4.22
CON8-4	813.27	2.85	825.95	2.63	772.25	5.31
CON8-5	767.45	4.07	775.88	3.61	754.88	1.67
CON8-6	703.00	3.05	710.01	3.77	678.92	3.55
CON8-7	816.07	4.33	829.87	3.35	811.96	0.51
CON8-8	787.24	4.46	800.91	3.83	767.53	2.57
CON8-9	823.94	4.56	849.08	4.19	809.00	1.85
PROM.	773.24	3.92	783.29	3.72	758.54	1.79

Tabla C.6: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 25.0 -LS 70.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
SCA3-0	640.55	6.50	642.00	6.48	635.62	0.78
SCA3-1	700.50	5.67	701.34	6.39	697.84	0.38
SCA3-2	668.28	6.17	676.70	6.05	659.34	1.36
SCA3-3	681.74	6.30	684.20	6.52	680.04	0.25
SCA3-4	690.50	6.95	691.53	6.39	690.50	0.00
SCA3-5	661.07	6.88	676.80	6.29	659.90	0.18
SCA3-6	651.09	5.87	652.81	6.37	651.09	0.00
SCA3-7	671.77	5.99	672.83	6.12	659.17	1.91
SCA3-8	727.64	6.96	731.02	6.23	719.47	1.14
SCA3-9	681.00	6.69	686.16	6.22	681.00	0.00
SCA8-0	1004.83	6.18	1015.99	5.32	961.50	4.51
SCA8-1	1066.73	5.42	1079.99	5.66	1049.65	1.63
SCA8-2	1062.47	6.14	1072.18	5.41	1039.64	2.20
SCA8-3	1011.09	5.51	1022.09	4.94	983.34	2.82
SCA8-4	1096.60	6.17	1102.88	5.68	1065.49	2.92
SCA8-5	1065.60	5.54	1073.88	5.49	1027.08	3.75
SCA8-6	993.19	5.53	1001.61	5.12	971.82	2.20
SCA8-7	1089.45	4.63	1102.95	5.19	1051.28	3.63
SCA8-8	1092.82	6.61	1107.96	5.33	1071.18	2.02
SCA8-9	1081.51	5.34	1093.93	5.40	1060.50	1.98
CON3-0	620.76	5.70	631.13	5.95	616.52	0.69
CON3-1	556.04	6.20	557.55	6.08	554.47	0.28
CON3-2	521.63	6.66	528.12	6.38	518.00	0.70
CON3-3	599.26	6.28	604.55	6.48	591.19	1.37
CON3-4	591.43	6.60	597.55	6.65	588.79	0.45
CON3-5	573.23	7.94	576.64	6.24	563.70	1.69
CON3-6	504.20	7.02	506.30	6.50	499.05	1.03
CON3-7	591.91	5.98	599.38	6.80	576.48	2.68
CON3-8	524.59	5.91	534.28	6.33	523.05	0.29
CON3-9	590.50	7.40	592.07	6.83	578.24	2.12
CON8-0	888.34	5.03	900.55	5.09	857.17	3.64
CON8-1	761.69	4.48	774.60	4.75	740.85	2.81
CON8-2	725.72	6.17	734.64	5.49	712.89	1.80
CON8-3	822.12	5.98	837.72	6.23	811.07	1.36
CON8-4	781.78	6.84	811.40	5.36	772.25	1.23
CON8-5	769.55	4.99	781.85	5.52	754.88	1.94
CON8-6	699.04	5.97	704.47	5.50	678.92	2.96
CON8-7	817.70	5.43	827.51	6.01	811.96	0.71
CON8-8	783.97	5.09	799.11	5.12	767.53	2.14
CON8-9	815.52	7.19	835.05	5.58	809.00	0.81
PROM.	771.94	6.10	780.58	5.89	758.54	1.61

Tabla C.7: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 55.0 -LS 10.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
SCA3-0	640.55	4.11	644.64	3.42	635.62	0.78
SCA3-1	697.84	3.50	703.73	3.81	697.84	0.00
SCA3-2	661.13	3.57	667.09	3.41	659.34	0.27
SCA3-3	680.60	3.58	681.16	3.68	680.04	0.08
SCA3-4	690.50	4.93	700.65	3.58	690.50	0.00
SCA3-5	673.39	3.49	677.86	3.65	659.90	2.04
SCA3-6	652.94	2.92	656.54	3.15	651.09	0.28
SCA3-7	671.67	3.56	671.86	3.32	659.17	1.90
SCA3-8	719.77	3.36	723.80	3.38	719.47	0.04
SCA3-9	685.00	3.43	688.84	3.44	681.00	0.59
SCA8-0	977.93	3.46	1015.19	3.50	961.50	1.71
SCA8-1	1081.72	3.30	1091.99	3.13	1049.65	3.06
SCA8-2	1065.43	3.08	1071.13	2.87	1039.64	2.48
SCA8-3	1030.78	3.44	1056.09	3.18	983.34	4.82
SCA8-4	1095.76	2.78	1127.76	2.86	1065.49	2.84
SCA8-5	1078.65	3.86	1092.81	3.31	1027.08	5.02
SCA8-6	1005.01	3.79	1022.01	3.42	971.82	3.42
SCA8-7	1088.59	2.77	1100.14	2.92	1051.28	3.55
SCA8-8	1097.68	3.15	1104.15	3.08	1071.18	2.47
SCA8-9	1104.83	2.53	1124.07	2.92	1060.50	4.18
CON3-0	625.35	3.64	633.19	3.58	616.52	1.43
CON3-1	561.63	3.56	563.12	3.64	554.47	1.29
CON3-2	521.38	4.09	528.34	3.50	518.00	0.65
CON3-3	594.31	3.43	606.44	3.39	591.19	0.53
CON3-4	591.43	3.64	608.94	3.85	588.79	0.45
CON3-5	569.04	4.24	572.44	3.81	563.70	0.95
CON3-6	511.05	3.74	514.37	3.45	499.05	2.40
CON3-7	576.87	3.21	584.77	3.25	576.48	0.07
CON3-8	523.05	3.39	531.55	3.42	523.05	0.00
CON3-9	590.50	4.64	592.45	3.74	578.24	2.12
CON8-0	893.61	2.79	903.69	2.86	857.17	4.25
CON8-1	763.99	3.64	768.45	3.40	740.85	3.12
CON8-2	731.85	3.85	739.77	3.60	712.89	2.66
CON8-3	833.78	3.62	840.26	3.41	811.07	2.80
CON8-4	795.93	3.24	808.00	3.21	772.25	3.07
CON8-5	772.89	3.51	776.65	3.23	754.88	2.39
CON8-6	699.79	3.42	707.08	3.23	678.92	3.07
CON8-7	815.60	2.99	839.10	3.34	811.96	0.45
CON8-8	784.36	3.70	801.54	3.12	767.53	2.19
CON8-9	838.80	3.33	842.97	3.44	809.00	3.68
PROM.	774.87	3.51	784.62	3.36	758.54	1.93

Tabla C.8: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 55.0 -LS 40.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
SCA3-0	640.55	8.78	643.15	8.81	635.62	0.78
SCA3-1	700.50	9.12	704.36	8.38	697.84	0.38
SCA3-2	664.18	10.02	668.66	8.59	659.34	0.73
SCA3-3	680.04	7.87	681.21	7.90	680.04	0.00
SCA3-4	690.50	7.56	697.88	7.89	690.50	0.00
SCA3-5	666.67	8.84	673.11	9.06	659.90	1.03
SCA3-6	651.09	8.83	654.19	8.28	651.09	0.00
SCA3-7	671.67	8.18	671.72	8.79	659.17	1.90
SCA3-8	719.77	7.76	723.08	8.57	719.47	0.04
SCA3-9	681.00	9.16	682.65	8.60	681.00	0.00
SCA8-0	1013.72	6.68	1024.13	7.82	961.50	5.43
SCA8-1	1062.35	6.65	1083.20	6.86	1049.65	1.21
SCA8-2	1055.65	6.85	1066.67	6.75	1039.64	1.54
SCA8-3	1017.97	6.73	1025.57	7.32	983.34	3.52
SCA8-4	1081.36	6.94	1089.46	6.54	1065.49	1.49
SCA8-5	1082.58	7.09	1088.39	7.20	1027.08	5.40
SCA8-6	981.41	6.97	994.52	7.22	971.82	0.99
SCA8-7	1082.76	7.40	1090.41	7.30	1051.28	2.99
SCA8-8	1071.18	8.02	1088.61	7.58	1071.18	0.00
SCA8-9	1079.82	6.39	1101.23	6.53	1060.50	1.82
CON3-0	633.86	8.36	636.21	9.04	616.52	2.81
CON3-1	558.16	8.55	560.54	9.83	554.47	0.67
CON3-2	521.38	8.41	522.10	7.96	518.00	0.65
CON3-3	591.20	9.60	598.81	9.09	591.19	0.00
CON3-4	595.40	7.70	604.52	8.34	588.79	1.12
CON3-5	567.94	8.63	573.34	9.02	563.70	0.75
CON3-6	504.09	9.22	508.40	8.63	499.05	1.01
CON3-7	592.52	8.98	594.85	8.53	576.48	2.78
CON3-8	523.14	9.52	528.90	9.29	523.05	0.02
CON3-9	588.99	7.36	589.75	8.24	578.24	1.86
CON8-0	876.12	7.94	902.92	7.37	857.17	2.21
CON8-1	754.51	7.00	769.29	7.60	740.85	1.84
CON8-2	727.18	8.20	735.67	7.56	712.89	2.00
CON8-3	824.03	8.44	836.62	7.91	811.07	1.60
CON8-4	781.78	7.02	802.40	7.04	772.25	1.23
CON8-5	758.84	7.16	771.14	7.08	754.88	0.52
CON8-6	701.20	9.42	707.88	7.79	678.92	3.28
CON8-7	822.22	7.32	841.55	7.63	811.96	1.26
CON8-8	782.40	8.67	795.62	7.43	767.53	1.94
CON8-9	826.47	6.77	831.01	7.45	809.00	2.16
PROM.	770.66	8.00	779.09	7.97	758.54	1.47

Tabla C.9: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 55.0 -LS 70.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS-VND-M	%Gap
SCA3-0	636.06	13.19	639.43	13.64	635.62	0.07
SCA3-1	697.84	14.05	703.68	13.92	697.84	0.00
SCA3-2	661.13	12.55	664.80	13.95	659.34	0.27
SCA3-3	680.60	14.15	680.88	13.36	680.04	0.08
SCA3-4	690.50	16.02	691.18	13.95	690.50	0.00
SCA3-5	666.67	14.45	673.10	12.99	659.90	1.03
SCA3-6	652.94	14.01	655.38	13.03	651.09	0.28
SCA3-7	669.89	13.67	671.93	14.20	659.17	1.63
SCA3-8	719.47	15.05	723.79	13.82	719.47	0.00
SCA3-9	684.44	11.65	685.36	14.11	681.00	0.51
SCA8-0	990.21	11.79	1000.62	12.32	961.50	2.99
SCA8-1	1070.29	10.80	1078.63	10.87	1049.65	1.97
SCA8-2	1054.47	11.95	1061.10	11.15	1039.64	1.43
SCA8-3	1015.23	11.72	1022.01	10.76	983.34	3.24
SCA8-4	1069.87	10.34	1092.29	11.25	1065.49	0.41
SCA8-5	1052.02	14.64	1062.53	12.94	1027.08	2.43
SCA8-6	990.61	13.74	997.28	12.02	971.82	1.93
SCA8-7	1067.11	12.20	1084.92	12.30	1051.28	1.51
SCA8-8	1071.18	12.54	1092.09	11.62	1071.18	0.00
SCA8-9	1069.83	13.35	1078.73	11.76	1060.50	0.88
CON3-0	620.76	13.82	630.55	14.34	616.52	0.69
CON3-1	556.04	13.81	558.62	15.12	554.47	0.28
CON3-2	521.38	15.15	521.57	14.56	518.00	0.65
CON3-3	591.19	15.58	595.30	14.44	591.19	0.00
CON3-4	592.58	13.94	594.49	14.19	588.79	0.64
CON3-5	569.04	13.60	569.35	13.67	563.70	0.95
CON3-6	502.16	13.08	504.39	20.38	499.05	0.62
CON3-7	578.41	13.98	587.20	14.02	576.48	0.33
CON3-8	523.68	16.10	524.51	14.98	523.05	0.12
CON3-9	588.40	14.70	589.51	14.59	578.24	1.76
CON8-0	875.60	11.29	889.83	11.27	857.17	2.15
CON8-1	746.81	10.68	763.05	11.83	740.85	0.80
CON8-2	723.85	14.17	730.02	13.56	712.89	1.54
CON8-3	813.40	13.54	828.90	12.70	811.07	0.29
CON8-4	803.90	11.58	813.55	11.63	772.25	4.10
CON8-5	762.61	12.82	769.04	12.23	754.88	1.02
CON8-6	683.16	11.64	692.35	11.73	678.92	0.62
CON8-7	815.91	10.76	824.77	11.31	811.96	0.49
CON8-8	779.43	11.27	784.75	11.41	767.53	1.55
CON8-9	812.35	13.80	821.01	12.31	809.00	0.41
PROM.	766.78	13.18	773.81	13.11	758.54	0.99

C.1.2. SalhiNagy

Tabla C.10: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 15.0 -LS 10.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
CMT1X	490.81	0.97	501.76	0.83	466.77	5.15
CMT1Y	485.71	1.08	498.10	0.71	466.77	4.06
CMT2X	722.89	2.41	728.89	2.55	684.21	5.65
CMT2Y	722.28	2.32	724.83	2.25	684.21	5.56
CMT3X	735.88	6.29	746.94	6.08	721.40	2.01
CMT3Y	736.75	6.25	742.77	6.00	721.40	2.13
CMT4X	891.65	19.14	906.33	20.52	852.83	4.55
CMT4Y	910.90	20.03	916.58	21.67	852.46	6.86
CMT5X	1109.35	68.60	1111.90	51.84	1030.55	7.65
CMT5Y	1108.63	46.61	1116.23	51.76	1031.17	7.51
CMT11X	908.96	14.70	921.65	16.09	839.39	8.29
CMT11Y	885.84	14.03	896.32	15.99	841.88	5.22
CMT12X	679.87	5.26	690.46	5.60	662.22	2.67
CMT12Y	685.38	5.80	686.17	6.38	662.22	3.50
PROM.	791.06	15.25	799.21	14.88	751.25	5.06

Tabla C.11: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 25.0 -LS 50.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
CMT1X	475.58	3.55	480.69	3.47	466.77	1.89
CMT1Y	478.54	4.95	489.57	4.04	466.77	2.52
CMT2X	709.51	8.45	716.02	9.20	684.21	3.70
CMT2Y	709.97	10.26	714.93	8.85	684.21	3.76
CMT3X	728.82	19.54	742.10	19.73	721.40	1.03
CMT3Y	729.45	24.63	736.70	21.90	721.40	1.12
CMT4X	905.49	52.92	912.29	62.55	852.83	6.17
CMT4Y	900.75	54.95	909.07	60.89	852.46	5.66
CMT5X	1107.29	126.22	1120.72	140.26	1030.55	7.45
CMT5Y	1114.55	128.69	1117.46	133.17	1031.17	8.09
CMT11X	883.35	56.40	901.88	45.45	839.39	5.24
CMT11Y	882.11	51.88	890.33	46.38	841.88	4.78
CMT12X	676.38	18.48	684.46	20.20	662.22	2.14
CMT12Y	679.40	19.25	682.63	18.06	662.22	2.59
PROM.	784.37	41.44	792.77	42.44	751.25	4.01

Tabla C.12: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 15.0 -LS 80.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
CMT1X	478.36	3.05	481.78	3.39	466.77	2.48
CMT1Y	482.00	2.94	484.41	4.03	466.77	3.26
CMT2X	701.91	6.38	712.60	7.57	684.21	2.59
CMT2Y	704.88	10.15	712.70	7.63	684.21	3.02
CMT3X	743.73	14.66	747.17	17.75	721.40	3.10
CMT3Y	731.57	20.33	739.73	19.57	721.40	1.41
CMT4X	892.92	49.28	902.73	48.09	852.83	4.70
CMT4Y	901.33	47.54	911.64	46.09	852.46	5.73
CMT5X	1110.97	116.63	1118.00	102.77	1030.55	7.80
CMT5Y	1101.65	96.35	1114.53	112.58	1031.17	6.83
CMT11X	883.45	34.88	898.17	36.09	839.39	5.25
CMT11Y	878.31	38.18	886.20	34.47	841.88	4.33
CMT12X	691.35	15.08	693.81	15.86	662.22	4.40
CMT12Y	673.67	19.01	679.04	17.70	662.22	1.73
PROM.	784.01	33.89	791.61	33.83	751.25	4.05

Tabla C.13: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 35.0 -LS 10.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
CMT1X	480.65	1.66	487.08	1.76	466.77	2.97
CMT1Y	482.31	3.00	485.87	2.19	466.77	3.33
CMT2X	702.99	7.47	713.05	5.81	684.21	2.74
CMT2Y	711.53	5.03	714.12	4.86	684.21	3.99
CMT3X	736.81	19.40	740.75	15.01	721.40	2.14
CMT3Y	730.68	13.74	735.83	16.21	721.40	1.29
CMT4X	893.70	42.45	907.88	42.98	852.83	4.79
CMT4Y	905.89	39.80	908.34	48.09	852.46	6.27
CMT5X	1108.43	106.01	1116.91	105.17	1030.55	7.56
CMT5Y	1104.68	109.46	1117.45	124.38	1031.17	7.13
CMT11X	896.15	54.29	901.72	39.33	839.39	6.76
CMT11Y	888.02	31.38	896.26	33.45	841.88	5.48
CMT12X	685.46	12.57	688.43	14.85	662.22	3.51
CMT12Y	673.58	10.43	680.89	11.84	662.22	1.72
PROM.	785.78	32.62	792.47	33.28	751.25	4.26

Tabla C.14: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 35.0 -LS 50.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
CMT1X	472.58	7.24	477.00	5.71	466.77	1.24
CMT1Y	486.09	5.95	489.19	6.09	466.77	4.14
CMT2X	694.46	12.92	714.31	12.18	684.21	1.50
CMT2Y	703.05	13.36	708.58	12.71	684.21	2.75
CMT3X	723.97	33.97	734.62	31.53	721.40	0.36
CMT3Y	729.13	33.52	735.13	30.86	721.40	1.07
CMT4X	897.02	75.86	904.77	89.86	852.83	5.18
CMT4Y	899.71	76.75	909.27	80.83	852.46	5.54
CMT5X	1100.51	175.85	1105.17	184.79	1030.55	6.79
CMT5Y	1096.60	215.68	1105.88	178.39	1031.17	6.35
CMT11X	880.26	55.39	892.43	55.45	839.39	4.87
CMT11Y	889.14	54.53	895.15	54.77	841.88	5.61
CMT12X	677.78	26.35	683.68	27.67	662.22	2.35
CMT12Y	675.21	25.42	681.25	26.82	662.22	1.96
PROM.	780.39	58.06	788.32	56.97	751.25	3.55

Tabla C.15: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 35.0 -LS 80.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
CMT1X	476.66	7.34	478.83	7.03	466.77	2.12
CMT1Y	475.72	8.42	481.51	8.33	466.77	1.92
CMT2X	712.07	16.75	718.12	18.12	684.21	4.07
CMT2Y	690.24	20.17	705.73	19.14	684.21	0.88
CMT3X	730.80	39.83	738.58	39.59	721.40	1.30
CMT3Y	731.74	41.82	733.20	44.49	721.40	1.43
CMT4X	895.51	97.50	900.15	108.87	852.83	5.00
CMT4Y	893.75	99.69	904.84	97.93	852.46	4.84
CMT5X	1103.34	274.41	1106.00	237.80	1030.55	7.06
CMT5Y	1095.28	231.64	1099.38	246.88	1031.17	6.22
CMT11X	874.94	106.31	884.56	88.19	839.39	4.24
CMT11Y	884.56	79.52	889.35	78.45	841.88	5.07
CMT12X	675.24	32.27	680.92	35.58	662.22	1.97
CMT12Y	674.59	39.05	683.78	36.30	662.22	1.87
PROM.	779.60	78.19	786.07	76.19	751.25	3.43

Tabla C.16: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 55.0 -LS 10.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
CMT1X	477.47	2.30	486.59	2.96	466.77	2.29
CMT1Y	486.63	2.46	489.68	3.05	466.77	4.25
CMT2X	705.69	8.20	710.01	8.43	684.21	3.14
CMT2Y	709.71	9.21	716.71	8.08	684.21	3.73
CMT3X	727.76	21.76	733.67	21.55	721.40	0.88
CMT3Y	726.14	21.24	734.23	21.77	721.40	0.66
CMT4X	883.82	100.83	897.66	83.64	852.83	3.63
CMT4Y	885.78	67.68	896.36	83.11	852.46	3.91
CMT5X	1089.68	161.79	1107.14	169.18	1030.55	5.74
CMT5Y	1083.29	175.29	1097.57	194.01	1031.17	5.05
CMT11X	881.85	88.17	891.13	68.36	839.39	5.06
CMT11Y	855.88	53.37	889.37	61.41	841.88	1.66
CMT12X	679.60	26.58	688.33	20.86	662.22	2.62
CMT12Y	676.06	28.26	682.80	23.64	662.22	2.09
PROM.	776.38	54.80	787.23	55.00	751.25	3.19

Tabla C.17: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 55.0 -LS 50.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
CMT1X	470.67	5.59	476.00	8.55	466.77	0.84
CMT1Y	472.85	6.00	485.75	7.31	466.77	1.30
CMT2X	707.76	19.60	711.20	20.16	684.21	3.44
CMT2Y	702.53	25.52	708.70	20.82	684.21	2.68
CMT3X	730.13	56.76	733.41	47.42	721.40	1.21
CMT3Y	729.62	56.16	734.07	50.69	721.40	1.14
CMT4X	901.98	128.84	907.36	120.86	852.83	5.76
CMT4Y	902.15	152.15	906.81	128.03	852.46	5.83
CMT5X	1079.14	344.34	1100.13	304.98	1030.55	4.71
CMT5Y	1092.86	361.21	1099.81	298.55	1031.17	5.98
CMT11X	881.54	88.44	886.79	93.00	839.39	5.02
CMT11Y	879.31	94.88	887.50	97.19	841.88	4.45
CMT12X	676.87	43.21	679.14	45.80	662.22	2.21
CMT12Y	677.39	53.95	683.28	47.40	662.22	2.29
PROM.	778.91	102.62	785.71	92.20	751.25	3.35

Tabla C.18: Resultados de la ejecución de la metaheurística ILS-VND-M, utilizando instancias de Salhi-Nagy con la configuración -n 55.0 -LS 80.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	Costo ILS	%Gap
CMT1X	474.85	13.10	478.73	12.40	466.77	1.73
CMT1Y	475.22	13.60	477.55	13.68	466.77	1.81
CMT2X	704.58	26.99	709.19	27.97	684.21	2.98
CMT2Y	692.37	30.62	700.51	29.95	684.21	1.19
CMT3X	727.10	63.73	734.75	65.50	721.40	0.79
CMT3Y	728.12	63.90	731.20	66.71	721.40	0.93
CMT4X	884.17	161.42	894.02	160.37	852.83	3.67
CMT4Y	881.71	199.47	897.42	173.26	852.46	3.43
CMT5X	1094.05	335.46	1097.41	378.99	1030.55	6.16
CMT5Y	1078.81	373.06	1089.79	365.23	1031.17	4.62
CMT11X	878.41	153.82	889.95	137.27	839.39	4.65
CMT11Y	880.39	121.95	888.88	118.90	841.88	4.57
CMT12X	677.54	57.06	680.55	57.05	662.22	2.31
CMT12Y	675.95	62.77	679.94	64.66	662.22	2.07
PROM.	775.23	119.78	782.14	119.42	751.25	2.92

C.2. SS-M

C.2.1. Dethloff

Tabla C.19: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 50.0 -b 10 -y 0.1

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	2.50	638.30	2.68	635.62	0.07	0.42
SCA3-1	697.84	1.94	698.50	2.69	697.84	0.00	0.10
SCA3-2	661.13	2.27	663.89	3.13	659.34	0.27	0.69
SCA3-3	681.74	1.80	681.74	2.74	680.04	0.25	0.25
SCA3-4	692.57	2.71	693.42	3.00	690.50	0.30	0.42
SCA3-5	665.04	1.76	674.17	2.27	659.90	0.78	2.16
SCA3-6	651.09	1.45	651.09	1.38	651.09	0.00	0.00
SCA3-7	671.67	3.22	671.67	2.62	659.17	1.90	1.90
SCA3-8	719.47	3.34	719.47	2.97	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	685.14	3.62	685.75	2.83	681.00	0.61	0.70
SCA8-0	974.40	10.60	989.38	10.00	961.50	1.34	2.90
SCA8-1	1057.41	11.32	1067.80	11.60	1049.65	0.74	1.73
SCA8-2	1053.00	10.54	1053.44	10.48	1039.64	1.29	1.33
SCA8-3	1019.57	6.69	1022.20	7.71	983.34	3.68	3.95
SCA8-4	1072.75	6.35	1075.28	7.42	1065.49	0.68	0.92
SCA8-5	1050.44	14.44	1053.92	10.57	1027.08	2.27	2.61
SCA8-6	972.48	12.97	980.33	10.23	971.82	0.07	0.88
SCA8-7	1063.60	9.24	1068.39	10.22	1051.28	1.17	1.63
SCA8-8	1085.98	6.58	1090.76	6.97	1071.18	1.38	1.83
SCA8-9	1070.34	9.07	1080.14	9.61	1060.50	0.93	1.85
CON3-0	616.52	1.09	616.52	1.08	616.52	0.00	0.00
CON3-1	556.79	2.98	559.21	3.24	554.47	0.42	0.86
CON3-2	521.38	2.91	521.57	2.69	518.00	0.65	0.69
CON3-3	591.19	3.39	591.20	3.83	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	2.14	589.45	2.31	588.79	0.00	0.11
CON3-5	568.69	1.91	568.69	1.97	563.70	0.89	0.89
CON3-6	502.16	3.35	502.16	4.05	499.05	0.62	0.62
CON3-7	578.41	4.79	582.64	3.87	576.48	0.33	1.07
CON3-8	523.14	3.67	523.66	2.95	523.05	0.02	0.12
CON3-9	588.40	2.39	588.55	2.38	578.24	1.76	1.78
CON8-0	881.17	8.65	885.22	8.59	857.17	2.80	3.27
CON8-1	742.47	8.56	747.61	11.40	740.85	0.22	0.91
CON8-2	713.05	7.47	716.73	9.12	712.89	0.02	0.54
CON8-3	832.18	12.78	835.44	11.52	811.07	2.60	3.00
CON8-4	778.37	10.24	786.81	8.44	772.25	0.79	1.89
CON8-5	754.95	8.22	758.88	10.62	754.88	0.01	0.53
CON8-6	686.39	5.52	695.23	6.82	678.92	1.10	2.40
CON8-7	815.44	8.79	817.42	10.06	811.96	0.43	0.67
CON8-8	775.49	8.24	781.99	7.36	767.53	1.04	1.88
CON8-9	820.76	6.71	829.91	7.77	809.00	1.45	2.58
PROM.	765.44	5.91	768.96	6.03	758.54	0.82	1.25

Tabla C.20: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 50.0 -b 10 -y 0.5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	3.40	640.55	3.49	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	697.84	2.11	697.84	2.14	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	661.13	3.04	664.06	3.80	659.34	0.27	0.72
SCA3-3	680.60	3.24	680.60	2.78	680.04	0.08	0.08
SCA3-4	690.50	3.09	690.50	2.30	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	674.01	2.14	679.03	2.36	659.90	2.14	2.90
SCA3-6	652.94	3.93	654.55	4.12	651.09	0.28	0.53
SCA3-7	669.89	2.69	670.78	2.54	659.17	1.63	1.76
SCA3-8	719.47	3.95	719.47	3.44	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	3.73	682.00	3.33	681.00	0.00	0.15
SCA8-0	982.03	8.08	983.96	7.83	961.50	2.14	2.34
SCA8-1	1053.90	12.40	1077.41	9.87	1049.65	0.40	2.64
SCA8-2	1051.95	8.87	1052.45	9.72	1039.64	1.18	1.23
SCA8-3	1024.97	7.12	1032.10	8.09	983.34	4.23	4.96
SCA8-4	1069.30	36.13	1088.76	16.74	1065.49	0.36	2.18
SCA8-5	1050.64	8.80	1057.90	8.89	1027.08	2.29	3.00
SCA8-6	972.48	14.98	975.41	13.62	971.82	0.07	0.37
SCA8-7	1066.82	12.52	1069.57	10.88	1051.28	1.48	1.74
SCA8-8	1085.98	15.17	1091.49	10.56	1071.18	1.38	1.90
SCA8-9	1072.10	9.98	1078.36	9.43	1060.50	1.09	1.68
CON3-0	617.59	3.15	621.36	2.47	616.52	0.17	0.78
CON3-1	560.75	3.23	560.75	3.29	554.47	1.13	1.13
CON3-2	521.38	3.42	521.38	2.88	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.20	2.75	591.20	4.99	591.19	0.00	0.00
CON3-4	591.43	2.63	591.43	3.13	588.79	0.45	0.45
CON3-5	564.88	3.11	565.92	2.05	563.70	0.21	0.39
CON3-6	502.16	3.01	504.25	2.71	499.05	0.62	1.04
CON3-7	586.01	2.84	586.01	3.26	576.48	1.65	1.65
CON3-8	523.68	1.90	525.49	2.19	523.05	0.12	0.47
CON3-9	588.38	2.63	588.53	2.87	578.24	1.75	1.78
CON8-0	881.90	8.96	886.37	8.28	857.17	2.89	3.41
CON8-1	743.42	10.49	747.79	11.10	740.85	0.35	0.94
CON8-2	713.05	13.06	716.27	11.59	712.89	0.02	0.47
CON8-3	817.57	10.56	830.30	8.79	811.07	0.80	2.37
CON8-4	782.59	8.43	787.20	9.34	772.25	1.34	1.94
CON8-5	760.41	11.82	765.65	9.86	754.88	0.73	1.43
CON8-6	696.64	9.43	698.09	9.70	678.92	2.61	2.82
CON8-7	814.50	13.93	816.76	20.17	811.96	0.31	0.59
CON8-8	771.32	5.62	783.38	6.70	767.53	0.49	2.07
CON8-9	813.57	9.50	822.80	8.44	809.00	0.56	1.71
PROM.	766.01	7.40	769.94	6.74	758.54	0.92	1.38

Tabla C.21: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 50.0 -b 10 -y 1.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	3.94	640.55	3.22	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	697.84	5.00	700.43	6.41	697.84	0.00	0.37
SCA3-2	661.13	4.31	663.60	3.57	659.34	0.27	0.65
SCA3-3	680.60	2.93	680.96	3.35	680.04	0.08	0.13
SCA3-4	690.50	3.75	690.50	3.58	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	661.07	3.18	676.62	3.24	659.90	0.18	2.53
SCA3-6	653.68	5.16	654.54	4.57	651.09	0.40	0.53
SCA3-7	671.67	3.76	671.67	3.20	659.17	1.90	1.90
SCA3-8	719.47	4.79	719.47	3.50	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	6.29	683.07	4.03	681.00	0.00	0.30
SCA8-0	988.41	11.67	993.34	9.93	961.50	2.80	3.31
SCA8-1	1067.36	11.45	1072.48	9.96	1049.65	1.69	2.18
SCA8-2	1051.48	11.26	1053.04	12.36	1039.64	1.14	1.29
SCA8-3	1019.54	9.98	1031.45	9.54	983.34	3.68	4.89
SCA8-4	1067.28	11.20	1074.67	10.86	1065.49	0.17	0.86
SCA8-5	1050.64	8.24	1064.45	9.86	1027.08	2.29	3.64
SCA8-6	972.48	8.98	977.31	11.09	971.82	0.07	0.56
SCA8-7	1063.22	10.48	1069.30	10.33	1051.28	1.14	1.71
SCA8-8	1082.91	10.96	1090.99	9.52	1071.18	1.10	1.85
SCA8-9	1067.42	13.77	1075.34	11.33	1060.50	0.65	1.40
CON3-0	632.98	1.86	633.17	1.98	616.52	2.67	2.70
CON3-1	560.75	2.51	560.75	2.40	554.47	1.13	1.13
CON3-2	521.38	2.03	521.38	2.29	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.20	2.11	591.20	2.53	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	3.76	590.21	2.85	588.79	0.00	0.24
CON3-5	563.70	4.46	566.80	3.56	563.70	0.00	0.55
CON3-6	504.15	2.26	504.88	2.50	499.05	1.02	1.17
CON3-7	584.01	3.22	585.33	3.25	576.48	1.31	1.54
CON3-8	523.05	3.36	523.21	3.07	523.05	0.00	0.03
CON3-9	588.40	1.85	588.40	2.80	578.24	1.76	1.76
CON8-0	877.17	9.05	880.45	8.82	857.17	2.33	2.72
CON8-1	742.47	7.02	744.09	9.41	740.85	0.22	0.44
CON8-2	713.60	11.58	716.59	11.46	712.89	0.10	0.52
CON8-3	832.75	8.54	835.43	9.49	811.07	2.67	3.00
CON8-4	777.99	7.85	786.67	9.66	772.25	0.74	1.87
CON8-5	758.84	8.80	760.00	10.46	754.88	0.52	0.68
CON8-6	689.23	11.18	693.27	10.43	678.92	1.52	2.11
CON8-7	814.79	11.57	816.30	12.08	811.96	0.35	0.54
CON8-8	779.43	6.28	785.41	7.15	767.53	1.55	2.33
CON8-9	815.02	9.66	823.94	8.36	809.00	0.74	1.85
PROM.	766.20	6.75	769.78	6.70	758.54	0.94	1.37

Tabla C.22: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -b 10 -y 0.1

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	3.12	640.55	3.13	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	701.53	2.94	701.61	2.92	697.84	0.53	0.54
SCA3-2	659.34	5.23	667.78	3.94	659.34	0.00	1.28
SCA3-3	681.31	2.78	681.31	2.67	680.04	0.19	0.19
SCA3-4	692.57	2.87	692.57	2.79	690.50	0.30	0.30
SCA3-5	670.10	2.22	673.50	2.27	659.90	1.55	2.06
SCA3-6	653.93	1.32	653.93	1.33	651.09	0.44	0.44
SCA3-7	666.15	2.70	666.15	2.69	659.17	1.06	1.06
SCA3-8	719.47	2.85	719.47	3.85	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	3.43	683.07	4.03	681.00	0.00	0.30
SCA8-0	985.12	8.62	991.28	10.82	961.50	2.46	3.10
SCA8-1	1053.44	13.86	1071.02	17.20	1049.65	0.36	2.04
SCA8-2	1053.78	9.63	1054.01	11.54	1039.64	1.36	1.38
SCA8-3	1029.00	14.64	1032.12	9.43	983.34	4.64	4.96
SCA8-4	1071.86	12.46	1092.77	11.52	1065.49	0.60	2.56
SCA8-5	1029.95	9.36	1044.70	10.26	1027.08	0.28	1.72
SCA8-6	972.48	11.75	982.84	8.95	971.82	0.07	1.13
SCA8-7	1067.03	9.88	1071.47	10.66	1051.28	1.50	1.92
SCA8-8	1092.01	4.88	1094.74	6.19	1071.18	1.94	2.20
SCA8-9	1082.94	8.41	1089.82	7.44	1060.50	2.12	2.76
CON3-0	620.76	2.38	629.38	2.40	616.52	0.69	2.09
CON3-1	556.04	2.79	557.22	2.92	554.47	0.28	0.50
CON3-2	521.38	2.47	521.38	2.60	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.19	3.37	591.20	3.75	591.19	0.00	0.00
CON3-4	589.32	2.59	589.32	2.58	588.79	0.09	0.09
CON3-5	569.04	3.14	570.69	2.80	563.70	0.95	1.24
CON3-6	502.16	2.38	502.16	2.22	499.05	0.62	0.62
CON3-7	582.33	3.15	585.09	3.43	576.48	1.01	1.49
CON3-8	523.05	3.03	524.25	2.77	523.05	0.00	0.23
CON3-9	581.06	1.86	586.93	2.17	578.24	0.49	1.50
CON8-0	872.09	8.14	877.49	8.04	857.17	1.74	2.37
CON8-1	741.70	10.36	749.20	9.27	740.85	0.11	1.13
CON8-2	714.06	49.88	721.03	18.67	712.89	0.16	1.14
CON8-3	832.89	9.62	834.91	8.89	811.07	2.69	2.94
CON8-4	786.79	9.87	788.03	7.66	772.25	1.88	2.04
CON8-5	757.75	11.22	761.28	9.40	754.88	0.38	0.85
CON8-6	687.70	9.91	699.46	8.05	678.92	1.29	3.02
CON8-7	814.50	10.99	815.41	9.77	811.96	0.31	0.43
CON8-8	789.44	10.06	789.44	8.23	767.53	2.85	2.85
CON8-9	814.36	10.32	824.84	8.38	809.00	0.66	1.96
PROM.	766.28	7.51	770.59	6.44	758.54	0.93	1.45

Tabla C.23: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -b 10 -y 0.5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	2.71	640.55	3.15	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	700.50	2.26	700.50	2.35	697.84	0.38	0.38
SCA3-2	666.01	3.02	666.01	3.55	659.34	1.01	1.01
SCA3-3	680.04	1.59	680.99	2.88	680.04	0.00	0.14
SCA3-4	692.57	3.88	693.25	4.21	690.50	0.30	0.40
SCA3-5	669.80	3.05	672.51	3.10	659.90	1.50	1.91
SCA3-6	652.94	4.04	653.16	4.11	651.09	0.28	0.32
SCA3-7	666.60	3.54	669.13	3.75	659.17	1.13	1.51
SCA3-8	719.47	1.27	719.47	1.28	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	4.52	684.47	3.78	681.00	0.00	0.51
SCA8-0	978.76	10.18	983.44	8.87	961.50	1.80	2.28
SCA8-1	1067.02	6.95	1070.99	7.85	1049.65	1.65	2.03
SCA8-2	1051.95	8.69	1052.96	11.53	1039.64	1.18	1.28
SCA8-3	1018.32	7.82	1021.88	8.92	983.34	3.56	3.92
SCA8-4	1086.81	5.86	1089.60	7.38	1065.49	2.00	2.26
SCA8-5	1050.64	8.94	1057.71	10.95	1027.08	2.29	2.98
SCA8-6	972.48	13.18	975.93	12.16	971.82	0.07	0.42
SCA8-7	1063.22	10.48	1069.38	9.56	1051.28	1.14	1.72
SCA8-8	1086.54	8.88	1091.65	10.56	1071.18	1.43	1.91
SCA8-9	1072.60	8.58	1085.00	8.87	1060.50	1.14	2.31
CON3-0	633.22	1.74	633.22	1.78	616.52	2.71	2.71
CON3-1	558.34	1.67	559.54	2.30	554.47	0.70	0.92
CON3-2	521.38	2.98	523.88	3.18	518.00	0.65	1.14
CON3-3	591.20	3.29	591.20	2.76	591.19	0.00	0.00
CON3-4	589.32	2.76	590.90	3.46	588.79	0.09	0.36
CON3-5	563.70	2.65	563.70	1.94	563.70	0.00	0.00
CON3-6	502.16	2.26	502.31	2.49	499.05	0.62	0.65
CON3-7	577.68	2.91	577.68	3.02	576.48	0.21	0.21
CON3-8	526.59	3.58	533.46	2.14	523.05	0.68	1.99
CON3-9	588.40	2.20	588.40	2.20	578.24	1.76	1.76
CON8-0	873.22	9.08	877.00	8.44	857.17	1.87	2.31
CON8-1	742.47	12.73	752.79	8.82	740.85	0.22	1.61
CON8-2	712.94	9.74	719.17	10.54	712.89	0.01	0.88
CON8-3	817.57	6.27	827.22	14.55	811.07	0.80	1.99
CON8-4	780.51	12.09	784.79	11.92	772.25	1.07	1.62
CON8-5	755.14	12.81	759.15	10.81	754.88	0.03	0.57
CON8-6	698.41	9.56	701.97	9.58	678.92	2.87	3.39
CON8-7	814.50	16.83	816.09	12.52	811.96	0.31	0.51
CON8-8	781.74	9.03	786.14	9.32	767.53	1.85	2.42
CON8-9	817.16	6.47	826.89	9.24	809.00	1.01	2.21
PROM.	766.59	6.25	769.85	6.50	758.54	0.98	1.38

Tabla C.24: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -b 10 -y 1.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	4.38	640.55	3.97	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	697.84	4.82	699.68	4.76	697.84	0.00	0.26
SCA3-2	661.13	3.48	661.13	3.37	659.34	0.27	0.27
SCA3-3	680.60	3.00	681.06	3.58	680.04	0.08	0.15
SCA3-4	690.50	3.46	691.02	3.85	690.50	0.00	0.08
SCA3-5	681.30	2.32	681.43	2.60	659.90	3.24	3.26
SCA3-6	652.94	4.68	653.68	2.70	651.09	0.28	0.40
SCA3-7	666.60	2.92	667.87	2.95	659.17	1.13	1.32
SCA3-8	719.47	5.55	719.47	5.59	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	4.24	683.07	4.20	681.00	0.00	0.30
SCA8-0	984.75	12.83	990.95	12.51	961.50	2.42	3.06
SCA8-1	1063.76	10.70	1069.78	10.10	1049.65	1.34	1.92
SCA8-2	1052.94	10.12	1054.06	10.69	1039.64	1.28	1.39
SCA8-3	1018.37	7.21	1021.04	8.02	983.34	3.56	3.83
SCA8-4	1069.53	12.64	1084.12	10.89	1065.49	0.38	1.75
SCA8-5	1043.05	14.46	1049.65	12.38	1027.08	1.55	2.20
SCA8-6	972.48	13.68	976.96	11.49	971.82	0.07	0.53
SCA8-7	1064.06	11.43	1073.54	11.35	1051.28	1.22	2.12
SCA8-8	1091.20	8.20	1092.13	9.11	1071.18	1.87	1.96
SCA8-9	1070.71	13.66	1086.18	12.24	1060.50	0.96	2.42
CON3-0	630.73	3.44	630.73	3.41	616.52	2.30	2.30
CON3-1	560.55	2.61	560.65	2.73	554.47	1.10	1.11
CON3-2	521.38	2.58	521.38	2.79	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.20	1.94	591.20	2.18	591.19	0.00	0.00
CON3-4	591.43	2.44	591.43	2.45	588.79	0.45	0.45
CON3-5	564.89	3.73	565.22	3.54	563.70	0.21	0.27
CON3-6	502.16	2.52	502.16	3.11	499.05	0.62	0.62
CON3-7	585.42	2.91	585.86	3.24	576.48	1.55	1.63
CON3-8	523.05	3.30	523.43	2.69	523.05	0.00	0.07
CON3-9	588.40	3.88	588.40	3.46	578.24	1.76	1.76
CON8-0	875.11	7.67	880.36	7.91	857.17	2.09	2.71
CON8-1	742.47	10.80	744.00	11.50	740.85	0.22	0.42
CON8-2	716.32	9.76	720.70	12.14	712.89	0.48	1.10
CON8-3	812.54	11.42	828.24	9.93	811.07	0.18	2.12
CON8-4	785.55	11.60	789.55	12.68	772.25	1.72	2.24
CON8-5	755.14	9.94	762.53	9.63	754.88	0.03	1.01
CON8-6	686.39	9.17	689.18	9.91	678.92	1.10	1.51
CON8-7	815.04	11.18	820.36	8.79	811.96	0.38	1.03
CON8-8	784.36	11.68	786.65	9.57	767.53	2.19	2.49
CON8-9	816.55	12.39	826.63	9.46	809.00	0.93	2.18
PROM.	766.29	7.22	769.65	6.94	758.54	0.96	1.34

Tabla C.25: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 150.0 -b 10 -y 0.1

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	4.72	640.55	8.17	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	697.84	2.47	697.84	2.56	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	661.13	3.63	670.16	2.05	659.34	0.27	1.64
SCA3-3	680.60	4.48	680.88	4.19	680.04	0.08	0.12
SCA3-4	690.50	5.48	690.50	4.64	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	665.04	2.76	677.62	2.27	659.90	0.78	2.68
SCA3-6	651.09	4.55	652.48	2.46	651.09	0.00	0.21
SCA3-7	667.34	3.46	667.34	3.44	659.17	1.24	1.24
SCA3-8	719.47	3.66	719.47	3.47	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	4.80	681.00	4.80	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	987.51	7.26	989.46	9.85	961.50	2.71	2.91
SCA8-1	1057.41	9.26	1068.66	15.75	1049.65	0.74	1.81
SCA8-2	1050.37	15.52	1050.79	14.44	1039.64	1.03	1.07
SCA8-3	1004.25	7.76	1019.72	8.03	983.34	2.13	3.70
SCA8-4	1068.97	9.93	1078.50	9.71	1065.49	0.33	1.22
SCA8-5	1049.44	8.91	1053.40	9.96	1027.08	2.18	2.56
SCA8-6	977.83	6.30	977.83	6.94	971.82	0.62	0.62
SCA8-7	1067.88	6.82	1069.30	6.06	1051.28	1.58	1.71
SCA8-8	1071.18	9.17	1085.23	8.62	1071.18	0.00	1.31
SCA8-9	1072.60	8.81	1081.75	9.97	1060.50	1.14	2.00
CON3-0	617.59	2.43	618.26	2.30	616.52	0.17	0.28
CON3-1	560.75	3.39	560.75	2.89	554.47	1.13	1.13
CON3-2	521.38	2.66	521.38	1.93	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.48	2.43	591.48	2.54	591.19	0.05	0.05
CON3-4	591.43	3.01	591.43	4.00	588.79	0.45	0.45
CON3-5	565.30	2.06	565.30	2.04	563.70	0.28	0.28
CON3-6	502.16	1.96	502.16	1.97	499.05	0.62	0.62
CON3-7	581.37	5.06	581.58	4.63	576.48	0.85	0.89
CON3-8	523.05	2.74	523.12	2.87	523.05	0.00	0.01
CON3-9	588.40	3.08	588.40	2.87	578.24	1.76	1.76
CON8-0	874.01	9.13	874.16	8.50	857.17	1.96	1.98
CON8-1	742.47	9.91	745.25	9.85	740.85	0.22	0.59
CON8-2	713.60	10.72	716.90	11.21	712.89	0.10	0.56
CON8-3	822.73	10.53	831.38	9.98	811.07	1.44	2.50
CON8-4	777.24	52.96	779.77	20.37	772.25	0.65	0.97
CON8-5	755.86	12.68	760.77	12.01	754.88	0.13	0.78
CON8-6	693.34	7.96	698.94	7.66	678.92	2.12	2.95
CON8-7	814.79	12.42	814.99	13.75	811.96	0.35	0.37
CON8-8	786.80	5.52	789.30	6.42	767.53	2.51	2.84
CON8-9	821.70	7.89	821.70	7.03	809.00	1.57	1.57
PROM.	765.19	7.46	768.24	6.80	758.54	0.82	1.17

Tabla C.26: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 150.0 -b 10 -y 0.5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	3.86	640.55	3.38	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	701.53	3.81	701.53	3.39	697.84	0.53	0.53
SCA3-2	665.71	3.46	665.71	3.73	659.34	0.97	0.97
SCA3-3	680.60	3.63	681.17	3.03	680.04	0.08	0.17
SCA3-4	690.50	3.96	690.50	4.01	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	666.67	2.46	666.67	2.49	659.90	1.03	1.03
SCA3-6	654.26	3.47	654.26	3.30	651.09	0.49	0.49
SCA3-7	666.60	2.77	666.60	2.87	659.17	1.13	1.13
SCA3-8	719.47	3.44	719.47	3.60	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	685.14	3.23	685.14	3.45	681.00	0.61	0.61
SCA8-0	984.96	12.25	996.72	9.20	961.50	2.44	3.66
SCA8-1	1065.72	10.93	1068.84	11.06	1049.65	1.53	1.83
SCA8-2	1051.95	11.50	1052.69	11.47	1039.64	1.18	1.26
SCA8-3	1017.21	8.32	1017.76	8.99	983.34	3.44	3.50
SCA8-4	1078.39	8.74	1080.53	9.91	1065.49	1.21	1.41
SCA8-5	1042.51	12.29	1049.60	11.30	1027.08	1.50	2.19
SCA8-6	972.48	9.30	973.83	11.41	971.82	0.07	0.21
SCA8-7	1067.49	10.12	1073.93	8.94	1051.28	1.54	2.15
SCA8-8	1071.18	10.41	1084.98	9.33	1071.18	0.00	1.29
SCA8-9	1077.03	9.42	1080.55	9.20	1060.50	1.56	1.89
CON3-0	633.24	2.59	633.24	2.55	616.52	2.71	2.71
CON3-1	563.72	2.45	563.72	2.56	554.47	1.67	1.67
CON3-2	521.38	2.43	521.38	2.49	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.20	2.67	591.20	2.87	591.19	0.00	0.00
CON3-4	591.43	3.16	591.43	3.15	588.79	0.45	0.45
CON3-5	563.70	2.02	567.71	3.19	563.70	0.00	0.71
CON3-6	502.16	3.63	502.16	3.77	499.05	0.62	0.62
CON3-7	586.01	2.79	586.01	3.07	576.48	1.65	1.65
CON3-8	523.05	3.03	523.12	3.15	523.05	0.00	0.01
CON3-9	588.99	2.15	588.99	2.15	578.24	1.86	1.86
CON8-0	873.65	9.32	881.06	10.06	857.17	1.92	2.79
CON8-1	748.30	8.64	751.35	10.39	740.85	1.01	1.42
CON8-2	713.05	12.39	717.61	9.85	712.89	0.02	0.66
CON8-3	826.06	7.75	827.04	7.00	811.07	1.85	1.97
CON8-4	776.98	11.42	781.70	10.89	772.25	0.61	1.22
CON8-5	760.82	11.83	762.19	11.90	754.88	0.79	0.97
CON8-6	698.41	10.35	703.11	8.33	678.92	2.87	3.56
CON8-7	814.79	10.55	815.59	9.32	811.96	0.35	0.45
CON8-8	782.82	8.76	785.17	9.07	767.53	1.99	2.30
CON8-9	818.17	12.75	820.37	9.89	809.00	1.13	1.41
PROM.	766.95	6.70	769.13	6.49	758.54	1.06	1.30

Tabla C.27: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 150.0 -b 10 -y 1.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	3.70	640.55	3.66	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	700.50	3.67	700.76	3.89	697.84	0.38	0.42
SCA3-2	659.34	3.85	661.18	4.59	659.34	0.00	0.28
SCA3-3	681.74	1.48	681.74	3.11	680.04	0.25	0.25
SCA3-4	690.50	4.41	692.55	3.50	690.50	0.00	0.30
SCA3-5	679.54	3.07	679.54	3.19	659.90	2.98	2.98
SCA3-6	652.94	3.59	653.43	3.64	651.09	0.28	0.36
SCA3-7	666.60	3.26	666.60	3.52	659.17	1.13	1.13
SCA3-8	719.47	4.73	719.47	3.77	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	3.31	681.00	3.73	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	975.50	13.43	986.08	10.58	961.50	1.46	2.56
SCA8-1	1050.38	8.27	1055.87	10.00	1049.65	0.07	0.59
SCA8-2	1052.56	13.52	1053.19	11.59	1039.64	1.24	1.30
SCA8-3	1013.56	10.74	1026.66	12.17	983.34	3.07	4.41
SCA8-4	1078.86	16.96	1089.70	11.71	1065.49	1.25	2.27
SCA8-5	1043.17	16.91	1050.84	13.12	1027.08	1.57	2.31
SCA8-6	972.48	10.70	986.46	19.02	971.82	0.07	1.51
SCA8-7	1070.53	9.59	1073.11	10.43	1051.28	1.83	2.08
SCA8-8	1082.11	10.09	1089.93	9.30	1071.18	1.02	1.75
SCA8-9	1081.06	8.18	1091.49	8.29	1060.50	1.94	2.92
CON3-0	630.73	1.56	630.80	1.32	616.52	2.30	2.32
CON3-1	559.25	2.53	559.25	2.67	554.47	0.86	0.86
CON3-2	521.38	3.72	521.38	3.72	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.20	3.50	591.51	3.25	591.19	0.00	0.05
CON3-4	591.43	3.47	591.43	3.75	588.79	0.45	0.45
CON3-5	563.70	2.43	563.70	2.48	563.70	0.00	0.00
CON3-6	502.16	2.76	502.16	2.53	499.05	0.62	0.62
CON3-7	586.01	3.24	586.01	2.83	576.48	1.65	1.65
CON3-8	523.05	1.57	523.67	1.96	523.05	0.00	0.12
CON3-9	588.40	2.10	588.84	2.26	578.24	1.76	1.83
CON8-0	883.76	8.87	893.42	8.67	857.17	3.10	4.23
CON8-1	748.39	13.46	752.37	9.28	740.85	1.02	1.56
CON8-2	713.10	10.38	713.48	7.96	712.89	0.03	0.08
CON8-3	817.57	6.82	824.40	7.97	811.07	0.80	1.64
CON8-4	785.55	10.03	789.18	9.54	772.25	1.72	2.19
CON8-5	760.41	10.04	762.05	11.29	754.88	0.73	0.95
CON8-6	698.32	10.54	700.23	8.08	678.92	2.86	3.14
CON8-7	814.77	11.90	815.58	11.44	811.96	0.35	0.45
CON8-8	783.92	9.54	788.04	9.42	767.53	2.14	2.67
CON8-9	814.45	11.82	825.20	11.40	809.00	0.67	2.00
PROM.	766.75	7.09	770.07	6.87	758.54	1.03	1.39

C.2.2. SalhiNagy

Tabla C.28: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 50.0 -b 10 -y 0.1

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	472.37	3.50	473.33	2.94	470.48	0.40	0.61
CMT1Y	472.87	2.58	474.63	1.58	470.48	0.51	0.88
CMT2X	704.15	15.88	708.62	12.10	682.39	3.19	3.84
CMT2Y	704.57	16.85	705.94	17.72	682.39	3.25	3.45
CMT3X	726.32	29.41	737.06	31.96	719.06	1.01	2.50
CMT3Y	737.83	42.83	741.20	37.65	719.06	2.61	3.08
CMT4X	900.80	237.52	906.71	234.19	854.21	5.45	6.15
CMT4Y	881.86	402.81	898.65	231.40	852.46	3.45	5.42
CMT5X	1100.80	1063.01	1100.80	1063.01	1030.56	6.82	6.82
CMT5Y	1107.29	1085.01	1114.28	1135.02	1031.69	7.33	8.01
CMT11X	890.64	44.83	900.71	47.67	831.09	7.17	8.38
CMT11Y	906.29	36.56	913.19	34.48	829.85	9.21	10.04
CMT12X	685.32	38.33	686.50	58.66	658.83	4.02	4.20
CMT12Y	682.79	82.46	689.40	47.61	660.47	3.38	4.38
PROM.	783.85	221.54	789.36	211.14	749.50	4.13	4.84

Tabla C.29: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 50.0 -b 10 -y 0.2

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	479.10	2.01	479.10	1.94	470.48	1.83	1.83
CMT1Y	472.87	2.88	476.40	2.24	470.48	0.51	1.26
CMT2X	706.82	26.86	710.29	16.96	682.39	3.58	4.09
CMT2Y	706.74	14.97	709.04	19.32	682.39	3.57	3.91
CMT3X	738.72	33.61	740.89	30.29	719.06	2.73	3.04
CMT3Y	734.49	37.84	738.16	29.61	719.06	2.15	2.66
CMT4X	901.10	216.33	910.23	174.28	854.21	5.49	6.56
CMT4Y	887.24	170.92	898.74	285.46	852.46	4.08	5.43
CMT5X	1103.93	1082.73	1111.23	1085.23	1030.56	7.12	7.83
CMT5Y	1104.45	1025.23	1115.77	1092.86	1031.69	7.05	8.15
CMT11X	907.87	22.25	910.17	43.40	831.09	9.24	9.52
CMT11Y	890.90	27.79	903.55	41.80	829.85	7.36	8.88
CMT12X	676.66	48.77	680.56	37.36	658.83	2.71	3.30
CMT12Y	674.95	79.03	681.67	76.12	660.47	2.19	3.21
PROM.	784.70	199.37	790.41	209.78	749.50	4.26	4.97

Tabla C.30: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 150.0 -b 10 -y 0.1

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	472.37	3.21	473.08	2.84	470.48	0.40	0.55
CMT1Y	480.15	1.15	480.15	1.17	470.48	2.06	2.06
CMT2X	711.65	16.82	713.04	13.55	682.39	4.29	4.49
CMT2Y	703.00	22.52	710.14	17.81	682.39	3.02	4.07
CMT3X	729.86	51.99	732.82	45.16	719.06	1.50	1.91
CMT3Y	727.10	34.85	737.27	30.00	719.06	1.12	2.53
CMT4X	897.25	173.62	906.74	202.63	854.21	5.04	6.15
CMT4Y	892.03	173.72	901.90	183.08	852.46	4.64	5.80
CMT5X	1099.51	1025.47	1123.62	704.51	1030.56	6.69	9.03
CMT5Y	1110.02	1055.47	1117.78	758.73	1031.69	7.59	8.34
CMT11X	908.56	40.80	914.40	38.80	831.09	9.32	10.02
CMT11Y	893.14	63.46	904.82	58.56	829.85	7.63	9.03
CMT12X	682.69	30.59	686.61	36.78	658.83	3.62	4.22
CMT12Y	678.93	37.66	680.04	43.23	660.47	2.79	2.96
PROM.	784.73	195.09	791.60	152.63	749.50	4.27	5.08

Tabla C.31: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 150.0 -b 10 -y 0.2

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	475.22	1.28	480.87	1.85	470.48	1.01	2.21
CMT1Y	473.01	1.52	473.87	1.44	470.48	0.54	0.72
CMT2X	704.90	17.29	707.20	17.41	682.39	3.30	3.64
CMT2Y	695.04	15.84	708.48	15.51	682.39	1.85	3.82
CMT3X	729.83	35.87	739.69	38.77	719.06	1.50	2.87
CMT3Y	734.07	35.46	737.18	39.56	719.06	2.09	2.52
CMT4X	897.78	201.25	911.53	211.32	854.21	5.10	6.71
CMT4Y	905.39	197.35	908.59	208.71	852.46	6.21	6.58
CMT5X	1102.97	1031.15	1111.08	873.47	1030.56	7.03	7.81
CMT5Y	1091.65	694.26	1107.65	823.40	1031.69	5.81	7.36
CMT11X	881.09	43.05	898.58	36.48	831.09	6.02	8.12
CMT11Y	884.31	47.38	909.57	42.63	829.85	6.56	9.61
CMT12X	680.80	35.51	684.72	49.56	658.83	3.33	3.93
CMT12Y	675.76	95.29	683.65	63.20	660.47	2.32	3.51
PROM.	780.84	175.18	790.19	173.09	749.50	3.76	4.96

Tabla C.32: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 250.0 -b 10 -y 0.1

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	480.26	1.74	480.26	1.75	470.48	2.08	2.08
CMT1Y	474.72	2.23	474.72	2.38	470.48	0.90	0.90
CMT2X	705.95	21.29	710.14	16.34	682.39	3.45	4.07
CMT2Y	699.34	11.63	709.63	18.58	682.39	2.48	3.99
CMT3X	734.18	42.26	741.47	36.02	719.06	2.10	3.12
CMT3Y	729.67	29.82	733.91	31.25	719.06	1.48	2.07
CMT4X	896.72	281.80	903.79	151.81	854.21	4.98	5.80
CMT4Y	898.85	179.21	910.69	149.28	852.46	5.44	6.83
CMT5X	1097.08	801.31	1113.54	1032.43	1030.56	6.45	8.05
CMT5Y	1135.61	933.42	1115.89	850.22	1031.69	10.07	8.16
CMT11X	909.72	25.86	914.96	20.85	831.09	9.46	10.09
CMT11Y	898.00	24.95	904.78	37.72	829.85	8.21	9.03
CMT12X	680.36	63.91	684.43	64.93	658.83	3.27	3.89
CMT12Y	674.58	85.38	681.42	66.05	660.47	2.14	3.17
PROM.	786.79	178.91	791.40	177.11	749.50	4.47	5.09

Tabla C.33: Resultados de la ejecución de la metaheurística SS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 250.0 -b 10 -y .2

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	474.87	2.27	476.14	2.45	470.48	0.93	1.20
CMT1Y	472.37	2.39	478.13	2.29	470.48	0.40	1.63
CMT2X	711.02	13.50	714.33	14.04	682.39	4.20	4.68
CMT2Y	703.34	28.24	703.34	29.33	682.39	3.07	3.07
CMT3X	734.12	47.39	735.71	44.76	719.06	2.09	2.32
CMT3Y	730.23	38.07	737.06	28.14	719.06	1.55	2.50
CMT4X	901.41	180.22	907.23	188.48	854.21	5.53	6.21
CMT4Y	903.43	260.59	912.51	239.54	852.46	5.98	7.04
CMT5X	1095.96	735.86	1109.12	1023.52	1030.56	6.35	7.62
CMT5Y	1102.60	653.38	1113.41	760.59	1031.69	6.87	7.92
CMT11X	890.59	36.43	903.66	40.21	831.09	7.16	8.73
CMT11Y	875.15	31.45	893.36	29.15	829.85	5.46	7.65
CMT12X	681.87	81.61	688.16	52.16	658.83	3.50	4.45
CMT12Y	675.89	81.87	680.98	53.60	660.47	2.33	3.11
PROM.	782.35	156.66	789.51	179.16	749.50	3.96	4.87

C.3. GTS-M

C.3.1. Dethloff

Tabla C.34: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	1.68	638.78	1.76	635.62	0.07	0.50
SCA3-1	697.84	1.98	697.84	1.75	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	3.00	659.34	2.06	659.34	0.00	0.00
SCA3-3	680.60	1.30	683.17	1.60	680.04	0.08	0.46
SCA3-4	690.50	3.15	690.50	2.23	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	1.18	666.85	1.69	659.90	0.00	1.05
SCA3-6	651.09	2.22	654.73	1.99	651.09	0.00	0.56
SCA3-7	664.88	1.29	668.15	1.75	659.17	0.87	1.36
SCA3-8	719.47	2.70	719.47	2.69	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	2.41	681.00	2.34	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	961.50	3.28	971.55	2.61	961.50	0.00	1.05
SCA8-1	1065.36	1.09	1073.92	2.06	1049.65	1.50	2.31
SCA8-2	1039.64	2.16	1049.75	2.19	1039.64	0.00	0.97
SCA8-3	983.34	2.44	1004.53	2.30	983.34	0.00	2.15
SCA8-4	1067.55	1.96	1071.03	2.97	1065.49	0.19	0.52
SCA8-5	1027.08	3.95	1051.81	2.18	1027.08	0.00	2.41
SCA8-6	972.48	2.15	985.33	2.13	971.82	0.07	1.39
SCA8-7	1063.22	1.59	1082.05	2.04	1051.28	1.14	2.93
SCA8-8	1071.18	1.50	1086.54	1.18	1071.18	0.00	1.43
SCA8-9	1063.68	2.76	1076.48	1.80	1060.50	0.30	1.51
CON3-0	616.52	1.53	625.33	2.27	616.52	0.00	1.43
CON3-1	554.47	1.83	558.11	2.15	554.47	0.00	0.66
CON3-2	519.61	2.32	526.50	2.04	518.00	0.31	1.64
CON3-3	591.19	2.63	591.19	1.70	591.19	0.00	0.00
CON3-4	591.43	0.89	597.97	1.50	588.79	0.45	1.56
CON3-5	563.70	1.00	574.71	1.49	563.70	0.00	1.95
CON3-6	499.05	2.83	501.54	1.97	499.05	0.00	0.50
CON3-7	576.48	4.16	582.58	2.89	576.48	0.00	1.06
CON3-8	523.05	2.26	523.05	2.05	523.05	0.00	0.00
CON3-9	582.79	2.04	590.94	1.83	578.24	0.79	2.20
CON8-0	857.40	6.12	867.25	3.27	857.17	0.03	1.18
CON8-1	752.18	3.52	771.45	2.56	740.85	1.53	4.13
CON8-2	718.64	4.48	728.78	3.49	712.89	0.81	2.23
CON8-3	811.23	1.46	830.33	2.80	811.07	0.02	2.37
CON8-4	772.25	1.71	775.62	1.80	772.25	0.00	0.44
CON8-5	756.91	2.42	762.33	2.10	754.88	0.27	0.99
CON8-6	688.68	1.92	698.43	1.74	678.92	1.44	2.87
CON8-7	814.79	5.72	817.90	3.21	811.96	0.35	0.73
CON8-8	767.53	2.42	774.29	2.81	767.53	0.00	0.88
CON8-9	812.23	3.96	831.40	2.38	809.00	0.40	2.77
PROM.	760.65	2.48	768.56	2.18	758.54	0.26	1.25

Tabla C.35: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	1.53	640.55	2.19	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	697.84	2.10	699.17	2.77	697.84	0.00	0.19
SCA3-2	659.34	1.53	659.34	2.44	659.34	0.00	0.00
SCA3-3	680.04	1.32	680.32	2.09	680.04	0.00	0.04
SCA3-4	690.50	2.52	690.50	2.82	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	3.39	666.42	2.09	659.90	0.00	0.99
SCA3-6	651.09	2.53	651.37	3.03	651.09	0.00	0.04
SCA3-7	666.15	1.97	667.09	2.08	659.17	1.06	1.20
SCA3-8	719.47	2.39	719.47	2.67	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	2.46	681.00	1.76	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	961.50	2.70	981.89	2.04	961.50	0.00	2.12
SCA8-1	1050.38	1.64	1060.47	2.48	1049.65	0.07	1.03
SCA8-2	1039.71	1.45	1042.99	1.62	1039.64	0.01	0.32
SCA8-3	1002.38	1.44	1012.59	1.50	983.34	1.94	2.97
SCA8-4	1067.28	1.58	1068.64	2.40	1065.49	0.17	0.30
SCA8-5	1042.43	1.48	1058.44	1.93	1027.08	1.49	3.05
SCA8-6	972.48	1.66	977.43	2.14	971.82	0.07	0.58
SCA8-7	1053.84	1.65	1067.64	3.18	1051.28	0.24	1.56
SCA8-8	1082.12	3.28	1091.10	1.88	1071.18	1.02	1.86
SCA8-9	1060.50	8.53	1070.11	3.91	1060.50	0.00	0.91
CON3-0	616.52	2.40	626.18	1.75	616.52	0.00	1.57
CON3-1	556.28	4.71	558.74	2.79	554.47	0.33	0.77
CON3-2	519.61	2.08	523.94	1.96	518.00	0.31	1.15
CON3-3	591.19	4.78	603.40	3.71	591.19	0.00	2.06
CON3-4	588.79	2.42	595.61	2.73	588.79	0.00	1.16
CON3-5	563.70	1.09	569.64	1.26	563.70	0.00	1.05
CON3-6	499.05	2.41	500.40	2.32	499.05	0.00	0.27
CON3-7	576.48	2.18	586.02	2.38	576.48	0.00	1.65
CON3-8	523.05	2.11	523.21	1.93	523.05	0.00	0.03
CON3-9	578.25	3.23	586.41	2.55	578.24	0.00	1.41
CON8-0	857.40	1.97	868.43	5.08	857.17	0.03	1.31
CON8-1	740.85	3.10	756.38	3.14	740.85	0.00	2.10
CON8-2	712.89	2.00	727.86	3.02	712.89	0.00	2.10
CON8-3	826.12	3.29	828.89	1.98	811.07	1.86	2.20
CON8-4	772.25	2.58	778.42	3.17	772.25	0.00	0.80
CON8-5	759.93	2.26	760.17	2.80	754.88	0.67	0.70
CON8-6	678.92	1.33	689.98	2.01	678.92	0.00	1.63
CON8-7	813.91	3.88	837.75	2.33	811.96	0.24	3.18
CON8-8	767.53	2.30	772.67	1.95	767.53	0.00	0.67
CON8-9	809.00	4.25	817.08	2.88	809.00	0.00	1.00
PROM.	760.76	2.54	767.44	2.47	758.54	0.26	1.12

Tabla C.36: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.45	1.81	638.59	2.32	635.62	0.13	0.47
SCA3-1	697.84	4.87	700.09	2.52	697.84	0.00	0.32
SCA3-2	659.34	1.75	666.01	1.71	659.34	0.00	1.01
SCA3-3	680.04	3.23	682.94	3.17	680.04	0.00	0.43
SCA3-4	690.50	1.58	690.50	3.13	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	2.10	663.16	2.10	659.90	0.00	0.49
SCA3-6	651.09	1.11	656.65	1.31	651.09	0.00	0.85
SCA3-7	666.15	2.02	667.09	2.38	659.17	1.06	1.20
SCA3-8	719.47	3.56	726.01	2.58	719.47	0.00	0.91
SCA3-9	681.00	3.92	681.00	3.08	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	961.50	4.69	982.80	2.83	961.50	0.00	2.22
SCA8-1	1049.65	7.26	1066.14	3.63	1049.65	0.00	1.57
SCA8-2	1050.37	2.40	1062.19	2.53	1039.64	1.03	2.17
SCA8-3	983.34	3.56	1007.40	2.59	983.34	0.00	2.45
SCA8-4	1065.49	4.02	1068.96	3.12	1065.49	0.00	0.33
SCA8-5	1027.08	1.75	1041.95	1.62	1027.08	0.00	1.45
SCA8-6	972.48	3.38	972.48	2.22	971.82	0.07	0.07
SCA8-7	1052.17	4.70	1064.93	3.14	1051.28	0.08	1.30
SCA8-8	1082.12	3.95	1083.40	1.96	1071.18	1.02	1.14
SCA8-9	1060.50	5.33	1065.17	3.69	1060.50	0.00	0.44
CON3-0	617.59	2.02	626.84	1.90	616.52	0.17	1.67
CON3-1	554.47	1.44	555.36	1.95	554.47	0.00	0.16
CON3-2	519.61	2.59	522.07	2.56	518.00	0.31	0.79
CON3-3	591.19	3.58	597.89	2.99	591.19	0.00	1.13
CON3-4	588.79	2.63	594.81	2.04	588.79	0.00	1.02
CON3-5	563.70	2.42	567.38	2.29	563.70	0.00	0.65
CON3-6	502.16	2.77	505.10	2.11	499.05	0.62	1.21
CON3-7	576.48	2.47	576.96	3.83	576.48	0.00	0.08
CON3-8	523.05	1.14	523.05	2.38	523.05	0.00	0.00
CON3-9	578.25	2.48	579.57	3.41	578.24	0.00	0.23
CON8-0	867.04	2.39	878.76	2.84	857.17	1.15	2.52
CON8-1	740.85	4.23	750.94	2.62	740.85	0.00	1.36
CON8-2	716.03	5.23	725.38	3.61	712.89	0.44	1.75
CON8-3	811.07	4.02	825.47	3.39	811.07	0.00	1.77
CON8-4	772.25	3.40	780.75	2.90	772.25	0.00	1.10
CON8-5	755.14	6.35	761.58	3.08	754.88	0.03	0.89
CON8-6	692.75	2.76	700.62	2.30	678.92	2.04	3.20
CON8-7	812.89	4.42	817.78	3.16	811.96	0.11	0.72
CON8-8	767.53	3.50	778.01	2.54	767.53	0.00	1.37
CON8-9	812.03	2.64	815.42	2.50	809.00	0.37	0.79
PROM.	760.23	3.24	766.78	2.65	758.54	0.22	1.03

Tabla C.37: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	6.08	640.55	3.58	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	697.84	2.35	699.17	1.67	697.84	0.00	0.19
SCA3-2	659.34	1.77	659.34	2.47	659.34	0.00	0.00
SCA3-3	680.04	1.16	680.46	2.00	680.04	0.00	0.06
SCA3-4	690.50	2.32	699.27	1.84	690.50	0.00	1.27
SCA3-5	659.90	1.78	670.22	1.37	659.90	0.00	1.56
SCA3-6	651.09	1.62	654.81	2.02	651.09	0.00	0.57
SCA3-7	666.15	1.14	667.83	1.45	659.17	1.06	1.31
SCA3-8	719.47	2.53	719.47	1.88	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	1.62	686.34	1.18	681.00	0.00	0.78
SCA8-0	970.64	3.35	984.62	2.35	961.50	0.95	2.40
SCA8-1	1067.45	2.80	1072.91	1.99	1049.65	1.70	2.22
SCA8-2	1042.17	2.52	1053.30	1.98	1039.64	0.24	1.31
SCA8-3	983.34	2.00	1004.75	1.61	983.34	0.00	2.18
SCA8-4	1067.29	2.74	1072.30	1.89	1065.49	0.17	0.64
SCA8-5	1048.65	3.40	1075.27	1.88	1027.08	2.10	4.69
SCA8-6	972.48	4.31	987.13	2.27	971.82	0.07	1.58
SCA8-7	1066.65	1.31	1075.46	2.01	1051.28	1.46	2.30
SCA8-8	1082.12	1.87	1083.19	1.45	1071.18	1.02	1.12
SCA8-9	1060.50	2.94	1065.52	2.39	1060.50	0.00	0.47
CON3-0	616.52	1.94	624.04	1.78	616.52	0.00	1.22
CON3-1	556.04	3.02	558.39	1.62	554.47	0.28	0.71
CON3-2	523.23	2.45	526.01	1.59	518.00	1.01	1.55
CON3-3	591.19	1.66	612.59	1.47	591.19	0.00	3.62
CON3-4	591.43	3.68	598.15	1.78	588.79	0.45	1.59
CON3-5	563.70	2.17	569.89	2.14	563.70	0.00	1.10
CON3-6	499.05	1.85	501.86	1.98	499.05	0.00	0.56
CON3-7	576.48	1.18	586.83	1.79	576.48	0.00	1.79
CON3-8	523.05	2.60	523.05	1.45	523.05	0.00	0.00
CON3-9	587.23	1.32	592.85	1.70	578.24	1.55	2.53
CON8-0	866.68	1.81	890.44	2.18	857.17	1.11	3.88
CON8-1	740.85	1.73	757.38	2.02	740.85	0.00	2.23
CON8-2	718.64	4.03	737.71	3.58	712.89	0.81	3.48
CON8-3	811.07	2.22	827.27	3.39	811.07	0.00	2.00
CON8-4	772.25	2.06	790.01	2.17	772.25	0.00	2.30
CON8-5	754.88	5.19	759.27	2.79	754.88	0.00	0.58
CON8-6	690.58	2.67	700.02	2.13	678.92	1.72	3.11
CON8-7	814.79	1.90	832.91	1.52	811.96	0.35	2.58
CON8-8	776.55	1.73	790.69	1.92	767.53	1.18	3.02
CON8-9	809.00	1.78	813.65	3.04	809.00	0.00	0.58
PROM.	762.26	2.42	771.12	2.03	758.54	0.45	1.60

Tabla C.38: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	5.80	637.18	3.06	635.62	0.07	0.25
SCA3-1	697.84	6.81	699.17	3.93	697.84	0.00	0.19
SCA3-2	659.34	3.19	659.34	4.96	659.34	0.00	0.00
SCA3-3	680.04	2.87	687.37	4.00	680.04	0.00	1.08
SCA3-4	690.50	3.27	690.50	3.82	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	4.34	663.16	3.47	659.90	0.00	0.49
SCA3-6	651.09	2.50	651.09	2.76	651.09	0.00	0.00
SCA3-7	666.15	4.47	666.15	4.84	659.17	1.06	1.06
SCA3-8	719.47	7.40	722.50	3.81	719.47	0.00	0.42
SCA3-9	681.00	3.28	681.00	3.89	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	970.64	3.92	979.52	3.00	961.50	0.95	1.87
SCA8-1	1050.20	4.36	1058.59	3.19	1049.65	0.05	0.85
SCA8-2	1042.10	6.18	1064.62	4.29	1039.64	0.24	2.40
SCA8-3	1007.85	4.88	1013.70	3.55	983.34	2.49	3.09
SCA8-4	1067.28	2.62	1071.35	3.35	1065.49	0.17	0.55
SCA8-5	1042.30	2.62	1048.70	3.85	1027.08	1.48	2.10
SCA8-6	972.48	1.84	972.48	3.15	971.82	0.07	0.07
SCA8-7	1070.72	7.45	1072.75	4.70	1051.28	1.85	2.04
SCA8-8	1071.18	5.53	1083.67	3.57	1071.18	0.00	1.17
SCA8-9	1060.50	2.86	1063.96	4.52	1060.50	0.00	0.33
CON3-0	616.52	1.88	619.75	2.71	616.52	0.00	0.52
CON3-1	554.47	2.49	557.61	3.95	554.47	0.00	0.57
CON3-2	523.23	3.93	523.35	3.54	518.00	1.01	1.03
CON3-3	591.19	4.92	594.58	3.25	591.19	0.00	0.57
CON3-4	588.79	2.34	595.12	3.71	588.79	0.00	1.08
CON3-5	563.70	1.74	565.92	2.94	563.70	0.00	0.39
CON3-6	499.05	3.84	501.60	3.54	499.05	0.00	0.51
CON3-7	576.48	9.98	581.75	5.44	576.48	0.00	0.91
CON3-8	523.05	2.82	523.05	2.22	523.05	0.00	0.00
CON3-9	578.25	5.48	585.61	5.61	578.24	0.00	1.27
CON8-0	857.17	5.78	864.60	4.71	857.17	0.00	0.87
CON8-1	740.85	4.56	766.76	3.18	740.85	0.00	3.50
CON8-2	718.64	9.61	723.54	4.13	712.89	0.81	1.49
CON8-3	811.07	5.86	811.11	3.66	811.07	0.00	0.00
CON8-4	772.25	6.79	776.01	4.61	772.25	0.00	0.49
CON8-5	754.95	4.72	759.31	4.67	754.88	0.01	0.59
CON8-6	685.45	2.10	697.00	3.21	678.92	0.96	2.66
CON8-7	813.31	4.18	826.56	3.42	811.96	0.17	1.80
CON8-8	767.53	2.50	785.13	3.16	767.53	0.00	2.29
CON8-9	811.14	4.01	814.90	4.00	809.00	0.26	0.73
PROM.	761.09	4.39	766.50	3.78	758.54	0.29	0.98

Tabla C.39: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	3.06	638.30	3.88	635.62	0.07	0.42
SCA3-1	697.84	2.10	698.50	3.98	697.84	0.00	0.10
SCA3-2	659.34	2.44	659.34	3.67	659.34	0.00	0.00
SCA3-3	680.04	8.85	680.32	5.89	680.04	0.00	0.04
SCA3-4	690.50	10.47	690.50	7.42	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	3.75	663.16	4.25	659.90	0.00	0.49
SCA3-6	651.09	4.28	651.09	4.32	651.09	0.00	0.00
SCA3-7	666.15	2.59	667.09	2.99	659.17	1.06	1.20
SCA3-8	719.47	5.04	721.90	5.95	719.47	0.00	0.34
SCA3-9	681.00	5.14	681.00	4.54	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	961.50	5.78	975.16	3.68	961.50	0.00	1.42
SCA8-1	1050.20	4.29	1062.09	3.39	1049.65	0.05	1.19
SCA8-2	1039.64	4.32	1055.00	4.32	1039.64	0.00	1.48
SCA8-3	983.34	6.90	990.89	6.25	983.34	0.00	0.77
SCA8-4	1067.55	2.50	1068.70	3.99	1065.49	0.19	0.30
SCA8-5	1027.08	4.50	1042.58	4.23	1027.08	0.00	1.51
SCA8-6	971.82	2.18	972.32	2.72	971.82	0.00	0.05
SCA8-7	1062.66	2.87	1066.24	4.37	1051.28	1.08	1.42
SCA8-8	1071.18	5.92	1073.91	4.16	1071.18	0.00	0.25
SCA8-9	1060.50	3.65	1063.91	3.69	1060.50	0.00	0.32
CON3-0	616.52	7.00	620.84	5.05	616.52	0.00	0.70
CON3-1	554.47	6.44	556.43	5.21	554.47	0.00	0.35
CON3-2	518.00	3.76	521.13	5.85	518.00	0.00	0.61
CON3-3	591.19	6.58	591.19	7.26	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	3.25	593.38	3.59	588.79	0.00	0.78
CON3-5	563.70	4.65	567.42	3.48	563.70	0.00	0.66
CON3-6	499.05	4.15	500.72	5.99	499.05	0.00	0.34
CON3-7	576.48	5.39	576.48	5.95	576.48	0.00	0.00
CON3-8	523.05	4.17	523.05	4.02	523.05	0.00	0.00
CON3-9	578.98	3.39	584.86	4.11	578.24	0.13	1.15
CON8-0	857.38	1.92	863.91	3.57	857.17	0.02	0.79
CON8-1	740.85	2.77	753.43	4.88	740.85	0.00	1.70
CON8-2	712.89	9.53	718.66	5.56	712.89	0.00	0.81
CON8-3	811.07	7.72	845.44	5.38	811.07	0.00	4.24
CON8-4	772.25	3.12	783.80	3.67	772.25	0.00	1.50
CON8-5	754.88	3.23	756.04	4.84	754.88	0.00	0.15
CON8-6	678.92	4.15	691.58	4.79	678.92	0.00	1.86
CON8-7	812.89	7.68	813.84	4.25	811.96	0.11	0.23
CON8-8	767.53	6.04	794.22	4.30	767.53	0.00	3.48
CON8-9	809.00	4.66	816.45	4.35	809.00	0.00	0.92
PROM.	759.12	4.76	764.87	4.59	758.54	0.07	0.79

Tabla C.40: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	7.16	637.18	5.71	635.62	0.07	0.25
SCA3-1	697.84	4.38	697.84	4.59	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	3.73	659.34	4.69	659.34	0.00	0.00
SCA3-3	680.04	6.40	680.46	6.03	680.04	0.00	0.06
SCA3-4	690.50	8.30	690.50	5.34	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	3.40	663.16	4.40	659.90	0.00	0.49
SCA3-6	651.09	4.08	656.49	3.56	651.09	0.00	0.83
SCA3-7	666.15	2.75	666.26	5.43	659.17	1.06	1.08
SCA3-8	719.47	8.67	719.47	5.46	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	2.54	681.00	3.60	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	961.50	3.82	984.43	4.53	961.50	0.00	2.39
SCA8-1	1049.65	6.98	1058.93	4.28	1049.65	0.00	0.88
SCA8-2	1039.64	8.42	1051.15	5.54	1039.64	0.00	1.11
SCA8-3	983.34	12.80	990.89	7.06	983.34	0.00	0.77
SCA8-4	1068.97	6.31	1071.20	5.15	1065.49	0.33	0.54
SCA8-5	1027.08	5.18	1043.38	4.48	1027.08	0.00	1.59
SCA8-6	972.48	3.74	976.62	3.62	971.82	0.07	0.49
SCA8-7	1051.28	3.65	1063.92	5.83	1051.28	0.00	1.20
SCA8-8	1071.18	2.40	1073.91	5.11	1071.18	0.00	0.25
SCA8-9	1060.50	3.55	1063.70	5.04	1060.50	0.00	0.30
CON3-0	616.52	4.25	622.47	6.22	616.52	0.00	0.96
CON3-1	554.47	4.86	556.16	6.07	554.47	0.00	0.30
CON3-2	521.33	8.78	522.75	5.00	518.00	0.64	0.92
CON3-3	591.19	5.06	591.19	6.50	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	5.12	597.23	4.52	588.79	0.00	1.43
CON3-5	563.70	6.46	563.70	5.22	563.70	0.00	0.00
CON3-6	499.05	3.89	500.64	4.64	499.05	0.00	0.32
CON3-7	576.48	7.53	580.84	7.29	576.48	0.00	0.76
CON3-8	523.05	7.40	523.05	4.88	523.05	0.00	0.00
CON3-9	578.25	7.86	584.36	8.21	578.24	0.00	1.06
CON8-0	858.16	5.70	863.87	4.29	857.17	0.12	0.78
CON8-1	740.85	2.74	748.04	4.15	740.85	0.00	0.97
CON8-2	716.03	8.42	728.59	5.54	712.89	0.44	2.20
CON8-3	821.26	8.54	827.25	5.25	811.07	1.26	1.99
CON8-4	772.25	5.22	775.39	5.34	772.25	0.00	0.41
CON8-5	754.95	3.66	756.80	4.62	754.88	0.01	0.26
CON8-6	681.33	4.39	688.75	4.58	678.92	0.35	1.45
CON8-7	814.50	8.41	837.74	4.51	811.96	0.31	3.17
CON8-8	767.53	3.67	782.86	5.41	767.53	0.00	2.00
CON8-9	811.18	3.52	817.45	3.23	809.00	0.27	1.04
PROM.	759.45	5.59	764.97	5.12	758.54	0.12	0.81

Tabla C.41: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	2.07	640.55	2.85	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	697.84	2.82	698.50	2.74	697.84	0.00	0.10
SCA3-2	659.34	2.20	659.34	3.15	659.34	0.00	0.00
SCA3-3	680.60	1.63	685.60	2.28	680.04	0.08	0.82
SCA3-4	690.50	4.27	690.50	2.99	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	2.06	659.90	3.88	659.90	0.00	0.00
SCA3-6	651.09	4.20	651.74	3.01	651.09	0.00	0.10
SCA3-7	666.15	2.30	669.36	3.08	659.17	1.06	1.55
SCA3-8	719.47	7.99	719.47	4.31	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	3.56	681.00	3.64	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	970.64	2.87	981.08	6.10	961.50	0.95	2.04
SCA8-1	1050.20	2.29	1060.43	3.10	1049.65	0.05	1.03
SCA8-2	1039.64	4.25	1044.67	4.50	1039.64	0.00	0.48
SCA8-3	1010.50	2.98	1012.73	3.32	983.34	2.76	2.99
SCA8-4	1067.55	4.62	1073.34	2.87	1065.49	0.19	0.74
SCA8-5	1027.08	3.18	1042.09	2.83	1027.08	0.00	1.46
SCA8-6	971.82	2.34	976.28	2.58	971.82	0.00	0.46
SCA8-7	1063.22	4.13	1070.55	3.84	1051.28	1.14	1.83
SCA8-8	1080.58	2.04	1085.86	2.99	1071.18	0.88	1.37
SCA8-9	1060.50	3.79	1065.19	4.46	1060.50	0.00	0.44
CON3-0	628.47	1.84	635.11	2.37	616.52	1.94	3.01
CON3-1	554.47	4.78	558.00	3.67	554.47	0.00	0.64
CON3-2	519.26	3.53	522.76	3.13	518.00	0.24	0.92
CON3-3	591.19	2.99	591.19	2.83	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	4.26	590.11	3.20	588.79	0.00	0.22
CON3-5	563.70	3.47	563.70	2.87	563.70	0.00	0.00
CON3-6	502.16	3.91	502.66	3.15	499.05	0.62	0.72
CON3-7	578.22	2.85	580.22	3.16	576.48	0.30	0.65
CON3-8	523.05	4.25	523.05	2.78	523.05	0.00	0.00
CON3-9	578.25	2.33	584.18	3.99	578.24	0.00	1.03
CON8-0	857.40	3.72	866.99	3.43	857.17	0.03	1.15
CON8-1	740.85	2.51	766.76	2.42	740.85	0.00	3.50
CON8-2	722.22	4.12	734.71	2.76	712.89	1.31	3.06
CON8-3	811.07	3.62	832.79	4.44	811.07	0.00	2.68
CON8-4	772.25	5.57	787.29	3.59	772.25	0.00	1.95
CON8-5	755.67	4.15	762.24	3.93	754.88	0.10	0.97
CON8-6	690.63	6.23	697.87	3.95	678.92	1.72	2.79
CON8-7	811.96	2.72	814.08	2.65	811.96	0.00	0.26
CON8-8	767.53	3.09	770.84	3.15	767.53	0.00	0.43
CON8-9	809.00	7.80	812.76	3.64	809.00	0.00	0.46
PROM.	761.36	3.58	766.64	3.34	758.54	0.35	1.02

Tabla C.42: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	3.31	639.43	3.84	635.62	0.07	0.60
SCA3-1	697.84	6.40	697.84	3.60	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	5.47	659.34	4.71	659.34	0.00	0.00
SCA3-3	680.04	4.20	680.46	4.42	680.04	0.00	0.06
SCA3-4	690.50	3.81	696.64	3.54	690.50	0.00	0.89
SCA3-5	659.90	3.02	663.16	5.50	659.90	0.00	0.49
SCA3-6	651.09	2.96	651.09	4.95	651.09	0.00	0.00
SCA3-7	666.15	3.31	667.09	3.28	659.17	1.06	1.20
SCA3-8	719.47	4.30	719.47	3.62	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	3.72	681.00	3.77	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	979.79	5.54	986.95	4.91	961.50	1.90	2.65
SCA8-1	1050.20	5.98	1063.57	4.35	1049.65	0.05	1.33
SCA8-2	1039.64	2.59	1049.10	3.69	1039.64	0.00	0.91
SCA8-3	983.34	4.59	989.85	4.54	983.34	0.00	0.66
SCA8-4	1067.55	3.92	1069.84	4.85	1065.49	0.19	0.41
SCA8-5	1027.08	2.85	1043.65	4.23	1027.08	0.00	1.61
SCA8-6	971.82	9.55	981.05	5.61	971.82	0.00	0.95
SCA8-7	1064.34	2.54	1073.82	3.89	1051.28	1.24	2.14
SCA8-8	1071.18	2.98	1079.39	3.79	1071.18	0.00	0.77
SCA8-9	1063.68	7.01	1075.99	3.65	1060.50	0.30	1.46
CON3-0	616.52	4.92	622.50	5.06	616.52	0.00	0.97
CON3-1	554.47	6.50	555.39	5.91	554.47	0.00	0.17
CON3-2	519.61	4.68	521.60	4.43	518.00	0.31	0.69
CON3-3	591.19	3.38	591.19	6.42	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	5.43	604.85	4.35	588.79	0.00	2.73
CON3-5	563.70	3.12	568.13	5.52	563.70	0.00	0.79
CON3-6	499.05	3.07	500.16	5.46	499.05	0.00	0.22
CON3-7	576.48	8.46	576.48	6.39	576.48	0.00	0.00
CON3-8	523.05	4.59	523.05	3.85	523.05	0.00	0.00
CON3-9	582.79	3.63	586.95	4.22	578.24	0.79	1.51
CON8-0	876.15	2.76	886.57	5.36	857.17	2.21	3.43
CON8-1	756.57	3.28	759.24	2.91	740.85	2.12	2.48
CON8-2	713.05	5.03	720.43	5.42	712.89	0.02	1.06
CON8-3	821.26	5.78	828.29	5.00	811.07	1.26	2.12
CON8-4	772.25	3.89	777.61	4.93	772.25	0.00	0.69
CON8-5	758.99	3.71	759.94	4.54	754.88	0.54	0.67
CON8-6	685.45	2.90	692.76	3.66	678.92	0.96	2.04
CON8-7	812.89	5.66	813.14	4.44	811.96	0.11	0.15
CON8-8	776.55	5.87	783.10	4.22	767.53	1.18	2.03
CON8-9	811.14	4.54	838.29	3.91	809.00	0.26	3.62
PROM.	761.50	4.48	766.96	4.52	758.54	0.36	1.04

Tabla C.43: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	5.11	638.30	5.81	635.62	0.07	0.42
SCA3-1	697.84	6.58	697.84	5.79	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	5.91	659.34	4.66	659.34	0.00	0.00
SCA3-3	680.04	8.95	682.62	5.49	680.04	0.00	0.38
SCA3-4	690.50	5.27	690.50	4.82	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	3.26	663.16	3.90	659.90	0.00	0.49
SCA3-6	651.09	4.56	651.55	5.56	651.09	0.00	0.07
SCA3-7	666.15	4.68	666.15	6.04	659.17	1.06	1.06
SCA3-8	719.47	4.60	719.47	5.20	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	4.23	681.00	3.76	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	961.50	3.87	981.35	4.01	961.50	0.00	2.06
SCA8-1	1050.20	4.50	1064.59	4.19	1049.65	0.05	1.42
SCA8-2	1039.64	4.97	1047.69	3.73	1039.64	0.00	0.77
SCA8-3	983.34	10.02	998.42	6.74	983.34	0.00	1.53
SCA8-4	1065.49	4.61	1068.23	4.79	1065.49	0.00	0.26
SCA8-5	1027.08	3.94	1037.87	3.40	1027.08	0.00	1.05
SCA8-6	972.48	4.41	972.48	5.03	971.82	0.07	0.07
SCA8-7	1051.28	7.62	1076.45	4.68	1051.28	0.00	2.39
SCA8-8	1071.18	3.23	1079.57	3.38	1071.18	0.00	0.78
SCA8-9	1060.50	9.08	1060.50	7.22	1060.50	0.00	0.00
CON3-0	616.52	8.40	619.22	7.62	616.52	0.00	0.44
CON3-1	554.47	3.76	556.83	4.99	554.47	0.00	0.42
CON3-2	518.00	2.91	521.98	5.66	518.00	0.00	0.77
CON3-3	591.19	8.10	591.19	7.54	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	2.64	593.44	4.07	588.79	0.00	0.79
CON3-5	563.70	3.85	569.43	4.79	563.70	0.00	1.02
CON3-6	500.37	9.42	502.17	5.67	499.05	0.26	0.62
CON3-7	576.48	3.37	581.37	4.81	576.48	0.00	0.85
CON3-8	523.05	2.59	523.05	3.48	523.05	0.00	0.00
CON3-9	578.25	8.27	583.61	6.62	578.24	0.00	0.93
CON8-0	857.40	9.75	865.50	6.38	857.17	0.03	0.97
CON8-1	740.85	15.36	751.68	6.51	740.85	0.00	1.46
CON8-2	713.05	12.66	718.15	8.79	712.89	0.02	0.74
CON8-3	811.23	2.67	823.73	5.96	811.07	0.02	1.56
CON8-4	772.25	3.91	779.71	3.94	772.25	0.00	0.97
CON8-5	755.67	5.21	757.96	5.15	754.88	0.10	0.41
CON8-6	678.92	3.74	688.26	8.03	678.92	0.00	1.38
CON8-7	812.89	4.15	813.29	5.94	811.96	0.11	0.16
CON8-8	767.53	2.69	769.05	4.94	767.53	0.00	0.20
CON8-9	809.00	5.19	811.70	6.15	809.00	0.00	0.33
PROM.	758.84	5.70	763.96	5.38	758.54	0.05	0.67

Tabla C.44: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	635.62	11.29	638.20	7.42	635.62	0.00	0.41
SCA3-1	697.84	5.71	698.50	6.87	697.84	0.00	0.10
SCA3-2	659.34	7.00	659.34	7.16	659.34	0.00	0.00
SCA3-3	680.04	7.92	685.65	5.82	680.04	0.00	0.83
SCA3-4	690.50	4.05	690.50	7.05	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	3.76	659.90	6.32	659.90	0.00	0.00
SCA3-6	651.09	4.79	651.43	4.44	651.09	0.00	0.05
SCA3-7	666.15	4.19	666.15	6.23	659.17	1.06	1.06
SCA3-8	719.47	3.43	722.30	4.28	719.47	0.00	0.39
SCA3-9	681.00	3.96	681.00	4.74	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	961.50	4.89	972.05	4.43	961.50	0.00	1.10
SCA8-1	1049.65	5.21	1054.77	4.59	1049.65	0.00	0.49
SCA8-2	1039.64	8.34	1044.92	6.25	1039.64	0.00	0.51
SCA8-3	983.34	8.17	1000.26	6.70	983.34	0.00	1.72
SCA8-4	1067.28	4.15	1071.41	3.65	1065.49	0.17	0.56
SCA8-5	1027.08	11.83	1043.49	6.05	1027.08	0.00	1.60
SCA8-6	971.82	8.14	981.79	5.12	971.82	0.00	1.03
SCA8-7	1051.28	4.69	1061.01	6.35	1051.28	0.00	0.93
SCA8-8	1071.18	4.46	1073.92	5.84	1071.18	0.00	0.26
SCA8-9	1060.50	4.74	1063.35	5.61	1060.50	0.00	0.27
CON3-0	616.52	3.80	625.42	3.37	616.52	0.00	1.44
CON3-1	556.04	5.84	556.66	4.81	554.47	0.28	0.40
CON3-2	521.38	5.29	522.21	5.10	518.00	0.65	0.81
CON3-3	591.19	7.94	591.19	6.33	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	6.62	590.66	5.47	588.79	0.00	0.32
CON3-5	563.70	4.41	567.42	5.93	563.70	0.00	0.66
CON3-6	499.05	6.42	501.50	8.28	499.05	0.00	0.49
CON3-7	576.48	13.39	580.34	8.21	576.48	0.00	0.67
CON3-8	523.05	5.90	523.05	5.67	523.05	0.00	0.00
CON3-9	578.25	14.09	581.85	8.46	578.24	0.00	0.62
CON8-0	858.03	6.62	872.27	5.01	857.17	0.10	1.76
CON8-1	740.85	2.84	744.76	3.25	740.85	0.00	0.53
CON8-2	713.84	3.88	719.11	4.39	712.89	0.13	0.87
CON8-3	811.07	4.84	824.48	5.20	811.07	0.00	1.65
CON8-4	772.25	4.06	788.24	4.29	772.25	0.00	2.07
CON8-5	758.12	8.34	759.48	4.88	754.88	0.43	0.61
CON8-6	683.68	6.74	685.90	6.45	678.92	0.70	1.03
CON8-7	813.00	4.82	814.24	4.65	811.96	0.13	0.28
CON8-8	767.53	7.32	776.13	5.52	767.53	0.00	1.12
CON8-9	814.50	3.07	831.16	3.61	809.00	0.68	2.74
PROM.	759.29	6.17	764.40	5.60	758.54	0.11	0.73

Tabla C.45: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	6.14	638.30	4.72	635.62	0.07	0.42
SCA3-1	697.84	3.31	697.84	3.30	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	2.13	659.34	3.90	659.34	0.00	0.00
SCA3-3	680.04	3.94	680.46	3.44	680.04	0.00	0.06
SCA3-4	690.50	5.48	690.50	4.64	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	3.40	663.16	3.29	659.90	0.00	0.49
SCA3-6	652.94	2.83	655.70	2.91	651.09	0.28	0.71
SCA3-7	666.15	6.94	667.37	3.58	659.17	1.06	1.24
SCA3-8	719.47	6.07	719.47	4.33	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	4.81	681.00	4.42	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	979.79	2.08	986.82	3.16	961.50	1.90	2.63
SCA8-1	1067.45	4.04	1071.08	3.89	1049.65	1.70	2.04
SCA8-2	1050.37	3.45	1058.39	3.42	1039.64	1.03	1.80
SCA8-3	983.34	3.65	995.85	4.50	983.34	0.00	1.27
SCA8-4	1067.28	5.15	1069.53	4.86	1065.49	0.17	0.38
SCA8-5	1047.55	6.97	1056.38	3.98	1027.08	1.99	2.85
SCA8-6	972.48	5.74	977.09	4.93	971.82	0.07	0.54
SCA8-7	1051.28	4.86	1073.03	3.82	1051.28	0.00	2.07
SCA8-8	1080.58	1.64	1092.19	3.06	1071.18	0.88	1.96
SCA8-9	1060.50	8.60	1068.74	4.58	1060.50	0.00	0.78
CON3-0	628.47	8.73	634.36	5.28	616.52	1.94	2.89
CON3-1	554.47	5.21	555.59	5.11	554.47	0.00	0.20
CON3-2	518.00	3.40	521.27	3.56	518.00	0.00	0.63
CON3-3	591.19	3.77	594.58	2.74	591.19	0.00	0.57
CON3-4	591.43	3.85	595.07	3.19	588.79	0.45	1.07
CON3-5	563.70	3.11	567.21	3.91	563.70	0.00	0.62
CON3-6	499.05	4.40	501.04	4.01	499.05	0.00	0.40
CON3-7	576.48	3.70	582.18	4.63	576.48	0.00	0.99
CON3-8	523.05	2.60	523.37	2.74	523.05	0.00	0.06
CON3-9	578.25	2.47	581.65	6.38	578.24	0.00	0.59
CON8-0	857.40	3.82	881.57	4.95	857.17	0.03	2.85
CON8-1	740.85	3.02	750.74	3.56	740.85	0.00	1.33
CON8-2	717.67	5.25	733.24	4.58	712.89	0.67	2.85
CON8-3	811.07	2.27	818.50	4.07	811.07	0.00	0.92
CON8-4	772.25	5.86	786.11	5.33	772.25	0.00	1.79
CON8-5	754.88	4.91	757.67	3.28	754.88	0.00	0.37
CON8-6	683.83	4.00	691.56	3.41	678.92	0.72	1.86
CON8-7	812.89	6.93	825.80	4.42	811.96	0.11	1.70
CON8-8	773.60	2.86	779.75	3.91	767.53	0.79	1.59
CON8-9	813.46	5.16	828.73	6.18	809.00	0.55	2.44
PROM.	761.65	4.41	767.81	4.10	758.54	0.36	1.13

C.3.2. SalhiNagy

Tabla C.46: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.48	2.49	474.49	2.33	470.48	0.00	0.85
CMT1Y	470.48	1.14	474.14	2.53	470.48	0.00	0.78
CMT2X	682.97	9.30	689.71	6.97	682.39	0.08	1.07
CMT2Y	685.83	3.53	692.28	4.19	682.39	0.50	1.45
CMT3X	727.10	5.56	731.30	4.82	719.06	1.12	1.70
CMT3Y	725.24	3.82	734.83	6.14	719.06	0.86	2.19
CMT4X	857.10	44.51	880.01	29.54	854.21	0.34	3.02
CMT4Y	864.65	30.39	878.79	21.78	852.46	1.43	3.09
CMT5X	1042.41	59.10	1076.56	51.16	1030.56	1.15	4.46
CMT5Y	1051.63	112.91	1064.77	62.12	1031.69	1.93	3.21
CMT11X	874.16	30.02	927.10	17.56	831.09	5.18	11.55
CMT11Y	877.73	13.89	890.64	20.76	829.85	5.77	7.33
CMT12X	670.63	11.53	682.35	7.75	658.83	1.79	3.57
CMT12Y	673.80	10.35	677.40	8.68	660.47	2.02	2.56
PROM.	762.44	24.18	776.74	17.60	749.50	1.58	3.35

Tabla C.47: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.48	1.87	470.92	2.22	470.48	0.00	0.09
CMT1Y	472.37	2.26	476.12	1.91	470.48	0.40	1.20
CMT2X	683.24	3.37	688.90	3.79	682.39	0.12	0.95
CMT2Y	684.24	4.74	686.00	6.74	682.39	0.27	0.53
CMT3X	725.25	9.50	730.82	7.51	719.06	0.86	1.64
CMT3Y	723.67	3.33	726.16	8.43	719.06	0.64	0.99
CMT4X	861.29	19.30	874.26	24.07	854.21	0.83	2.35
CMT4Y	857.86	44.85	870.08	40.63	852.46	0.63	2.07
CMT5X	1055.29	71.62	1066.52	58.18	1030.56	2.40	3.49
CMT5Y	1054.81	81.07	1068.03	51.84	1031.69	2.24	3.52
CMT11X	883.60	27.35	923.70	25.00	831.09	6.32	11.14
CMT11Y	879.29	53.60	903.25	26.61	829.85	5.96	8.85
CMT12X	673.13	16.37	677.44	9.21	658.83	2.17	2.82
CMT12Y	670.27	18.54	676.88	10.79	660.47	1.48	2.48
PROM.	763.91	25.56	774.22	19.78	749.50	1.74	3.01

Tabla C.48: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.48	1.92	471.27	3.78	470.48	0.00	0.17
CMT1Y	470.48	2.93	470.53	3.10	470.48	0.00	0.01
CMT2X	687.47	2.84	691.24	3.85	682.39	0.74	1.30
CMT2Y	683.64	5.18	692.29	4.39	682.39	0.18	1.45
CMT3X	726.56	6.52	730.58	8.29	719.06	1.04	1.60
CMT3Y	718.40	9.59	726.25	9.36	719.06	-0.09	1.00
CMT4X	860.34	62.94	871.92	36.80	854.21	0.72	2.07
CMT4Y	871.94	15.54	876.66	24.44	852.46	2.29	2.84
CMT5X	1049.05	73.98	1063.42	61.17	1030.56	1.79	3.19
CMT5Y	1063.25	58.15	1075.56	49.43	1031.69	3.06	4.25
CMT11X	862.52	17.70	908.98	35.20	831.09	3.78	9.37
CMT11Y	877.99	41.80	922.88	25.49	829.85	5.80	11.21
CMT12X	673.32	7.85	675.05	9.27	658.83	2.20	2.46
CMT12Y	674.00	9.58	680.58	8.52	660.47	2.05	3.05
PROM.	763.53	22.61	775.51	20.22	749.50	1.68	3.14

Tabla C.49: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 3000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.48	2.39	476.37	2.30	470.48	0.00	1.25
CMT1Y	470.48	1.45	471.43	1.86	470.48	0.00	0.20
CMT2X	690.50	6.81	695.57	5.34	682.39	1.19	1.93
CMT2Y	684.33	8.14	690.32	8.03	682.39	0.28	1.16
CMT3X	731.11	7.23	734.15	5.92	719.06	1.68	2.10
CMT3Y	728.31	13.55	731.19	10.36	719.06	1.29	1.69
CMT4X	860.05	37.86	873.55	31.84	854.21	0.68	2.26
CMT4Y	875.32	26.85	881.91	19.92	852.46	2.68	3.46
CMT5X	1056.38	55.30	1072.32	73.74	1030.56	2.51	4.05
CMT5Y	1046.01	76.00	1058.52	58.35	1031.69	1.39	2.60
CMT11X	886.55	15.48	904.07	20.26	831.09	6.67	8.78
CMT11Y	876.59	60.21	922.32	32.83	829.85	5.63	11.14
CMT12X	670.73	11.38	688.26	8.30	658.83	1.81	4.47
CMT12Y	673.64	15.00	675.70	10.71	660.47	1.99	2.31
PROM.	765.75	24.12	776.83	20.70	749.50	1.99	3.39

Tabla C.50: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.67	5.28	474.65	4.79	470.48	0.04	0.89
CMT1Y	470.48	5.17	471.90	4.96	470.48	0.00	0.30
CMT2X	687.04	10.30	688.10	7.61	682.39	0.68	0.84
CMT2Y	683.95	8.23	687.21	6.09	682.39	0.23	0.71
CMT3X	720.85	19.41	727.44	13.26	719.06	0.25	1.17
CMT3Y	727.67	23.26	730.82	16.68	719.06	1.20	1.64
CMT4X	856.96	53.35	875.27	53.15	854.21	0.32	2.47
CMT4Y	861.87	42.58	873.45	43.27	852.46	1.10	2.46
CMT5X	1044.32	67.27	1061.08	86.57	1030.56	1.34	2.96
CMT5Y	1070.09	67.93	1075.29	88.73	1031.69	3.72	4.23
CMT11X	874.78	24.59	929.53	35.62	831.09	5.26	11.85
CMT11Y	877.95	35.18	929.10	26.55	829.85	5.80	11.96
CMT12X	669.67	15.38	675.60	13.96	658.83	1.65	2.55
CMT12Y	674.38	16.92	682.40	11.98	660.47	2.11	3.32
PROM.	763.62	28.20	777.27	29.52	749.50	1.69	3.38

Tabla C.51: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.67	4.63	472.06	4.64	470.48	0.04	0.34
CMT1Y	470.48	4.63	471.62	5.22	470.48	0.00	0.24
CMT2X	683.95	12.96	688.00	8.90	682.39	0.23	0.82
CMT2Y	685.40	3.82	689.71	6.48	682.39	0.44	1.07
CMT3X	720.85	18.09	728.09	13.77	719.06	0.25	1.26
CMT3Y	718.40	17.16	724.92	15.59	719.06	-0.09	0.81
CMT4X	869.88	39.87	875.35	48.16	854.21	1.83	2.47
CMT4Y	857.21	40.89	866.88	39.30	852.46	0.56	1.69
CMT5X	1053.03	90.68	1066.16	87.20	1030.56	2.18	3.45
CMT5Y	1052.09	55.50	1069.69	73.75	1031.69	1.98	3.68
CMT11X	887.38	64.62	927.71	33.04	831.09	6.77	11.63
CMT11Y	864.03	39.67	881.12	39.27	829.85	4.12	6.18
CMT12X	664.46	26.26	668.91	22.70	658.83	0.85	1.53
CMT12Y	667.08	20.05	674.38	14.53	660.47	1.00	2.11
PROM.	761.78	31.35	771.76	29.47	749.50	1.44	2.66

Tabla C.52: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.48	3.23	471.05	4.15	470.48	0.00	0.12
CMT1Y	472.37	7.38	472.75	4.57	470.48	0.40	0.48
CMT2X	684.40	8.12	686.93	7.93	682.39	0.29	0.67
CMT2Y	684.61	9.51	685.83	6.67	682.39	0.33	0.50
CMT3X	720.08	17.55	724.32	13.92	719.06	0.14	0.73
CMT3Y	719.24	12.88	722.30	21.97	719.06	0.03	0.45
CMT4X	859.91	42.04	868.65	45.02	854.21	0.67	1.69
CMT4Y	855.50	30.56	872.61	40.44	852.46	0.36	2.36
CMT5X	1034.47	149.62	1074.57	100.35	1030.56	0.38	4.27
CMT5Y	1058.07	188.37	1072.12	114.88	1031.69	2.56	3.92
CMT11X	886.09	11.84	927.52	26.26	831.09	6.62	11.60
CMT11Y	877.73	62.72	934.12	42.12	829.85	5.77	12.56
CMT12X	670.50	14.44	673.27	12.21	658.83	1.77	2.19
CMT12Y	673.77	13.84	682.41	14.23	660.47	2.01	3.32
PROM.	761.94	40.86	776.32	32.48	749.50	1.52	3.21

Tabla C.53: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 5000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.48	3.24	474.14	3.19	470.48	0.00	0.78
CMT1Y	470.48	5.62	472.26	5.56	470.48	0.00	0.38
CMT2X	683.52	12.75	688.38	8.01	682.39	0.17	0.88
CMT2Y	682.39	7.22	693.66	9.75	682.39	0.00	1.65
CMT3X	718.40	14.93	724.80	13.71	719.06	-0.09	0.80
CMT3Y	726.28	11.27	729.32	12.80	719.06	1.00	1.43
CMT4X	857.77	48.73	880.70	43.04	854.21	0.42	3.10
CMT4Y	871.01	28.47	883.92	31.14	852.46	2.18	3.69
CMT5X	1053.60	78.61	1073.71	75.47	1030.56	2.24	4.19
CMT5Y	1065.33	89.55	1084.73	86.14	1031.69	3.26	5.14
CMT11X	885.58	55.43	914.03	37.53	831.09	6.56	9.98
CMT11Y	864.51	16.59	897.43	25.27	829.85	4.18	8.14
CMT12X	672.47	22.52	673.72	12.43	658.83	2.07	2.26
CMT12Y	673.59	14.16	681.59	11.20	660.47	1.99	3.20
PROM.	763.96	29.22	776.60	26.80	749.50	1.71	3.26

Tabla C.54: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 13

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.48	3.54	470.95	5.05	470.48	0.00	0.10
CMT1Y	470.48	6.14	470.95	3.78	470.48	0.00	0.10
CMT2X	683.95	11.29	688.55	9.14	682.39	0.23	0.90
CMT2Y	684.29	7.24	685.10	7.54	682.39	0.28	0.40
CMT3X	723.52	10.92	727.06	21.06	719.06	0.62	1.11
CMT3Y	720.08	40.20	723.09	19.58	719.06	0.14	0.56
CMT4X	861.31	113.35	865.77	61.74	854.21	0.83	1.35
CMT4Y	860.99	44.63	872.36	46.59	852.46	1.00	2.33
CMT5X	1046.69	205.14	1061.31	129.06	1030.56	1.57	2.98
CMT5Y	1048.16	105.49	1061.84	82.57	1031.69	1.60	2.92
CMT11X	869.87	32.10	916.02	54.55	831.09	4.67	10.22
CMT11Y	873.14	33.83	880.33	36.66	829.85	5.22	6.08
CMT12X	664.07	15.73	680.90	20.53	658.83	0.80	3.35
CMT12Y	674.40	22.88	682.37	12.76	660.47	2.11	3.32
PROM.	760.82	46.61	770.47	36.47	749.50	1.36	2.55

Tabla C.55: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 29

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.48	6.68	471.00	6.77	470.48	0.00	0.11
CMT1Y	470.48	5.09	470.48	6.37	470.48	0.00	0.00
CMT2X	682.39	15.27	687.72	10.73	682.39	0.00	0.78
CMT2Y	684.24	9.03	687.19	9.91	682.39	0.27	0.70
CMT3X	718.40	33.52	724.05	19.34	719.06	-0.09	0.69
CMT3Y	724.61	13.60	726.73	14.06	719.06	0.77	1.07
CMT4X	865.48	31.88	874.62	38.20	854.21	1.32	2.39
CMT4Y	854.60	62.67	858.79	62.72	852.46	0.25	0.74
CMT5X	1048.92	100.90	1065.85	107.50	1030.56	1.78	3.42
CMT5Y	1063.53	84.99	1066.91	71.83	1031.69	3.09	3.41
CMT11X	878.62	20.20	919.99	24.25	831.09	5.72	10.70
CMT11Y	877.30	69.82	909.59	39.31	829.85	5.72	9.61
CMT12X	664.03	10.90	672.56	21.02	658.83	0.79	2.08
CMT12Y	674.35	17.00	683.50	16.16	660.47	2.10	3.49
PROM.	762.67	34.40	772.78	32.01	749.50	1.55	2.80

Tabla C.56: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 37

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.48	4.91	471.62	5.01	470.48	0.00	0.24
CMT1Y	470.48	5.88	471.62	4.64	470.48	0.00	0.24
CMT2X	684.29	9.88	688.68	8.28	682.39	0.28	0.92
CMT2Y	686.36	16.65	689.14	9.42	682.39	0.58	0.99
CMT3X	720.18	32.90	722.04	25.22	719.06	0.16	0.41
CMT3Y	718.40	11.80	726.87	12.34	719.06	-0.09	1.09
CMT4X	863.50	58.77	865.25	51.08	854.21	1.09	1.29
CMT4Y	853.87	37.43	873.71	51.29	852.46	0.17	2.49
CMT5X	1052.84	143.98	1068.72	101.87	1030.56	2.16	3.70
CMT5Y	1031.58	170.46	1061.21	120.06	1031.69	-0.01	2.86
CMT11X	899.00	97.67	926.85	43.22	831.09	8.17	11.52
CMT11Y	887.56	20.82	927.96	35.98	829.85	6.95	11.82
CMT12X	667.81	15.18	670.24	18.77	658.83	1.36	1.73
CMT12Y	681.37	34.00	682.54	17.79	660.47	3.16	3.34
PROM.	763.41	47.17	774.75	36.07	749.50	1.71	3.05

Tabla C.57: Resultados de la ejecución de la metaheurística GTS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -mni 6000 -lambda1 0.05 -lambda2 0.05 -tabu 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.48	3.80	470.95	3.93	470.48	0.00	0.10
CMT1Y	470.48	7.44	470.95	6.68	470.48	0.00	0.10
CMT2X	688.06	9.45	689.90	8.47	682.39	0.83	1.10
CMT2Y	684.29	8.03	690.79	8.82	682.39	0.28	1.23
CMT3X	720.17	14.80	727.20	12.06	719.06	0.15	1.13
CMT3Y	725.02	15.33	730.14	16.30	719.06	0.83	1.54
CMT4X	863.01	68.36	879.09	59.50	854.21	1.03	2.91
CMT4Y	861.32	67.47	868.18	47.98	852.46	1.04	1.84
CMT5X	1055.39	118.95	1068.93	83.02	1030.56	2.41	3.72
CMT5Y	1049.57	79.66	1070.86	105.15	1031.69	1.73	3.80
CMT11X	896.87	48.70	944.09	40.97	831.09	7.91	13.60
CMT11Y	875.47	41.09	895.22	41.19	829.85	5.50	7.88
CMT12X	667.62	11.11	671.05	13.10	658.83	1.33	1.86
CMT12Y	674.44	19.16	682.28	21.88	660.47	2.12	3.30
PROM.	764.44	36.67	775.69	33.50	749.50	1.80	3.15

C.4. AS-M

C.4.1. Dethloff

Tabla C.58: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	2.15	636.13	2.13	635.62	0.07	0.08
SCA3-1	697.84	2.35	697.84	2.34	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	2.24	662.99	2.23	659.34	0.00	0.55
SCA3-3	680.04	2.02	680.32	2.13	680.04	0.00	0.04
SCA3-4	690.50	2.20	690.50	2.33	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	2.28	662.61	2.26	659.90	0.00	0.41
SCA3-6	651.09	2.24	652.79	2.22	651.09	0.00	0.26
SCA3-7	666.15	1.93	667.80	1.93	659.17	1.06	1.31
SCA3-8	719.47	2.22	720.26	2.25	719.47	0.00	0.11
SCA3-9	681.00	2.03	681.81	1.91	681.00	0.00	0.12
SCA8-0	961.50	2.24	977.14	2.31	961.50	0.00	1.63
SCA8-1	1054.08	2.16	1067.20	2.10	1049.65	0.42	1.67
SCA8-2	1050.35	1.90	1051.86	1.95	1039.64	1.03	1.18
SCA8-3	1000.72	2.11	1007.16	2.21	983.34	1.77	2.42
SCA8-4	1067.55	2.34	1068.66	2.28	1065.49	0.19	0.30
SCA8-5	1052.18	2.64	1054.87	2.64	1027.08	2.44	2.71
SCA8-6	972.48	2.60	978.37	2.54	971.82	0.07	0.67
SCA8-7	1066.65	2.56	1070.78	2.50	1051.28	1.46	1.85
SCA8-8	1071.18	2.55	1081.24	2.50	1071.18	0.00	0.94
SCA8-9	1067.42	2.10	1068.15	2.13	1060.50	0.65	0.72
CON3-0	620.76	2.38	621.92	2.40	616.52	0.69	0.88
CON3-1	554.47	2.19	558.37	2.33	554.47	0.00	0.70
CON3-2	521.38	2.25	521.38	2.29	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.20	2.31	591.24	2.35	591.19	0.00	0.01
CON3-4	588.79	2.15	590.11	2.21	588.79	0.00	0.22
CON3-5	563.70	2.30	567.50	2.18	563.70	0.00	0.67
CON3-6	500.80	2.64	502.42	2.60	499.05	0.35	0.68
CON3-7	578.22	2.06	581.57	1.99	576.48	0.30	0.88
CON3-8	524.38	2.01	526.31	2.06	523.05	0.25	0.62
CON3-9	578.25	2.25	584.43	2.14	578.24	0.00	1.07
CON8-0	871.77	2.38	875.49	2.40	857.17	1.70	2.14
CON8-1	740.85	2.40	748.45	2.34	740.85	0.00	1.03
CON8-2	713.68	3.16	713.85	2.80	712.89	0.11	0.13
CON8-3	811.07	2.36	814.29	2.37	811.07	0.00	0.40
CON8-4	776.34	2.27	783.53	2.27	772.25	0.53	1.46
CON8-5	758.84	2.29	764.03	2.35	754.88	0.52	1.21
CON8-6	691.42	2.69	694.53	2.69	678.92	1.84	2.30
CON8-7	814.79	1.99	814.84	2.15	811.96	0.35	0.36
CON8-8	778.40	2.62	781.59	2.55	767.53	1.42	1.83
CON8-9	810.61	2.68	814.49	2.67	809.00	0.20	0.68
PROM.	762.38	2.31	765.72	2.30	758.54	0.45	0.87

Tabla C.59: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	2.12	636.20	2.18	635.62	0.07	0.09
SCA3-1	697.84	2.34	697.84	2.42	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	2.00	659.79	2.07	659.34	0.00	0.07
SCA3-3	680.04	2.15	680.46	2.10	680.04	0.00	0.06
SCA3-4	690.50	2.32	690.50	2.27	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	2.18	663.17	2.20	659.90	0.00	0.50
SCA3-6	651.09	2.19	652.01	2.31	651.09	0.00	0.14
SCA3-7	666.15	1.88	667.20	1.91	659.17	1.06	1.22
SCA3-8	719.47	2.21	721.88	2.33	719.47	0.00	0.33
SCA3-9	681.00	2.07	681.64	1.86	681.00	0.00	0.09
SCA8-0	961.50	2.34	974.22	2.35	961.50	0.00	1.32
SCA8-1	1058.98	2.00	1065.31	2.08	1049.65	0.89	1.49
SCA8-2	1047.63	1.69	1049.89	1.86	1039.64	0.77	0.99
SCA8-3	991.84	2.08	1007.50	2.18	983.34	0.86	2.46
SCA8-4	1067.28	2.30	1068.84	2.32	1065.49	0.17	0.31
SCA8-5	1051.47	2.57	1055.03	2.56	1027.08	2.37	2.72
SCA8-6	977.83	2.26	980.03	2.34	971.82	0.62	0.85
SCA8-7	1067.20	2.48	1073.25	2.48	1051.28	1.51	2.09
SCA8-8	1071.18	2.53	1079.95	2.49	1071.18	0.00	0.82
SCA8-9	1067.42	2.47	1067.42	2.10	1060.50	0.65	0.65
CON3-0	619.09	2.37	622.42	2.37	616.52	0.42	0.96
CON3-1	554.47	2.09	556.53	2.67	554.47	0.00	0.37
CON3-2	521.38	2.22	522.03	2.18	518.00	0.65	0.78
CON3-3	591.19	2.40	591.20	2.46	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	2.06	589.87	2.01	588.79	0.00	0.18
CON3-5	564.88	2.28	566.78	2.38	563.70	0.21	0.55
CON3-6	502.88	2.50	503.83	2.45	499.05	0.77	0.96
CON3-7	578.22	1.92	580.22	1.87	576.48	0.30	0.65
CON3-8	523.14	2.15	525.98	2.10	523.05	0.02	0.56
CON3-9	578.98	2.27	586.16	2.17	578.24	0.13	1.37
CON8-0	867.28	2.35	874.08	2.31	857.17	1.18	1.97
CON8-1	740.85	2.31	743.89	2.33	740.85	0.00	0.41
CON8-2	714.06	2.75	716.35	2.72	712.89	0.16	0.49
CON8-3	816.45	2.40	820.67	2.34	811.07	0.66	1.18
CON8-4	780.48	2.10	788.00	2.15	772.25	1.07	2.04
CON8-5	760.91	2.28	762.53	2.20	754.88	0.80	1.01
CON8-6	689.11	3.21	691.61	2.72	678.92	1.50	1.87
CON8-7	814.86	2.24	818.69	2.04	811.96	0.36	0.83
CON8-8	791.31	2.54	791.87	2.58	767.53	3.10	3.17
CON8-9	809.00	2.72	812.99	2.55	809.00	0.00	0.49
PROM.	762.78	2.28	765.95	2.27	758.54	0.51	0.90

Tabla C.60: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	2.05	637.47	2.03	635.62	0.07	0.29
SCA3-1	697.84	2.35	698.76	2.29	697.84	0.00	0.13
SCA3-2	659.34	2.09	663.23	2.09	659.34	0.00	0.59
SCA3-3	680.04	2.04	680.64	2.13	680.04	0.00	0.09
SCA3-4	690.50	2.24	690.50	2.26	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	665.04	2.20	666.47	2.22	659.90	0.78	1.00
SCA3-6	651.09	2.05	653.34	2.21	651.09	0.00	0.35
SCA3-7	666.15	1.82	667.31	1.84	659.17	1.06	1.23
SCA3-8	719.47	2.11	720.19	2.13	719.47	0.00	0.10
SCA3-9	681.00	1.74	681.00	1.76	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	961.50	2.51	981.24	2.42	961.50	0.00	2.05
SCA8-1	1056.11	1.84	1061.02	1.89	1049.65	0.62	1.08
SCA8-2	1050.17	1.84	1050.53	1.84	1039.64	1.01	1.05
SCA8-3	1000.96	2.20	1010.46	2.15	983.34	1.79	2.76
SCA8-4	1065.49	2.50	1067.04	2.31	1065.49	0.00	0.15
SCA8-5	1038.59	2.42	1049.78	2.55	1027.08	1.12	2.21
SCA8-6	972.48	2.37	978.93	2.40	971.82	0.07	0.73
SCA8-7	1067.20	2.48	1069.38	2.59	1051.28	1.51	1.72
SCA8-8	1071.18	2.47	1081.82	2.45	1071.18	0.00	0.99
SCA8-9	1067.42	2.12	1068.36	2.02	1060.50	0.65	0.74
CON3-0	616.52	2.28	622.44	2.31	616.52	0.00	0.96
CON3-1	557.21	2.34	559.02	2.32	554.47	0.49	0.82
CON3-2	521.38	2.43	522.10	2.27	518.00	0.65	0.79
CON3-3	591.19	2.44	591.20	2.52	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	1.98	591.64	2.02	588.79	0.00	0.48
CON3-5	564.88	2.07	565.92	2.12	563.70	0.21	0.39
CON3-6	500.80	2.42	503.09	2.52	499.05	0.35	0.81
CON3-7	578.22	2.04	580.37	1.93	576.48	0.30	0.67
CON3-8	523.05	2.19	524.71	2.19	523.05	0.00	0.32
CON3-9	585.25	1.89	587.19	2.01	578.24	1.21	1.55
CON8-0	869.15	2.10	876.19	2.28	857.17	1.40	2.22
CON8-1	742.44	2.47	746.95	2.31	740.85	0.21	0.82
CON8-2	713.60	2.78	716.54	2.74	712.89	0.10	0.51
CON8-3	812.54	2.30	816.31	2.36	811.07	0.18	0.65
CON8-4	784.87	2.10	789.59	2.16	772.25	1.63	2.24
CON8-5	759.93	2.23	763.37	2.21	754.88	0.67	1.12
CON8-6	690.85	2.65	694.59	2.54	678.92	1.76	2.31
CON8-7	814.79	1.94	818.30	2.00	811.96	0.35	0.78
CON8-8	785.30	2.38	787.58	2.45	767.53	2.32	2.61
CON8-9	814.37	2.45	816.09	2.46	809.00	0.66	0.88
PROM.	762.82	2.22	766.27	2.23	758.54	0.53	0.96

Tabla C.61: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	2.97	636.06	3.11	635.62	0.07	0.07
SCA3-1	697.84	3.06	697.84	3.23	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	2.79	659.79	2.85	659.34	0.00	0.07
SCA3-3	680.04	2.69	680.36	2.81	680.04	0.00	0.05
SCA3-4	690.50	3.00	690.50	3.02	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	662.75	2.94	663.47	3.08	659.90	0.43	0.54
SCA3-6	651.09	3.12	652.48	3.09	651.09	0.00	0.21
SCA3-7	664.88	2.92	665.95	2.66	659.17	0.87	1.03
SCA3-8	719.47	2.92	719.54	3.01	719.47	0.00	0.01
SCA3-9	681.00	2.65	681.00	2.56	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	961.50	2.93	979.07	3.11	961.50	0.00	1.83
SCA8-1	1059.55	2.83	1067.80	2.72	1049.65	0.94	1.73
SCA8-2	1050.17	2.52	1050.47	2.48	1039.64	1.01	1.04
SCA8-3	1005.22	3.11	1009.93	2.97	983.34	2.23	2.70
SCA8-4	1065.49	3.25	1068.75	3.06	1065.49	0.00	0.31
SCA8-5	1034.74	4.26	1049.29	3.69	1027.08	0.75	2.16
SCA8-6	979.28	3.24	979.71	3.31	971.82	0.77	0.81
SCA8-7	1066.65	3.28	1070.93	3.10	1051.28	1.46	1.87
SCA8-8	1071.18	3.22	1081.12	3.32	1071.18	0.00	0.93
SCA8-9	1067.42	2.76	1067.42	3.00	1060.50	0.65	0.65
CON3-0	616.52	3.01	620.82	3.17	616.52	0.00	0.70
CON3-1	554.47	3.29	555.84	3.17	554.47	0.00	0.25
CON3-2	519.61	2.90	521.00	2.92	518.00	0.31	0.58
CON3-3	591.19	3.48	591.20	3.25	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	2.93	588.79	2.87	588.79	0.00	0.00
CON3-5	564.88	2.89	567.00	2.92	563.70	0.21	0.59
CON3-6	500.80	3.23	502.21	3.28	499.05	0.35	0.63
CON3-7	578.22	2.58	580.68	2.77	576.48	0.30	0.73
CON3-8	523.05	3.25	523.77	3.02	523.05	0.00	0.14
CON3-9	588.40	3.06	588.42	2.86	578.24	1.76	1.76
CON8-0	870.22	3.16	871.56	3.09	857.17	1.52	1.68
CON8-1	740.85	3.05	742.18	3.07	740.85	0.00	0.18
CON8-2	713.44	3.72	714.84	3.63	712.89	0.08	0.27
CON8-3	812.11	3.08	816.32	3.08	811.07	0.13	0.65
CON8-4	780.09	3.06	783.16	2.91	772.25	1.02	1.41
CON8-5	758.84	3.26	762.70	3.27	754.88	0.52	1.04
CON8-6	686.97	3.40	693.16	3.49	678.92	1.19	2.10
CON8-7	814.79	2.74	816.97	2.80	811.96	0.35	0.62
CON8-8	782.09	3.40	784.41	3.50	767.53	1.90	2.20
CON8-9	811.59	3.50	814.12	3.46	809.00	0.32	0.63
PROM.	762.53	3.09	765.27	3.07	758.54	0.48	0.80

Tabla C.62: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	2.73	636.06	2.79	635.62	0.07	0.07
SCA3-1	697.84	3.10	697.84	3.12	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	2.92	661.76	2.82	659.34	0.00	0.37
SCA3-3	680.04	2.65	680.04	2.79	680.04	0.00	0.00
SCA3-4	690.50	3.13	690.50	3.02	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	665.04	3.04	665.90	2.94	659.90	0.78	0.91
SCA3-6	651.09	2.71	652.01	2.83	651.09	0.00	0.14
SCA3-7	666.15	2.50	666.15	2.42	659.17	1.06	1.06
SCA3-8	719.47	2.72	720.12	2.84	719.47	0.00	0.09
SCA3-9	681.00	2.43	681.00	2.41	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	968.79	2.90	980.97	3.06	961.50	0.76	2.03
SCA8-1	1060.41	2.81	1065.82	2.72	1049.65	1.03	1.54
SCA8-2	1050.37	2.30	1050.94	2.33	1039.64	1.03	1.09
SCA8-3	998.59	2.86	1007.59	2.90	983.34	1.55	2.47
SCA8-4	1067.28	2.98	1069.28	3.02	1065.49	0.17	0.36
SCA8-5	1045.15	3.42	1054.64	3.51	1027.08	1.76	2.68
SCA8-6	977.03	3.09	981.62	3.25	971.82	0.54	1.01
SCA8-7	1067.20	3.14	1071.31	3.20	1051.28	1.51	1.91
SCA8-8	1071.18	3.34	1072.13	3.34	1071.18	0.00	0.09
SCA8-9	1067.42	2.76	1068.24	2.63	1060.50	0.65	0.73
CON3-0	617.59	3.25	620.40	3.31	616.52	0.17	0.63
CON3-1	554.47	2.94	556.69	3.03	554.47	0.00	0.40
CON3-2	521.38	2.63	522.62	2.89	518.00	0.65	0.89
CON3-3	591.19	3.24	591.23	3.20	591.19	0.00	0.01
CON3-4	588.79	2.78	590.11	2.81	588.79	0.00	0.22
CON3-5	563.70	2.88	565.24	2.88	563.70	0.00	0.27
CON3-6	502.16	3.20	502.33	3.41	499.05	0.62	0.66
CON3-7	578.41	2.56	580.11	2.69	576.48	0.33	0.63
CON3-8	523.14	2.80	523.64	2.78	523.05	0.02	0.11
CON3-9	578.25	2.82	585.18	2.77	578.24	0.00	1.20
CON8-0	869.43	3.07	876.69	2.94	857.17	1.43	2.28
CON8-1	740.85	3.05	743.49	3.21	740.85	0.00	0.36
CON8-2	712.89	3.62	715.24	3.69	712.89	0.00	0.33
CON8-3	815.14	3.04	816.88	3.08	811.07	0.50	0.72
CON8-4	776.72	2.98	782.70	3.16	772.25	0.58	1.35
CON8-5	755.14	3.14	759.85	2.99	754.88	0.03	0.66
CON8-6	693.80	3.26	694.38	3.40	678.92	2.19	2.28
CON8-7	814.86	2.67	820.13	2.77	811.96	0.36	1.01
CON8-8	783.02	3.18	788.58	3.40	767.53	2.02	2.74
CON8-9	811.32	3.37	813.45	3.36	809.00	0.29	0.55
PROM.	762.81	2.95	765.57	2.99	758.54	0.50	0.85

Tabla C.63: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	3.03	637.47	2.84	635.62	0.07	0.29
SCA3-1	697.84	3.16	697.84	3.17	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	2.95	660.24	2.85	659.34	0.00	0.14
SCA3-3	680.04	2.89	680.04	2.80	680.04	0.00	0.00
SCA3-4	690.50	2.92	690.50	2.90	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	3.10	662.05	2.97	659.90	0.00	0.33
SCA3-6	652.94	2.80	653.13	2.83	651.09	0.28	0.31
SCA3-7	666.15	2.44	666.15	2.45	659.17	1.06	1.06
SCA3-8	719.47	2.82	720.60	2.73	719.47	0.00	0.16
SCA3-9	681.00	2.45	681.00	2.41	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	961.50	3.11	970.75	3.01	961.50	0.00	0.96
SCA8-1	1059.55	2.65	1062.33	2.72	1049.65	0.94	1.21
SCA8-2	1045.64	2.34	1049.73	2.35	1039.64	0.58	0.97
SCA8-3	1011.52	2.98	1015.71	2.88	983.34	2.87	3.29
SCA8-4	1065.49	3.06	1067.78	2.90	1065.49	0.00	0.21
SCA8-5	1034.74	3.41	1042.27	3.39	1027.08	0.75	1.48
SCA8-6	977.03	3.44	979.95	3.25	971.82	0.54	0.84
SCA8-7	1067.11	3.19	1069.92	3.22	1051.28	1.51	1.77
SCA8-8	1071.18	3.16	1076.64	3.25	1071.18	0.00	0.51
SCA8-9	1067.42	2.76	1067.42	2.59	1060.50	0.65	0.65
CON3-0	616.52	3.37	619.11	3.17	616.52	0.00	0.42
CON3-1	554.47	2.83	556.30	2.91	554.47	0.00	0.33
CON3-2	519.11	2.86	521.96	2.80	518.00	0.21	0.76
CON3-3	591.19	3.19	591.54	3.08	591.19	0.00	0.06
CON3-4	588.79	2.65	590.38	2.74	588.79	0.00	0.27
CON3-5	563.70	2.80	566.49	2.93	563.70	0.00	0.49
CON3-6	501.05	3.37	501.69	3.42	499.05	0.40	0.53
CON3-7	576.48	2.68	579.43	2.58	576.48	0.00	0.51
CON3-8	523.14	2.90	523.57	2.78	523.05	0.02	0.10
CON3-9	588.48	3.09	588.88	2.78	578.24	1.77	1.84
CON8-0	866.22	3.07	870.49	3.00	857.17	1.06	1.55
CON8-1	742.29	3.14	746.61	3.05	740.85	0.19	0.78
CON8-2	713.60	3.40	715.66	3.61	712.89	0.10	0.39
CON8-3	815.80	2.92	817.17	2.97	811.07	0.58	0.75
CON8-4	781.56	2.90	790.07	2.86	772.25	1.21	2.31
CON8-5	758.84	2.94	762.87	2.91	754.88	0.52	1.06
CON8-6	683.83	3.29	689.90	3.35	678.92	0.72	1.62
CON8-7	814.86	2.71	816.77	2.67	811.96	0.36	0.59
CON8-8	779.43	3.17	786.30	3.34	767.53	1.55	2.45
CON8-9	812.60	3.71	814.81	3.48	809.00	0.44	0.72
PROM.	762.41	2.99	765.04	2.95	758.54	0.46	0.79

Tabla C.64: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	3.38	636.13	3.51	635.62	0.07	0.08
SCA3-1	697.84	3.82	697.84	3.92	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	3.50	659.79	3.52	659.34	0.00	0.07
SCA3-3	680.04	3.26	680.04	3.59	680.04	0.00	0.00
SCA3-4	690.50	3.64	690.50	3.73	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	3.54	664.73	3.66	659.90	0.00	0.73
SCA3-6	651.09	4.07	652.01	3.73	651.09	0.00	0.14
SCA3-7	664.88	3.41	666.11	3.41	659.17	0.87	1.05
SCA3-8	719.47	3.74	719.62	3.80	719.47	0.00	0.02
SCA3-9	681.00	3.31	681.59	3.23	681.00	0.00	0.09
SCA8-0	968.79	4.09	974.18	3.86	961.50	0.76	1.32
SCA8-1	1053.44	3.17	1058.36	3.36	1049.65	0.36	0.83
SCA8-2	1046.29	3.25	1049.30	3.41	1039.64	0.64	0.93
SCA8-3	997.48	3.77	1005.78	3.62	983.34	1.44	2.28
SCA8-4	1067.55	3.86	1069.46	3.78	1065.49	0.19	0.37
SCA8-5	1034.74	4.23	1041.65	4.76	1027.08	0.75	1.42
SCA8-6	980.91	4.20	980.91	4.98	971.82	0.94	0.94
SCA8-7	1066.65	4.01	1067.99	4.11	1051.28	1.46	1.59
SCA8-8	1071.18	4.00	1074.49	4.12	1071.18	0.00	0.31
SCA8-9	1067.42	3.38	1067.42	3.41	1060.50	0.65	0.65
CON3-0	617.59	4.31	619.17	4.03	616.52	0.17	0.43
CON3-1	554.47	3.96	555.15	3.85	554.47	0.00	0.12
CON3-2	519.11	3.64	520.25	3.69	518.00	0.21	0.43
CON3-3	591.19	4.28	591.24	4.01	591.19	0.00	0.01
CON3-4	588.79	3.16	589.58	3.36	588.79	0.00	0.13
CON3-5	564.88	3.68	565.64	3.75	563.70	0.21	0.35
CON3-6	500.80	4.02	501.49	4.32	499.05	0.35	0.49
CON3-7	577.54	4.48	578.14	3.64	576.48	0.18	0.29
CON3-8	523.05	3.72	523.10	3.43	523.05	0.00	0.01
CON3-9	584.05	3.21	586.96	3.48	578.24	1.00	1.51
CON8-0	861.35	3.91	876.04	4.00	857.17	0.49	2.20
CON8-1	740.93	3.87	741.95	3.92	740.85	0.01	0.15
CON8-2	713.21	4.58	714.34	4.54	712.89	0.04	0.20
CON8-3	811.07	3.86	814.00	3.96	811.07	0.00	0.36
CON8-4	776.34	3.61	783.93	3.70	772.25	0.53	1.51
CON8-5	758.12	3.95	759.02	3.90	754.88	0.43	0.55
CON8-6	693.10	4.49	696.34	4.38	678.92	2.09	2.57
CON8-7	814.79	3.55	815.13	3.34	811.96	0.35	0.39
CON8-8	778.34	4.78	782.71	4.63	767.53	1.41	1.98
CON8-9	812.60	4.06	815.19	4.17	809.00	0.44	0.76
PROM.	761.90	3.82	764.18	3.84	758.54	0.40	0.68

Tabla C.65: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	3.52	636.13	3.42	635.62	0.07	0.08
SCA3-1	697.84	3.85	697.84	3.85	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	3.57	661.77	3.54	659.34	0.00	0.37
SCA3-3	680.04	3.42	680.04	3.50	680.04	0.00	0.00
SCA3-4	690.50	3.58	690.50	3.78	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	3.67	662.76	3.84	659.90	0.00	0.43
SCA3-6	651.09	3.53	652.48	3.62	651.09	0.00	0.21
SCA3-7	666.15	3.14	667.09	3.05	659.17	1.06	1.20
SCA3-8	719.47	3.80	720.61	3.69	719.47	0.00	0.16
SCA3-9	681.00	2.93	681.00	3.04	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	961.50	3.75	969.59	3.94	961.50	0.00	0.84
SCA8-1	1056.70	3.34	1061.04	3.27	1049.65	0.67	1.09
SCA8-2	1046.29	3.11	1049.35	3.06	1039.64	0.64	0.93
SCA8-3	1015.17	4.01	1016.97	3.74	983.34	3.24	3.42
SCA8-4	1067.28	3.78	1068.05	3.76	1065.49	0.17	0.24
SCA8-5	1045.30	4.25	1052.74	4.37	1027.08	1.77	2.50
SCA8-6	977.87	4.15	979.87	4.00	971.82	0.62	0.83
SCA8-7	1065.61	4.10	1071.63	4.20	1051.28	1.36	1.94
SCA8-8	1071.18	4.10	1073.91	4.03	1071.18	0.00	0.25
SCA8-9	1067.42	3.34	1067.42	3.29	1060.50	0.65	0.65
CON3-0	616.52	3.78	619.69	3.88	616.52	0.00	0.51
CON3-1	554.47	3.93	556.76	3.90	554.47	0.00	0.41
CON3-2	519.11	3.66	520.88	3.49	518.00	0.21	0.56
CON3-3	591.19	3.98	591.19	3.99	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	3.47	589.05	3.46	588.79	0.00	0.05
CON3-5	563.70	3.62	565.54	3.56	563.70	0.00	0.33
CON3-6	500.80	4.39	502.39	4.33	499.05	0.35	0.67
CON3-7	578.22	3.42	578.32	3.28	576.48	0.30	0.32
CON3-8	523.05	3.31	523.44	3.36	523.05	0.00	0.07
CON3-9	578.25	3.72	581.98	3.58	578.24	0.00	0.65
CON8-0	866.43	3.87	870.64	3.77	857.17	1.08	1.57
CON8-1	740.85	3.83	743.63	3.86	740.85	0.00	0.38
CON8-2	713.44	4.60	714.92	4.50	712.89	0.08	0.28
CON8-3	811.07	3.55	814.69	3.75	811.07	0.00	0.45
CON8-4	772.25	3.45	781.84	3.59	772.25	0.00	1.24
CON8-5	758.99	3.64	762.01	3.65	754.88	0.54	0.95
CON8-6	689.23	4.31	693.69	4.37	678.92	1.52	2.18
CON8-7	814.79	3.74	816.43	3.39	811.96	0.35	0.55
CON8-8	778.22	4.16	784.75	4.18	767.53	1.39	2.24
CON8-9	812.60	4.07	815.73	4.12	809.00	0.44	0.83
PROM.	762.19	3.74	764.71	3.72	758.54	0.41	0.73

Tabla C.66: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	3.47	636.06	3.48	635.62	0.07	0.07
SCA3-1	697.84	3.72	697.84	3.73	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	3.58	661.45	3.46	659.34	0.00	0.32
SCA3-3	680.04	3.61	680.04	3.60	680.04	0.00	0.00
SCA3-4	690.50	3.94	690.50	3.79	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	3.83	660.61	3.67	659.90	0.00	0.11
SCA3-6	651.09	3.23	652.48	3.41	651.09	0.00	0.21
SCA3-7	664.88	3.06	665.83	3.08	659.17	0.87	1.01
SCA3-8	719.47	3.46	721.21	3.52	719.47	0.00	0.24
SCA3-9	681.00	2.94	681.17	2.92	681.00	0.00	0.02
SCA8-0	968.79	3.76	984.28	3.95	961.50	0.76	2.37
SCA8-1	1054.87	2.98	1062.53	3.14	1049.65	0.50	1.23
SCA8-2	1046.29	2.90	1049.35	2.88	1039.64	0.64	0.93
SCA8-3	983.34	3.87	1002.51	3.74	983.34	0.00	1.95
SCA8-4	1067.66	3.42	1068.73	3.62	1065.49	0.20	0.30
SCA8-5	1034.74	4.32	1047.76	4.26	1027.08	0.75	2.01
SCA8-6	977.03	4.08	980.36	4.08	971.82	0.54	0.88
SCA8-7	1067.03	3.94	1069.62	3.94	1051.28	1.50	1.74
SCA8-8	1071.18	3.91	1071.18	4.00	1071.18	0.00	0.00
SCA8-9	1067.42	3.74	1067.42	3.16	1060.50	0.65	0.65
CON3-0	617.59	4.10	621.09	3.95	616.52	0.17	0.74
CON3-1	556.04	3.73	557.39	3.71	554.47	0.28	0.53
CON3-2	519.11	3.57	520.90	3.61	518.00	0.21	0.56
CON3-3	591.19	4.10	591.19	3.92	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	3.37	590.24	3.26	588.79	0.00	0.25
CON3-5	564.88	3.67	566.79	3.63	563.70	0.21	0.55
CON3-6	500.80	4.23	502.13	4.21	499.05	0.35	0.62
CON3-7	577.68	3.24	578.89	3.31	576.48	0.21	0.42
CON3-8	523.05	3.28	524.06	3.36	523.05	0.00	0.19
CON3-9	578.98	3.67	584.51	3.64	578.24	0.13	1.08
CON8-0	870.90	3.94	872.29	3.94	857.17	1.60	1.76
CON8-1	740.85	3.78	742.69	3.79	740.85	0.00	0.25
CON8-2	713.44	4.48	714.19	4.52	712.89	0.08	0.18
CON8-3	811.07	3.71	814.57	3.73	811.07	0.00	0.43
CON8-4	776.37	3.64	780.99	3.64	772.25	0.53	1.13
CON8-5	754.95	3.42	759.46	3.54	754.88	0.01	0.61
CON8-6	688.00	4.06	692.85	4.04	678.92	1.34	2.05
CON8-7	814.77	3.31	816.39	3.33	811.96	0.35	0.55
CON8-8	784.28	4.29	787.47	4.24	767.53	2.18	2.60
CON8-9	810.18	4.10	812.71	4.03	809.00	0.15	0.46
PROM.	761.53	3.69	764.54	3.67	758.54	0.36	0.73

Tabla C.67: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	4.31	636.06	4.40	635.62	0.07	0.07
SCA3-1	697.84	4.94	697.84	4.83	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	3.93	660.68	4.21	659.34	0.00	0.20
SCA3-3	680.04	4.29	680.04	4.28	680.04	0.00	0.00
SCA3-4	690.50	4.53	690.50	4.62	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	662.75	4.70	663.32	4.51	659.90	0.43	0.52
SCA3-6	651.09	4.46	652.70	4.35	651.09	0.00	0.25
SCA3-7	666.15	3.86	666.15	3.90	659.17	1.06	1.06
SCA3-8	719.47	4.31	720.67	4.24	719.47	0.00	0.17
SCA3-9	681.00	3.94	682.40	3.77	681.00	0.00	0.21
SCA8-0	961.50	4.64	971.77	4.64	961.50	0.00	1.07
SCA8-1	1053.09	3.91	1060.39	4.07	1049.65	0.33	1.02
SCA8-2	1050.37	3.63	1050.68	3.58	1039.64	1.03	1.06
SCA8-3	983.34	4.44	995.78	4.33	983.34	0.00	1.26
SCA8-4	1065.49	4.44	1066.45	4.43	1065.49	0.00	0.09
SCA8-5	1050.46	5.13	1054.02	5.21	1027.08	2.28	2.62
SCA8-6	977.03	4.83	979.87	4.80	971.82	0.54	0.83
SCA8-7	1067.03	4.85	1069.09	4.92	1051.28	1.50	1.69
SCA8-8	1071.18	5.06	1076.50	4.98	1071.18	0.00	0.50
SCA8-9	1067.42	4.07	1067.42	4.15	1060.50	0.65	0.65
CON3-0	620.29	5.10	623.04	4.83	616.52	0.61	1.06
CON3-1	554.47	4.43	555.55	4.58	554.47	0.00	0.19
CON3-2	521.36	4.25	521.38	4.38	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.19	4.66	591.20	4.84	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	4.10	588.92	4.04	588.79	0.00	0.02
CON3-5	563.70	4.24	565.24	4.43	563.70	0.00	0.27
CON3-6	502.09	4.96	502.14	5.09	499.05	0.61	0.62
CON3-7	576.48	3.97	577.88	4.10	576.48	0.00	0.24
CON3-8	523.05	4.42	523.54	4.20	523.05	0.00	0.09
CON3-9	582.79	4.15	587.04	4.19	578.24	0.79	1.52
CON8-0	858.63	4.76	869.89	4.69	857.17	0.17	1.48
CON8-1	740.85	4.49	743.24	4.68	740.85	0.00	0.32
CON8-2	713.44	5.11	714.94	5.54	712.89	0.08	0.29
CON8-3	811.07	4.73	812.96	4.68	811.07	0.00	0.23
CON8-4	780.48	4.34	783.07	4.24	772.25	1.07	1.40
CON8-5	760.03	4.65	761.37	4.60	754.88	0.68	0.86
CON8-6	685.06	5.33	690.66	5.30	678.92	0.90	1.73
CON8-7	814.79	4.19	814.83	4.14	811.96	0.35	0.35
CON8-8	779.76	5.30	786.02	5.18	767.53	1.59	2.41
CON8-9	812.03	5.07	812.46	5.30	809.00	0.37	0.43
PROM.	761.79	4.51	764.19	4.53	758.54	0.39	0.69

Tabla C.68: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	4.46	636.06	4.29	635.62	0.07	0.07
SCA3-1	697.84	4.64	697.84	4.50	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	4.11	659.79	4.14	659.34	0.00	0.07
SCA3-3	680.04	4.15	680.04	4.05	680.04	0.00	0.00
SCA3-4	690.50	4.36	690.50	4.51	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	662.75	4.31	664.20	4.44	659.90	0.43	0.65
SCA3-6	651.09	4.37	652.48	4.28	651.09	0.00	0.21
SCA3-7	666.15	4.03	666.15	4.01	659.17	1.06	1.06
SCA3-8	719.47	4.25	721.64	4.27	719.47	0.00	0.30
SCA3-9	681.00	3.43	681.00	3.50	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	968.79	4.59	976.77	4.65	961.50	0.76	1.59
SCA8-1	1054.87	3.68	1057.44	3.75	1049.65	0.50	0.74
SCA8-2	1050.17	3.66	1050.74	3.46	1039.64	1.01	1.07
SCA8-3	995.50	4.32	1005.90	4.30	983.34	1.24	2.29
SCA8-4	1065.49	4.68	1065.94	4.54	1065.49	0.00	0.04
SCA8-5	1034.74	4.70	1046.68	4.95	1027.08	0.75	1.91
SCA8-6	972.48	5.19	978.93	4.96	971.82	0.07	0.73
SCA8-7	1067.03	4.88	1069.12	4.97	1051.28	1.50	1.70
SCA8-8	1071.18	4.58	1074.87	4.80	1071.18	0.00	0.34
SCA8-9	1065.60	4.06	1066.97	3.86	1060.50	0.48	0.61
CON3-0	617.59	4.61	620.93	4.73	616.52	0.17	0.72
CON3-1	554.47	4.83	556.34	4.74	554.47	0.00	0.34
CON3-2	519.11	4.44	519.80	4.49	518.00	0.21	0.35
CON3-3	591.19	4.50	591.50	4.64	591.19	0.00	0.05
CON3-4	588.79	4.22	589.72	4.08	588.79	0.00	0.16
CON3-5	563.70	4.42	564.59	4.46	563.70	0.00	0.16
CON3-6	502.09	4.99	503.14	5.03	499.05	0.61	0.82
CON3-7	578.22	3.64	578.36	3.81	576.48	0.30	0.33
CON3-8	523.05	4.14	523.36	4.21	523.05	0.00	0.06
CON3-9	583.32	4.14	587.32	4.21	578.24	0.88	1.57
CON8-0	866.22	4.51	869.91	4.53	857.17	1.06	1.49
CON8-1	740.85	4.94	742.95	4.95	740.85	0.00	0.28
CON8-2	713.44	5.39	713.86	5.38	712.89	0.08	0.14
CON8-3	811.07	4.39	814.40	4.45	811.07	0.00	0.41
CON8-4	784.87	4.34	787.99	4.45	772.25	1.63	2.04
CON8-5	759.93	5.11	760.97	4.84	754.88	0.67	0.81
CON8-6	692.75	5.04	693.80	5.09	678.92	2.04	2.19
CON8-7	814.79	4.02	818.25	4.03	811.96	0.35	0.78
CON8-8	777.60	5.72	786.37	5.29	767.53	1.31	2.45
CON8-9	810.18	5.19	812.96	5.25	809.00	0.15	0.49
PROM.	762.08	4.48	764.49	4.47	758.54	0.43	0.73

Tabla C.69: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	4.20	636.06	4.09	635.62	0.07	0.07
SCA3-1	697.84	4.35	697.84	4.48	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	5.08	661.45	4.36	659.34	0.00	0.32
SCA3-3	680.04	4.13	680.04	4.22	680.04	0.00	0.00
SCA3-4	690.50	4.36	690.50	4.42	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	5.17	662.34	4.50	659.90	0.00	0.37
SCA3-6	652.94	3.91	653.19	4.63	651.09	0.28	0.32
SCA3-7	666.15	3.58	666.42	3.73	659.17	1.06	1.10
SCA3-8	719.47	4.20	719.47	4.14	719.47	0.00	0.00
SCA3-9	681.00	3.48	681.00	3.60	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	971.49	4.68	981.11	4.66	961.50	1.04	2.04
SCA8-1	1054.87	3.90	1062.60	3.70	1049.65	0.50	1.23
SCA8-2	1045.64	3.29	1049.19	3.39	1039.64	0.58	0.92
SCA8-3	991.84	4.74	1000.33	4.52	983.34	0.86	1.73
SCA8-4	1065.49	4.57	1068.28	4.73	1065.49	0.00	0.26
SCA8-5	1034.74	5.04	1047.00	4.95	1027.08	0.75	1.94
SCA8-6	972.48	4.54	976.87	5.70	971.82	0.07	0.52
SCA8-7	1067.03	5.14	1070.41	4.82	1051.28	1.50	1.82
SCA8-8	1071.18	4.76	1073.91	4.82	1071.18	0.00	0.25
SCA8-9	1065.60	3.85	1066.97	3.89	1060.50	0.48	0.61
CON3-0	616.52	4.88	621.37	4.85	616.52	0.00	0.79
CON3-1	554.47	4.50	555.39	4.66	554.47	0.00	0.17
CON3-2	521.38	4.55	521.38	4.52	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.19	4.86	591.20	4.69	591.19	0.00	0.00
CON3-4	588.79	3.92	588.79	3.75	588.79	0.00	0.00
CON3-5	563.70	4.18	564.59	4.40	563.70	0.00	0.16
CON3-6	502.16	5.12	503.04	5.05	499.05	0.62	0.80
CON3-7	578.41	4.26	579.15	4.00	576.48	0.33	0.46
CON3-8	523.14	3.88	523.41	4.09	523.05	0.02	0.07
CON3-9	578.25	4.16	582.77	4.07	578.24	0.00	0.78
CON8-0	865.86	4.61	868.67	4.46	857.17	1.01	1.34
CON8-1	740.93	4.61	741.99	4.55	740.85	0.01	0.15
CON8-2	713.84	5.55	715.41	5.72	712.89	0.13	0.35
CON8-3	815.14	4.30	816.79	4.48	811.07	0.50	0.70
CON8-4	772.32	4.64	779.12	4.33	772.25	0.01	0.89
CON8-5	758.84	4.30	761.73	4.50	754.88	0.52	0.91
CON8-6	695.66	5.07	696.91	5.12	678.92	2.47	2.65
CON8-7	814.79	4.01	814.89	3.90	811.96	0.35	0.36
CON8-8	782.86	4.84	784.71	5.03	767.53	2.00	2.24
CON8-9	810.18	5.19	812.23	5.18	809.00	0.15	0.40
PROM.	761.80	4.46	764.21	4.47	758.54	0.40	0.68

C.4.2. SalhiNagy

Tabla C.70: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	476.70	1.84	477.65	1.93	470.48	1.32	1.53
CMT1Y	477.00	1.80	477.11	1.95	470.48	1.39	1.41
CMT2X	707.56	9.02	708.16	8.98	682.39	3.69	3.78
CMT2Y	704.36	8.15	705.82	8.52	682.39	3.22	3.43
CMT3X	731.61	28.72	733.67	28.33	719.06	1.75	2.03
CMT3Y	728.04	29.10	729.72	28.79	719.06	1.25	1.48
CMT4X	879.38	121.93	884.29	122.60	854.21	2.95	3.52
CMT4Y	891.66	125.77	893.05	122.78	852.46	4.60	4.76
CMT5X	1067.33	354.90	1072.17	357.15	1030.56	3.57	4.04
CMT5Y	1095.90	379.71	1095.99	370.67	1031.69	6.22	6.23
CMT11X	849.07	51.71	863.19	51.98	831.09	2.16	3.86
CMT11Y	893.21	47.78	894.27	46.76	829.85	7.64	7.76
CMT12X	674.82	23.84	675.88	24.30	658.83	2.43	2.59
CMT12Y	680.30	24.77	680.67	24.43	660.47	3.00	3.06
PROM.	775.50	86.36	777.97	85.65	749.50	3.23	3.53

Tabla C.71: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	476.71	1.84	476.92	1.90	470.48	1.32	1.37
CMT1Y	472.37	1.74	473.54	1.81	470.48	0.40	0.65
CMT2X	696.28	8.97	701.77	8.91	682.39	2.04	2.84
CMT2Y	707.08	8.98	708.40	9.02	682.39	3.62	3.81
CMT3X	733.71	26.87	734.40	27.36	719.06	2.04	2.13
CMT3Y	731.81	29.07	733.43	28.59	719.06	1.77	2.00
CMT4X	879.06	118.74	882.26	121.38	854.21	2.91	3.28
CMT4Y	886.46	121.27	888.43	121.99	852.46	3.99	4.22
CMT5X	1097.03	371.51	1099.79	360.80	1030.56	6.45	6.72
CMT5Y	1078.60	344.92	1079.73	354.44	1031.69	4.55	4.66
CMT11X	859.99	54.65	880.09	54.96	831.09	3.48	5.90
CMT11Y	896.28	46.71	903.67	47.96	829.85	8.01	8.90
CMT12X	677.28	25.64	677.32	23.54	658.83	2.80	2.81
CMT12Y	678.07	22.76	678.63	22.86	660.47	2.66	2.75
PROM.	776.48	84.55	779.88	84.68	749.50	3.29	3.72

Tabla C.72: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 3.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	477.20	1.85	479.00	1.82	470.48	1.43	1.81
CMT1Y	471.25	2.02	474.71	1.97	470.48	0.16	0.90
CMT2X	689.46	8.86	695.48	8.94	682.39	1.04	1.92
CMT2Y	701.54	8.73	704.24	8.89	682.39	2.81	3.20
CMT3X	736.81	27.36	737.33	26.68	719.06	2.47	2.54
CMT3Y	728.81	28.37	731.99	29.32	719.06	1.36	1.80
CMT4X	884.71	115.10	889.33	115.58	854.21	3.57	4.11
CMT4Y	888.67	119.54	892.54	119.23	852.46	4.25	4.70
CMT5X	1089.32	345.02	1091.24	352.59	1030.56	5.70	5.89
CMT5Y	1082.96	355.85	1089.63	358.55	1031.69	4.97	5.62
CMT11X	864.72	53.23	871.75	52.06	831.09	4.05	4.89
CMT11Y	888.34	44.67	891.84	47.52	829.85	7.05	7.47
CMT12X	677.81	22.46	677.94	22.03	658.83	2.88	2.90
CMT12Y	674.03	20.52	679.54	20.84	660.47	2.05	2.89
PROM.	775.40	82.40	779.04	83.29	749.50	3.13	3.62

Tabla C.73: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	474.91	2.60	478.94	2.52	470.48	0.94	1.80
CMT1Y	474.72	2.56	476.78	2.60	470.48	0.90	1.34
CMT2X	698.66	11.86	702.43	12.04	682.39	2.38	2.94
CMT2Y	698.20	11.69	702.35	11.85	682.39	2.32	2.93
CMT3X	733.61	35.87	734.20	35.70	719.06	2.02	2.11
CMT3Y	732.39	38.05	733.18	39.04	719.06	1.85	1.96
CMT4X	876.09	158.14	886.90	160.46	854.21	2.56	3.83
CMT4Y	893.40	162.86	894.73	162.59	852.46	4.80	4.96
CMT5X	1076.36	463.69	1081.05	494.47	1030.56	4.44	4.90
CMT5Y	1081.99	499.68	1088.77	496.27	1031.69	4.88	5.53
CMT11X	842.10	70.23	867.16	69.14	831.09	1.32	4.34
CMT11Y	862.98	68.71	879.25	69.78	829.85	3.99	5.95
CMT12X	674.79	30.61	675.29	30.77	658.83	2.42	2.50
CMT12Y	678.10	30.16	679.05	30.00	660.47	2.67	2.81
PROM.	771.31	113.34	777.15	115.52	749.50	2.68	3.42

Tabla C.74: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	472.37	2.52	476.04	2.63	470.48	0.40	1.18
CMT1Y	474.41	2.51	477.21	2.50	470.48	0.84	1.43
CMT2X	691.69	11.74	698.67	12.03	682.39	1.36	2.39
CMT2Y	701.44	10.91	701.90	11.38	682.39	2.79	2.86
CMT3X	729.13	35.54	733.76	36.40	719.06	1.40	2.04
CMT3Y	728.91	42.67	731.51	40.35	719.06	1.37	1.73
CMT4X	886.04	164.93	886.47	161.44	854.21	3.73	3.78
CMT4Y	889.66	161.03	889.74	170.28	852.46	4.36	4.37
CMT5X	1080.32	474.04	1085.86	474.11	1030.56	4.83	5.37
CMT5Y	1078.95	475.12	1084.78	479.30	1031.69	4.58	5.15
CMT11X	855.77	67.37	870.47	70.45	831.09	2.97	4.74
CMT11Y	853.00	60.41	854.34	59.88	829.85	2.79	2.95
CMT12X	675.00	30.70	676.03	29.64	658.83	2.45	2.61
CMT12Y	672.60	27.45	676.11	28.50	660.47	1.84	2.37
PROM.	770.66	111.92	774.49	112.78	749.50	2.55	3.07

Tabla C.75: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 4.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	472.87	2.48	474.89	2.52	470.48	0.51	0.94
CMT1Y	472.01	2.43	474.69	2.51	470.48	0.33	0.90
CMT2X	706.66	11.95	708.45	11.88	682.39	3.56	3.82
CMT2Y	695.12	11.26	701.43	11.40	682.39	1.87	2.79
CMT3X	732.71	35.86	734.28	35.48	719.06	1.90	2.12
CMT3Y	734.62	36.93	734.69	37.60	719.06	2.16	2.17
CMT4X	882.04	154.90	887.68	155.34	854.21	3.26	3.92
CMT4Y	880.37	155.88	887.30	156.56	852.46	3.27	4.09
CMT5X	1090.07	496.77	1090.93	482.64	1030.56	5.77	5.86
CMT5Y	1072.19	469.75	1078.80	470.04	1031.69	3.93	4.57
CMT11X	859.99	76.33	863.21	72.75	831.09	3.48	3.86
CMT11Y	853.57	67.32	869.67	63.69	829.85	2.86	4.80
CMT12X	675.72	31.70	676.74	31.72	658.83	2.56	2.72
CMT12Y	668.42	27.88	673.22	28.41	660.47	1.20	1.93
PROM.	771.17	112.96	775.43	111.61	749.50	2.62	3.18

Tabla C.76: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	474.41	3.49	476.51	3.50	470.48	0.84	1.28
CMT1Y	475.22	3.20	475.40	3.16	470.48	1.01	1.05
CMT2X	696.29	15.01	699.96	14.68	682.39	2.04	2.57
CMT2Y	700.56	14.88	703.67	14.53	682.39	2.66	3.12
CMT3X	724.14	44.89	726.48	45.26	719.06	0.71	1.03
CMT3Y	721.81	47.45	724.25	47.20	719.06	0.38	0.72
CMT4X	883.57	203.36	886.51	204.58	854.21	3.44	3.78
CMT4Y	882.16	197.48	886.42	199.82	852.46	3.48	3.98
CMT5X	1083.56	603.75	1086.90	614.36	1030.56	5.14	5.47
CMT5Y	1081.01	600.45	1087.33	588.44	1031.69	4.78	5.39
CMT11X	882.60	89.41	882.66	92.17	831.09	6.20	6.21
CMT11Y	838.84	75.93	855.70	77.39	829.85	1.08	3.11
CMT12X	669.35	40.06	671.24	39.80	658.83	1.60	1.88
CMT12Y	662.46	36.05	668.60	37.15	660.47	0.30	1.23
PROM.	769.71	141.10	773.69	141.57	749.50	2.40	2.92

Tabla C.77: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.67	3.19	474.61	3.15	470.48	0.04	0.88
CMT1Y	475.37	3.20	476.64	3.04	470.48	1.04	1.31
CMT2X	697.30	14.31	701.66	14.39	682.39	2.18	2.82
CMT2Y	694.79	14.39	697.64	14.38	682.39	1.82	2.24
CMT3X	726.85	47.55	727.23	46.10	719.06	1.08	1.14
CMT3Y	732.70	46.26	733.92	47.01	719.06	1.90	2.07
CMT4X	884.79	195.24	885.15	195.69	854.21	3.58	3.62
CMT4Y	878.35	205.48	885.23	201.16	852.46	3.04	3.84
CMT5X	1076.69	574.24	1080.76	582.87	1030.56	4.48	4.87
CMT5Y	1081.86	618.64	1087.61	618.00	1031.69	4.86	5.42
CMT11X	852.51	95.24	865.27	90.78	831.09	2.58	4.11
CMT11Y	847.88	77.54	847.96	76.77	829.85	2.17	2.18
CMT12X	674.88	38.02	677.86	38.45	658.83	2.44	2.89
CMT12Y	674.33	35.29	677.83	36.09	660.47	2.10	2.63
PROM.	769.21	140.61	772.81	140.56	749.50	2.38	2.86

Tabla C.78: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 5.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	472.87	3.46	475.30	3.32	470.48	0.51	1.02
CMT1Y	471.09	3.15	473.25	3.25	470.48	0.13	0.59
CMT2X	700.26	15.92	702.00	15.52	682.39	2.62	2.87
CMT2Y	696.51	14.78	698.41	14.43	682.39	2.07	2.35
CMT3X	726.47	45.78	729.82	45.08	719.06	1.03	1.50
CMT3Y	731.62	45.49	733.32	47.52	719.06	1.75	1.98
CMT4X	873.05	201.00	880.00	196.01	854.21	2.21	3.02
CMT4Y	880.95	201.32	885.86	203.00	852.46	3.34	3.92
CMT5X	1088.15	603.70	1090.07	620.89	1030.56	5.59	5.77
CMT5Y	1086.61	587.27	1089.18	583.59	1031.69	5.32	5.57
CMT11X	877.52	93.34	877.58	92.02	831.09	5.59	5.59
CMT11Y	849.74	80.47	869.46	81.64	829.85	2.40	4.77
CMT12X	674.29	38.61	675.30	37.77	658.83	2.35	2.50
CMT12Y	672.55	38.69	678.02	36.80	660.47	1.83	2.66
PROM.	771.55	140.93	775.54	141.49	749.50	2.62	3.15

Tabla C.79: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q 0.1 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	472.37	3.91	474.38	3.73	470.48	0.40	0.83
CMT1Y	472.87	3.79	474.79	3.89	470.48	0.51	0.92
CMT2X	707.59	17.75	707.94	18.12	682.39	3.69	3.74
CMT2Y	692.84	17.46	695.51	17.46	682.39	1.53	1.92
CMT3X	731.48	68.94	731.48	65.67	719.06	1.73	1.73
CMT3Y	725.12	56.05	728.42	55.62	719.06	0.84	1.30
CMT4X	890.27	237.22	891.14	240.45	854.21	4.22	4.32
CMT4Y	883.64	236.18	888.63	258.64	852.46	3.66	4.24
CMT5X	1077.77	711.55	1085.11	714.21	1030.56	4.58	5.29
CMT5Y	1085.11	711.55	1087.93	357.28	1031.69	5.18	5.45
CMT11X	851.62	104.75	855.48	107.10	831.09	2.47	2.93
CMT11Y	842.27	94.41	844.58	97.94	829.85	1.50	1.78
CMT12X	673.32	45.98	673.50	45.17	658.83	2.20	2.23
CMT12Y	671.73	47.80	673.52	47.37	660.47	1.70	1.98
PROM.	769.86	168.38	772.32	145.19	749.50	2.44	2.76

Tabla C.80: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .3 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	474.72	4.03	477.20	3.91	470.48	0.90	1.43
CMT1Y	474.41	3.50	474.56	3.63	470.48	0.84	0.87
CMT2X	701.00	17.42	701.53	17.57	682.39	2.73	2.80
CMT2Y	699.88	17.50	701.62	17.32	682.39	2.56	2.82
CMT3X	732.74	55.14	732.92	55.13	719.06	1.90	1.93
CMT3Y	727.10	60.45	729.36	57.66	719.06	1.12	1.43
CMT4X	883.00	233.07	889.30	233.16	854.21	3.37	4.11
CMT4Y	884.90	243.10	888.06	242.22	852.46	3.81	4.18
CMT5X	1088.88	716.46	1090.60	695.30	1030.56	5.66	5.83
CMT5Y	1084.99	706.68	1088.22	707.80	1031.69	5.17	5.48
CMT11X	863.81	104.32	871.64	102.93	831.09	3.94	4.88
CMT11Y	861.68	100.27	872.79	95.83	829.85	3.84	5.18
CMT12X	676.05	44.71	676.06	45.96	658.83	2.61	2.62
CMT12Y	670.27	42.27	673.05	44.69	660.47	1.48	1.91
PROM.	773.10	167.78	776.21	165.94	749.50	2.85	3.25

Tabla C.81: Resultados de la ejecución de la metaheurística AS-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 6.0 -alpha 1.0 -beta 3.0 -q .4 -ro 0.015

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	476.38	3.78	476.75	3.79	470.48	1.25	1.33
CMT1Y	472.87	3.70	473.80	3.71	470.48	0.51	0.70
CMT2X	701.09	18.37	701.25	18.31	682.39	2.74	2.76
CMT2Y	704.13	17.56	704.86	17.43	682.39	3.19	3.29
CMT3X	729.80	55.76	730.01	56.73	719.06	1.49	1.52
CMT3Y	728.03	54.68	728.79	55.38	719.06	1.25	1.35
CMT4X	888.83	241.75	891.51	242.74	854.21	4.05	4.37
CMT4Y	875.18	243.20	881.96	242.04	852.46	2.67	3.46
CMT5X	1076.30	729.69	1084.36	722.86	1030.56	4.44	5.22
CMT5Y	1081.46	716.50	1083.43	760.62	1031.69	4.82	5.02
CMT11X	865.40	104.85	875.25	103.21	831.09	4.13	5.31
CMT11Y	863.12	92.05	873.37	92.59	829.85	4.01	5.24
CMT12X	677.01	48.09	678.55	46.95	658.83	2.76	2.99
CMT12Y	669.13	44.57	669.33	44.81	660.47	1.31	1.34
PROM.	772.05	169.61	775.23	172.23	749.50	2.76	3.14

C.5. PSO-M

C.5.1. SalhiNagy

Tabla C.82: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 10.0 -L 10.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	475.35	0.55	478.83	0.55	470.48	1.04	1.77
CMT1Y	474.70	0.84	475.73	0.83	470.48	0.90	1.11
CMT2X	722.41	0.51	728.73	0.85	682.39	5.86	6.79
CMT2Y	719.83	1.06	720.38	1.23	682.39	5.49	5.57
CMT3X	738.73	6.16	738.86	6.78	719.06	2.74	2.75
CMT3Y	743.96	8.98	757.29	8.11	719.06	3.46	5.32
CMT4X	908.59	10.83	909.48	13.15	854.21	6.37	6.47
CMT4Y	900.50	10.93	906.30	12.97	852.46	5.64	6.32
CMT5X	1092.93	32.14	1138.10	38.85	1030.56	6.05	10.44
CMT5Y	1158.65	13.44	1160.84	14.86	1031.69	12.31	12.52
CMT11X	943.91	1.82	981.16	1.49	831.09	13.57	18.06
CMT11Y	932.84	2.06	1006.66	1.54	829.85	12.41	21.31
CMT12X	732.20	0.92	746.05	0.76	658.83	11.14	13.24
CMT12Y	798.11	0.57	798.11	0.55	660.47	20.84	20.84
PROM.	810.19	6.49	824.75	7.32	749.50	7.70	9.46

Tabla C.83: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 10.0 -L 30.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -wl 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	474.41	1.80	476.42	1.89	470.48	0.84	1.26
CMT1Y	477.21	1.98	482.05	2.18	470.48	1.43	2.46
CMT2X	706.14	3.98	734.48	3.13	682.39	3.48	7.63
CMT2Y	694.50	2.42	707.60	2.58	682.39	1.77	3.69
CMT3X	733.20	25.64	737.93	25.25	719.06	1.97	2.62
CMT3Y	728.71	26.41	736.84	26.38	719.06	1.34	2.47
CMT4X	935.39	27.35	951.11	31.12	854.21	9.50	11.34
CMT4Y	955.59	27.20	958.10	39.60	852.46	12.10	12.39
CMT5X	1130.51	43.06	1140.12	36.24	1030.56	9.70	10.63
CMT5Y	1168.08	19.64	1180.84	32.60	1031.69	13.22	14.46
CMT11X	910.23	4.01	940.16	5.29	831.09	9.52	13.12
CMT11Y	916.08	4.31	920.65	5.57	829.85	10.39	10.94
CMT12X	775.11	1.99	782.45	2.64	658.83	17.65	18.76
CMT12Y	773.76	1.92	831.21	2.56	660.47	17.15	25.85
PROM.	812.78	13.69	827.14	15.50	749.50	7.86	9.83

Tabla C.84: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 10.0 -L 50.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -wl 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.67	3.31	470.96	3.21	470.48	0.04	0.10
CMT1Y	476.51	3.80	478.17	3.60	470.48	1.28	1.63
CMT2X	709.90	4.63	751.30	5.25	682.39	4.03	10.10
CMT2Y	707.96	5.06	749.18	4.53	682.39	3.75	9.79
CMT3X	744.85	41.54	748.92	40.95	719.06	3.59	4.15
CMT3Y	735.62	46.49	736.10	42.53	719.06	2.30	2.37
CMT4X	894.65	56.73	914.04	62.83	854.21	4.73	7.00
CMT4Y	903.49	69.63	931.51	75.05	852.46	5.99	9.27
CMT5X	1095.96	69.39	1118.35	69.39	1030.56	6.35	8.52
CMT5Y	1138.83	80.81	1142.50	78.66	1031.69	10.38	10.74
CMT11X	914.63	12.26	931.06	13.52	831.09	10.05	12.03
CMT11Y	908.78	13.28	914.17	11.28	829.85	9.51	10.16
CMT12X	701.26	3.60	737.68	3.48	658.83	6.44	11.97
CMT12Y	769.18	3.36	794.11	3.29	660.47	16.46	20.23
PROM.	798.02	29.56	815.58	29.83	749.50	6.06	8.43

Tabla C.85: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 10.0 -L 70.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -wl 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.67	5.39	472.05	5.34	470.48	0.04	0.33
CMT1Y	472.37	5.50	472.62	5.70	470.48	0.40	0.45
CMT2X	709.80	6.60	710.29	6.55	682.39	4.02	4.09
CMT2Y	721.62	5.44	747.51	6.20	682.39	5.75	9.54
CMT3X	730.41	63.17	732.65	60.74	719.06	1.58	1.89
CMT3Y	735.06	59.16	739.25	59.55	719.06	2.23	2.81
CMT4X	884.08	84.86	905.39	77.67	854.21	3.50	5.99
CMT4Y	888.72	92.65	896.08	92.65	852.46	4.25	5.12
CMT5X	1123.18	69.03	1124.80	53.33	1030.56	8.99	9.14
CMT5Y	1153.22	89.56	1155.42	81.66	1031.69	11.78	11.99
CMT11X	918.67	11.93	923.12	17.33	831.09	10.54	11.07
CMT11Y	913.68	16.32	967.60	13.67	829.85	10.10	16.60
CMT12X	784.39	4.40	792.32	4.41	658.83	19.06	20.26
CMT12Y	816.05	4.71	835.10	5.95	660.47	23.56	26.44
PROM.	808.71	37.05	819.59	35.05	749.50	7.56	8.98

Tabla C.86: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 10.0 -L 90.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -wl 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.48	6.22	479.21	6.51	470.48	0.00	1.86
CMT1Y	472.37	6.30	484.45	6.55	470.48	0.40	2.97
CMT2X	715.54	8.80	729.17	8.81	682.39	4.86	6.86
CMT2Y	726.07	10.33	734.93	8.86	682.39	6.40	7.70
CMT3X	723.86	76.96	726.55	76.88	719.06	0.67	1.04
CMT3Y	733.71	74.21	742.61	77.59	719.06	2.04	3.28
CMT4X	904.10	103.19	917.59	94.97	854.21	5.84	7.42
CMT4Y	898.59	93.94	937.05	97.83	852.46	5.41	9.92
CMT5X	1158.73	69.98	1164.42	109.78	1030.56	12.44	12.99
CMT5Y	1147.76	111.20	1153.11	96.53	1031.69	11.25	11.77
CMT11X	907.53	14.79	911.03	14.99	831.09	9.20	9.62
CMT11Y	903.36	15.34	920.98	19.52	829.85	8.86	10.98
CMT12X	711.75	6.24	730.71	6.32	658.83	8.03	10.91
CMT12Y	854.42	8.96	888.57	7.82	660.47	29.37	34.54
PROM.	809.16	43.32	822.88	45.21	749.50	7.48	9.42

Tabla C.87: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 30.0 -L 10.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	472.87	1.82	475.80	1.86	470.48	0.51	1.13
CMT1Y	495.40	1.31	513.36	1.93	470.48	5.30	9.11
CMT2X	719.51	1.84	728.50	3.12	682.39	5.44	6.76
CMT2Y	773.70	3.80	787.73	3.23	682.39	13.38	15.44
CMT3X	737.86	23.18	743.43	26.66	719.06	2.61	3.39
CMT3Y	731.93	30.18	744.86	26.04	719.06	1.79	3.59
CMT4X	917.13	28.78	934.46	29.30	854.21	7.37	9.39
CMT4Y	908.64	20.27	932.59	16.29	852.46	6.59	9.40
CMT5X	1165.70	160.05	1168.04	87.94	1030.56	13.11	13.34
CMT5Y	1131.63	15.73	1159.22	38.98	1031.69	9.69	12.36
CMT11X	931.33	5.15	941.22	4.49	831.09	12.06	13.25
CMT11Y	898.85	7.12	899.40	8.98	829.85	8.31	8.38
CMT12X	722.55	2.16	751.77	2.17	658.83	9.67	14.11
CMT12Y	798.30	1.41	799.28	1.40	660.47	20.87	21.02
PROM.	814.67	21.63	827.12	18.03	749.50	8.34	10.05

Tabla C.88: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 30.0 -L 30.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	472.37	4.96	472.37	5.83	470.48	0.40	0.40
CMT1Y	471.25	5.93	475.52	5.58	470.48	0.16	1.07
CMT2X	701.79	10.36	737.60	10.65	682.39	2.84	8.09
CMT2Y	741.54	12.35	757.29	11.29	682.39	8.67	10.98
CMT3X	725.16	65.53	731.46	66.11	719.06	0.85	1.72
CMT3Y	722.97	62.61	746.34	69.03	719.06	0.54	3.79
CMT4X	914.28	85.78	937.26	80.34	854.21	7.03	9.72
CMT4Y	871.22	66.15	885.53	107.36	852.46	2.20	3.88
CMT5X	1111.68	46.21	1122.70	131.13	1030.56	7.87	8.94
CMT5Y	1159.74	248.55	1175.49	247.18	1031.69	12.41	13.94
CMT11X	901.31	19.30	925.38	14.54	831.09	8.45	11.35
CMT11Y	901.51	15.44	903.36	23.37	829.85	8.64	8.86
CMT12X	705.34	4.92	755.54	5.99	658.83	7.06	14.68
CMT12Y	683.58	4.31	741.89	4.36	660.47	3.50	12.33
PROM.	791.70	46.60	811.98	55.91	749.50	5.04	7.84

Tabla C.89: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 30.0 -L 50.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -wl 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	472.87	8.87	473.89	9.49	470.48	0.51	0.72
CMT1Y	470.48	9.64	470.87	10.31	470.48	0.00	0.08
CMT2X	711.98	18.66	723.34	16.23	682.39	4.34	6.00
CMT2Y	699.23	18.49	702.34	17.45	682.39	2.47	2.92
CMT3X	732.75	117.75	741.67	114.59	719.06	1.90	3.14
CMT3Y	731.01	113.47	733.44	115.78	719.06	1.66	2.00
CMT4X	884.04	228.28	888.49	195.35	854.21	3.49	4.01
CMT4Y	892.82	174.11	898.60	167.23	852.46	4.73	5.41
CMT5X	1190.01	223.55	1202.96	209.81	1030.56	15.47	16.73
CMT5Y	1113.32	469.13	1130.37	284.38	1031.69	7.91	9.56
CMT11X	915.19	49.25	918.00	47.55	831.09	10.12	10.46
CMT11Y	897.07	33.22	909.38	36.27	829.85	8.10	9.58
CMT12X	738.91	7.41	742.55	7.32	658.83	12.15	12.71
CMT12Y	733.79	7.64	772.86	10.35	660.47	11.10	17.02
PROM.	798.82	105.68	807.77	88.72	749.50	6.00	7.17

Tabla C.90: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 30.0 -L 70.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -wl 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.67	14.91	471.52	15.95	470.48	0.04	0.22
CMT1Y	470.67	11.86	482.54	12.18	470.48	0.04	2.56
CMT2X	699.28	22.03	715.43	19.05	682.39	2.48	4.84
CMT2Y	699.09	16.63	725.11	21.24	682.39	2.45	6.26
CMT3X	730.30	160.07	731.71	161.41	719.06	1.56	1.76
CMT3Y	725.30	159.14	729.00	168.12	719.06	0.87	1.38
CMT4X	892.29	216.43	903.11	205.19	854.21	4.46	5.72
CMT4Y	887.34	209.72	908.81	232.06	852.46	4.09	6.61
CMT5X	1135.42	342.10	1166.31	338.54	1030.56	10.18	13.17
CMT5Y	1103.07	162.21	1130.86	195.93	1031.69	6.92	9.61
CMT11X	883.11	112.29	884.25	78.28	831.09	6.26	6.40
CMT11Y	892.43	44.67	896.29	59.37	829.85	7.54	8.01
CMT12X	701.22	11.26	753.39	10.94	658.83	6.43	14.35
CMT12Y	694.27	10.96	759.38	11.74	660.47	5.12	14.98
PROM.	784.60	106.73	804.12	109.28	749.50	4.17	6.85

Tabla C.91: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 30.0 -L 90.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -wl 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	472.37	19.09	489.41	17.64	470.48	0.40	4.02
CMT1Y	471.25	17.19	471.81	17.86	470.48	0.16	0.28
CMT2X	703.80	24.19	707.75	22.39	682.39	3.14	3.72
CMT2Y	706.85	20.71	745.30	23.94	682.39	3.58	9.22
CMT3X	725.93	205.58	726.74	209.85	719.06	0.96	1.07
CMT3Y	731.17	194.34	734.29	200.57	719.06	1.68	2.12
CMT4X	930.31	277.54	941.03	338.06	854.21	8.91	10.16
CMT4Y	884.77	263.89	922.38	301.71	852.46	3.79	8.20
CMT5X	1134.02	413.46	1148.45	340.15	1030.56	10.04	11.44
CMT5Y	1093.02	476.60	1101.95	435.88	1031.69	5.94	6.81
CMT11X	892.48	83.22	910.72	91.33	831.09	7.39	9.58
CMT11Y	910.24	92.67	912.60	74.20	829.85	9.69	9.97
CMT12X	676.18	15.97	769.18	15.03	658.83	2.63	16.75
CMT12Y	725.35	15.14	794.06	15.09	660.47	9.82	20.23
PROM.	789.84	151.40	812.55	150.26	749.50	4.87	8.11

Tabla C.92: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 50.0 -L 10.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -wl 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	471.25	3.84	471.81	4.24	470.48	0.16	0.28
CMT1Y	476.53	3.81	482.31	3.48	470.48	1.29	2.51
CMT2X	704.31	6.51	719.52	4.74	682.39	3.21	5.44
CMT2Y	717.09	6.59	717.41	4.12	682.39	5.09	5.13
CMT3X	735.43	35.01	740.28	34.91	719.06	2.28	2.95
CMT3Y	733.04	42.21	744.48	41.38	719.06	1.94	3.54
CMT4X	955.07	84.12	1035.63	95.45	854.21	11.81	21.24
CMT4Y	887.68	16.17	907.20	55.52	852.46	4.13	6.42
CMT5X	1146.53	22.53	1148.85	50.94	1030.56	11.25	11.48
CMT5Y	1208.80	12.85	1217.37	127.27	1031.69	17.17	18.00
CMT11X	907.94	5.53	916.14	16.17	831.09	9.25	10.23
CMT11Y	894.19	10.12	909.83	10.61	829.85	7.75	9.64
CMT12X	737.78	2.49	759.64	2.90	658.83	11.98	15.30
CMT12Y	675.61	3.92	701.05	4.59	660.47	2.29	6.14
PROM.	803.66	18.26	819.39	32.59	749.50	6.40	8.45

Tabla C.93: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 50.0 -L 30.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	472.37	9.00	472.37	9.34	470.48	0.40	0.40
CMT1Y	472.37	7.91	474.39	8.60	470.48	0.40	0.83
CMT2X	705.76	8.17	706.54	10.19	682.39	3.42	3.54
CMT2Y	697.44	17.94	763.76	19.52	682.39	2.21	11.92
CMT3X	752.79	101.67	762.11	94.98	719.06	4.69	5.99
CMT3Y	723.67	108.12	730.59	115.36	719.06	0.64	1.60
CMT4X	882.12	175.82	908.82	158.59	854.21	3.27	6.39
CMT4Y	903.63	188.86	939.82	215.71	852.46	6.00	10.25
CMT5X	1147.12	524.72	1154.86	437.89	1030.56	11.31	12.06
CMT5Y	1132.69	69.30	1177.20	125.66	1031.69	9.79	14.10
CMT11X	885.38	74.00	942.62	56.35	831.09	6.53	13.42
CMT11Y	903.44	36.59	905.38	40.98	829.85	8.87	9.10
CMT12X	750.03	6.97	810.80	7.13	658.83	13.84	23.07
CMT12Y	683.58	7.69	728.83	7.12	660.47	3.50	10.35
PROM.	793.74	95.48	819.86	93.39	749.50	5.35	8.79

Tabla C.94: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 50.0 -L 50.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.67	13.02	472.79	14.22	470.48	0.04	0.49
CMT1Y	470.67	15.64	474.30	14.98	470.48	0.04	0.81
CMT2X	701.09	26.70	715.48	22.65	682.39	2.74	4.85
CMT2Y	700.57	35.45	743.18	34.73	682.39	2.66	8.91
CMT3X	723.67	169.42	749.00	173.84	719.06	0.64	4.16
CMT3Y	725.72	184.05	729.92	215.19	719.06	0.93	1.51
CMT4X	889.19	330.33	894.43	327.23	854.21	4.10	4.71
CMT4Y	884.99	329.40	918.78	335.67	852.46	3.82	7.78
CMT5X	1209.12	212.25	1211.50	653.50	1030.56	17.33	17.56
CMT5Y	1105.97	399.16	1138.25	420.59	1031.69	7.20	10.33
CMT11X	888.31	52.25	937.61	61.49	831.09	6.88	12.82
CMT11Y	912.89	99.40	957.08	98.62	829.85	10.01	15.33
CMT12X	789.52	11.95	837.99	12.06	658.83	19.84	27.19
CMT12Y	703.08	14.82	721.81	17.68	660.47	6.45	9.29
PROM.	798.25	135.27	821.58	171.60	749.50	5.90	8.98

Tabla C.95: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 50.0 -L 70.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	471.25	22.10	471.25	21.90	470.48	0.16	0.16
CMT1Y	470.48	21.01	470.87	22.02	470.48	0.00	0.08
CMT2X	705.28	38.62	721.83	36.45	682.39	3.35	5.78
CMT2Y	702.94	22.65	707.25	27.29	682.39	3.01	3.64
CMT3X	747.16	274.61	752.57	269.39	719.06	3.91	4.66
CMT3Y	725.57	223.59	726.18	230.81	719.06	0.91	0.99
CMT4X	914.03	388.71	945.83	425.42	854.21	7.00	10.73
CMT4Y	925.07	328.78	929.32	387.35	852.46	8.52	9.02
CMT5X	1127.06	469.50	1148.85	445.80	1030.56	9.36	11.48
CMT5Y	1155.25	500.64	1187.38	592.57	1031.69	11.98	15.09
CMT11X	893.06	101.30	940.77	50.65	831.09	7.46	13.20
CMT11Y	889.74	87.47	896.95	93.68	829.85	7.22	8.09
CMT12X	705.55	18.66	727.97	19.20	658.83	7.09	10.49
CMT12Y	708.37	18.82	748.34	18.71	660.47	7.25	13.30
PROM.	795.77	179.75	812.52	188.66	749.50	5.52	7.62

Tabla C.96: Resultados de la ejecución de la metaheurística PSO-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 50.0 -L 90.0 -cp 1 -cg 0 -cl 1 -cn 2 -w1 0.9 -wt 0.1 -K 5

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	470.67	26.67	470.88	30.02	470.48	0.04	0.09
CMT1Y	470.48	29.14	470.57	29.32	470.48	0.00	0.02
CMT2X	703.231224	34.11	721.18	34.11	682.39	3.05	5.68
CMT2Y	692.15	35.81	727.80	44.34	682.39	1.43	6.65
CMT3X	723.52	392.04	763.20	358.35	719.06	0.62	6.14
CMT3Y	725.90	329.92	727.47	327.12	719.06	0.95	1.17
CMT4X	878.88	561.14	901.75	503.18	854.21	2.89	5.56
CMT4Y	896.19	552.75	898.96	579.33	852.46	5.13	5.45
CMT5X	1135.60	886.99	1136.95	828.08	1030.56	10.19	10.32
CMT5Y	1122.67	591.57	1145.68	799.82	1031.69	8.82	11.05
CMT11X	903.66	177.27	959.13	169.28	831.09	8.73	15.41
CMT11Y	882.72	156.44	888.63	176.46	829.85	6.37	7.08
CMT12X	802.01	37.15	856.42	30.32	658.83	21.73	29.99
CMT12Y	751.72	23.86	755.09	24.62	660.47	13.82	14.33
PROM.	797.10	273.92	815.98	281.02	749.50	5.98	8.50

C.6. GA-M

C.6.1. Dethloff

Tabla C.97: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100 -p 300 -cprob 40 -mprob 70

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	T. prom(seg.)	Por	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	5.52	640.40	5.70	13.33 %	635.62	0.07	0.75
SCA3-1	697.84	5.64	697.84	5.44	30 %	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	659.34	5.71	660.48	5.11	66.66 %	659.34	0.00	0.17
SCA3-3	680.04	4.79	680.59	5.31	86.66 %	680.04	0.00	0.08
SCA3-4	690.50	5.47	690.50	5.34	10 %	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	661.07	5.12	662.96	5.36	90 %	659.90	0.18	0.46
SCA3-6	652.94	4.70	652.94	5.24	16.66 %	651.09	0.28	0.28
SCA3-7	666.15	5.02	666.15	5.38	0 %	659.17	1.06	1.06
SCA3-8	719.47	5.07	720.24	5.43	86.66 %	719.47	0.00	0.11
SCA3-9	681.00	5.69	681.00	5.48	3.33 %	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	970.64	5.71	975.20	5.22	100 %	961.50	0.95	1.43
SCA8-1	1061.29	6.57	1061.77	5.50	100 %	1049.65	1.11	1.15
SCA8-2	1050.37	4.41	1050.37	5.48	40 %	1039.64	1.03	1.03
SCA8-3	995.60	6.15	999.51	5.50	100 %	983.34	1.25	1.64
SCA8-4	1068.97	4.84	1071.81	5.13	93.33 %	1065.49	0.33	0.59
SCA8-5	1036.88	4.29	1042.12	5.32	100 %	1027.08	0.95	1.46
SCA8-6	976.37	6.60	977.26	5.70	96.66 %	971.82	0.47	0.56
SCA8-7	1067.49	5.30	1069.31	5.05	100 %	1051.28	1.54	1.72
SCA8-8	1071.18	5.24	1079.20	5.28	100 %	1071.18	0.00	0.75
SCA8-9	1067.42	5.06	1070.22	5.08	96.66 %	1060.50	0.65	0.92
CON3-0	617.59	6.58	620.44	5.74	93.33 %	616.52	0.17	0.64
CON3-1	556.04	5.47	557.31	5.72	86.66 %	554.47	0.28	0.51
CON3-2	519.26	5.53	520.96	6.15	23.33 %	518.00	0.24	0.57
CON3-3	591.19	6.25	591.89	5.60	93.33 %	591.19	0.00	0.12
CON3-4	589.32	5.29	591.49	5.52	80 %	588.79	0.09	0.46
CON3-5	563.70	4.91	564.46	5.83	90 %	563.70	0.00	0.14
CON3-6	502.16	5.61	503.32	5.94	86.66 %	499.05	0.62	0.86
CON3-7	576.48	5.17	578.43	5.45	96.66 %	576.48	0.00	0.34
CON3-8	523.05	6.59	525.13	5.79	83.33 %	523.05	0.00	0.40
CON3-9	581.06	6.20	583.41	5.92	83.33 %	578.24	0.49	0.89
CON8-0	860.48	5.06	865.41	5.67	93.33 %	857.17	0.39	0.96
CON8-1	741.70	6.46	750.95	5.61	90 %	740.85	0.11	1.36
CON8-2	716.22	4.97	716.70	5.86	100 %	712.89	0.47	0.53
CON8-3	814.50	5.35	816.32	5.79	100 %	811.07	0.42	0.65
CON8-4	772.76	5.75	778.10	5.22	100 %	772.25	0.07	0.76
CON8-5	761.01	4.85	762.18	5.71	63.33 %	754.88	0.81	0.97
CON8-6	689.56	5.60	691.51	5.62	100 %	678.92	1.57	1.85
CON8-7	814.79	5.00	815.74	5.43	100 %	811.96	0.35	0.47
CON8-8	775.36	5.50	780.40	5.59	96.66 %	767.53	1.02	1.68
CON8-9	815.52	5.33	820.70	5.76	100 %	809.00	0.81	1.45
PROM.	762.31	5.46	764.62	5.52	-	758.54	0.44	0.74

Tabla C.98: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 10.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	0.45	641.40	0.43	635.62	0.78	0.91
SCA3-1	701.78	0.55	703.34	0.55	697.84	0.56	0.79
SCA3-2	659.34	0.40	660.24	0.41	659.34	0.00	0.14
SCA3-3	685.47	0.41	685.47	0.42	680.04	0.80	0.80
SCA3-4	690.50	0.40	690.50	0.43	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	679.27	0.38	681.16	0.39	659.90	2.94	3.22
SCA3-6	652.94	0.44	652.94	0.47	651.09	0.28	0.28
SCA3-7	667.24	0.71	667.24	0.58	659.17	1.22	1.22
SCA3-8	726.57	0.56	726.57	0.60	719.47	0.99	0.99
SCA3-9	681.00	0.44	681.00	0.42	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	1007.19	0.49	1007.19	0.45	961.50	4.75	4.75
SCA8-1	1074.57	0.40	1083.59	0.45	1049.65	2.37	3.23
SCA8-2	1054.47	0.57	1054.53	0.54	1039.64	1.43	1.43
SCA8-3	1025.19	0.41	1028.83	0.41	983.34	4.26	4.63
SCA8-4	1080.08	0.41	1094.22	0.39	1065.49	1.37	2.70
SCA8-5	1057.68	0.39	1058.36	0.47	1027.08	2.98	3.05
SCA8-6	976.74	0.46	976.74	0.45	971.82	0.51	0.51
SCA8-7	1078.81	0.37	1078.81	0.41	1051.28	2.62	2.62
SCA8-8	1087.21	0.49	1088.38	0.45	1071.18	1.50	1.61
SCA8-9	1078.49	0.65	1078.49	0.47	1060.50	1.70	1.70
CON3-0	620.76	0.73	620.76	0.51	616.52	0.69	0.69
CON3-1	556.04	0.44	562.04	0.46	554.47	0.28	1.37
CON3-2	521.38	0.47	521.38	0.48	518.00	0.65	0.65
CON3-3	592.57	0.41	592.76	0.41	591.19	0.23	0.27
CON3-4	591.43	0.42	594.82	0.41	588.79	0.45	1.02
CON3-5	568.76	0.58	569.60	0.48	563.70	0.90	1.05
CON3-6	504.20	0.57	507.52	0.57	499.05	1.03	1.70
CON3-7	576.48	0.55	578.92	0.50	576.48	0.00	0.42
CON3-8	523.05	0.50	525.82	0.47	523.05	0.00	0.53
CON3-9	590.67	0.46	591.01	0.46	578.24	2.15	2.21
CON8-0	857.40	0.45	878.45	0.46	857.17	0.03	2.48
CON8-1	760.08	0.49	760.08	0.46	740.85	2.60	2.60
CON8-2	725.93	0.50	731.18	0.50	712.89	1.83	2.57
CON8-3	833.50	0.59	836.37	0.47	811.07	2.77	3.12
CON8-4	780.34	0.49	780.34	0.48	772.25	1.05	1.05
CON8-5	763.90	0.44	763.90	0.42	754.88	1.19	1.19
CON8-6	684.69	0.44	705.55	0.46	678.92	0.85	3.92
CON8-7	821.28	0.39	821.86	0.48	811.96	1.15	1.22
CON8-8	793.77	0.42	797.03	0.41	767.53	3.42	3.84
CON8-9	819.88	0.40	819.88	0.46	809.00	1.34	1.34
PROM.	769.78	0.48	772.46	0.46	758.54	1.34	1.69

Tabla C.99: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 70.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	0.66	640.84	0.51	635.62	0.78	0.82
SCA3-1	701.53	0.52	701.53	0.48	697.84	0.53	0.53
SCA3-2	666.19	0.41	669.90	0.46	659.34	1.04	1.60
SCA3-3	681.16	0.42	681.21	0.55	680.04	0.16	0.17
SCA3-4	690.50	0.39	690.50	0.42	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	677.56	0.45	679.27	0.45	659.90	2.68	2.94
SCA3-6	652.94	0.44	654.00	0.47	651.09	0.28	0.45
SCA3-7	666.15	0.50	666.38	0.45	659.17	1.06	1.09
SCA3-8	724.29	0.92	727.71	0.53	719.47	0.67	1.14
SCA3-9	681.00	0.41	682.03	0.41	681.00	0.00	0.15
SCA8-0	987.26	0.45	987.26	0.57	961.50	2.68	2.68
SCA8-1	1095.15	0.41	1095.15	0.40	1049.65	4.33	4.33
SCA8-2	1053.59	0.40	1053.59	0.40	1039.64	1.34	1.34
SCA8-3	1014.10	0.49	1014.10	0.47	983.34	3.13	3.13
SCA8-4	1074.18	0.39	1074.18	0.42	1065.49	0.82	0.82
SCA8-5	1038.26	0.66	1053.77	0.55	1027.08	1.09	2.60
SCA8-6	982.65	0.38	985.85	0.52	971.82	1.11	1.44
SCA8-7	1084.88	0.37	1084.88	0.51	1051.28	3.20	3.20
SCA8-8	1089.91	0.44	1089.91	0.53	1071.18	1.75	1.75
SCA8-9	1067.27	0.38	1067.27	0.44	1060.50	0.64	0.64
CON3-0	628.47	0.46	631.54	0.50	616.52	1.94	2.44
CON3-1	558.67	0.46	560.23	0.45	554.47	0.76	1.04
CON3-2	521.38	0.63	522.30	0.53	518.00	0.65	0.83
CON3-3	591.20	0.41	597.07	0.43	591.19	0.00	0.99
CON3-4	592.58	0.40	597.47	0.46	588.79	0.64	1.47
CON3-5	563.70	0.44	567.85	0.45	563.70	0.00	0.74
CON3-6	502.16	0.48	504.76	0.47	499.05	0.62	1.14
CON3-7	578.41	0.41	588.70	0.40	576.48	0.33	2.12
CON3-8	525.30	0.57	532.36	0.48	523.05	0.43	1.78
CON3-9	588.40	0.49	589.07	0.46	578.24	1.76	1.87
CON8-0	891.49	0.58	891.49	0.49	857.17	4.00	4.00
CON8-1	760.30	0.46	767.24	0.55	740.85	2.63	3.56
CON8-2	718.80	0.56	722.15	0.56	712.89	0.83	1.30
CON8-3	832.93	0.46	833.39	0.53	811.07	2.70	2.75
CON8-4	787.50	0.38	792.90	0.39	772.25	1.97	2.67
CON8-5	763.13	0.47	763.13	0.47	754.88	1.09	1.09
CON8-6	700.80	0.62	700.84	0.52	678.92	3.22	3.23
CON8-7	816.18	0.77	826.36	0.49	811.96	0.52	1.77
CON8-8	787.58	0.49	787.58	0.48	767.53	2.61	2.61
CON8-9	833.49	0.42	838.12	0.47	809.00	3.03	3.60
PROM.	770.29	0.49	772.85	0.48	758.54	1.43	1.80

Tabla C.100: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 100.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	0.54	640.55	0.48	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	701.53	0.93	701.53	0.61	697.84	0.53	0.53
SCA3-2	668.65	0.42	668.86	0.43	659.34	1.41	1.44
SCA3-3	681.35	0.44	685.11	0.43	680.04	0.19	0.75
SCA3-4	690.50	0.46	690.50	0.43	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	668.48	0.57	669.70	0.53	659.90	1.30	1.48
SCA3-6	660.26	0.90	660.26	0.67	651.09	1.41	1.41
SCA3-7	671.77	0.45	672.00	0.46	659.17	1.91	1.95
SCA3-8	719.77	0.48	725.70	0.50	719.47	0.04	0.87
SCA3-9	681.00	0.46	681.00	0.43	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	976.98	0.41	986.80	0.52	961.50	1.61	2.63
SCA8-1	1078.78	0.47	1081.80	0.44	1049.65	2.78	3.06
SCA8-2	1054.85	0.41	1054.85	0.60	1039.64	1.46	1.46
SCA8-3	1024.73	0.44	1024.87	0.43	983.34	4.21	4.22
SCA8-4	1092.53	0.38	1092.53	0.47	1065.49	2.54	2.54
SCA8-5	1060.65	0.41	1060.65	0.45	1027.08	3.27	3.27
SCA8-6	981.24	0.40	983.65	0.47	971.82	0.97	1.22
SCA8-7	1075.21	0.47	1075.21	0.47	1051.28	2.28	2.28
SCA8-8	1090.39	0.44	1090.39	0.54	1071.18	1.79	1.79
SCA8-9	1081.16	0.38	1081.16	0.41	1060.50	1.95	1.95
CON3-0	624.96	0.45	631.68	0.44	616.52	1.37	2.46
CON3-1	560.75	0.48	562.73	0.52	554.47	1.13	1.49
CON3-2	521.38	0.50	521.38	0.51	518.00	0.65	0.65
CON3-3	599.26	0.66	599.46	0.51	591.19	1.37	1.40
CON3-4	591.43	0.50	593.56	0.56	588.79	0.45	0.81
CON3-5	567.94	0.54	567.94	0.48	563.70	0.75	0.75
CON3-6	502.26	0.46	504.83	0.51	499.05	0.64	1.16
CON3-7	582.14	0.40	586.23	0.41	576.48	0.98	1.69
CON3-8	526.59	0.52	532.61	0.51	523.05	0.68	1.83
CON3-9	588.18	0.48	588.84	0.59	578.24	1.72	1.83
CON8-0	873.62	0.43	884.50	0.45	857.17	1.92	3.19
CON8-1	752.70	0.73	768.00	0.61	740.85	1.60	3.66
CON8-2	713.44	0.49	715.34	0.62	712.89	0.08	0.34
CON8-3	830.96	0.44	830.96	0.47	811.07	2.45	2.45
CON8-4	797.16	0.44	797.16	0.41	772.25	3.23	3.23
CON8-5	766.01	1.00	768.51	0.60	754.88	1.47	1.81
CON8-6	705.16	0.47	705.16	0.62	678.92	3.86	3.86
CON8-7	821.91	0.47	822.22	0.48	811.96	1.23	1.26
CON8-8	802.70	0.46	803.24	0.52	767.53	4.58	4.65
CON8-9	822.33	0.42	823.31	0.49	809.00	1.65	1.77
PROM.	771.28	0.51	773.37	0.50	758.54	1.56	1.85

Tabla C.101: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 10.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	0.70	640.28	0.57	635.62	0.07	0.73
SCA3-1	700.50	0.54	701.01	0.66	697.84	0.38	0.45
SCA3-2	669.06	0.52	673.08	0.53	659.34	1.47	2.08
SCA3-3	680.04	0.69	680.04	0.67	680.04	0.00	0.00
SCA3-4	690.50	0.67	691.53	0.52	690.50	0.00	0.15
SCA3-5	680.80	0.68	680.80	0.65	659.90	3.17	3.17
SCA3-6	652.94	0.70	652.94	0.65	651.09	0.28	0.28
SCA3-7	671.77	0.47	672.50	0.60	659.17	1.91	2.02
SCA3-8	723.99	0.69	724.07	0.55	719.47	0.63	0.64
SCA3-9	681.00	0.46	681.00	0.53	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	998.79	0.50	1008.02	0.80	961.50	3.88	4.84
SCA8-1	1079.39	0.58	1079.39	0.59	1049.65	2.83	2.83
SCA8-2	1054.69	0.49	1054.69	0.59	1039.64	1.45	1.45
SCA8-3	1023.67	0.39	1023.67	0.56	983.34	4.10	4.10
SCA8-4	1091.52	0.57	1091.52	0.48	1065.49	2.44	2.44
SCA8-5	1040.87	0.75	1040.87	0.67	1027.08	1.34	1.34
SCA8-6	987.58	0.56	989.51	0.57	971.82	1.62	1.82
SCA8-7	1081.07	0.40	1081.07	0.41	1051.28	2.83	2.83
SCA8-8	1087.30	0.45	1089.65	0.53	1071.18	1.50	1.72
SCA8-9	1075.03	0.43	1075.03	0.58	1060.50	1.37	1.37
CON3-0	628.47	0.57	628.47	0.52	616.52	1.94	1.94
CON3-1	556.92	0.52	560.75	0.60	554.47	0.44	1.13
CON3-2	521.38	0.52	524.01	0.64	518.00	0.65	1.16
CON3-3	601.33	0.52	601.95	0.51	591.19	1.72	1.82
CON3-4	592.58	0.50	597.26	0.65	588.79	0.64	1.44
CON3-5	564.89	0.59	566.81	0.55	563.70	0.21	0.55
CON3-6	505.97	0.48	508.88	0.50	499.05	1.39	1.97
CON3-7	581.46	0.42	583.13	0.42	576.48	0.86	1.15
CON3-8	524.59	0.52	524.59	0.53	523.05	0.29	0.29
CON3-9	588.11	0.53	588.75	0.62	578.24	1.71	1.82
CON8-0	878.85	0.51	878.85	0.53	857.17	2.53	2.53
CON8-1	764.90	0.53	764.90	0.55	740.85	3.25	3.25
CON8-2	722.22	0.84	722.22	0.78	712.89	1.31	1.31
CON8-3	825.14	0.54	833.86	0.65	811.07	1.73	2.81
CON8-4	782.31	0.44	794.30	0.57	772.25	1.30	2.86
CON8-5	760.62	0.47	760.62	0.58	754.88	0.76	0.76
CON8-6	701.80	0.74	702.46	0.62	678.92	3.37	3.47
CON8-7	816.18	0.45	820.93	0.53	811.96	0.52	1.11
CON8-8	795.86	0.56	796.92	0.57	767.53	3.69	3.83
CON8-9	835.63	0.64	839.62	0.82	809.00	3.29	3.78
PROM.	771.39	0.55	773.25	0.59	758.54	1.57	1.83

Tabla C.102: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 70.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	641.69	0.56	641.88	0.52	635.62	0.95	0.98
SCA3-1	697.84	0.56	697.84	0.82	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	666.33	0.45	669.67	0.57	659.34	1.06	1.57
SCA3-3	681.16	0.58	681.40	0.58	680.04	0.16	0.20
SCA3-4	690.50	0.42	690.50	0.59	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	673.56	0.72	673.56	0.63	659.90	2.07	2.07
SCA3-6	656.23	0.65	659.43	0.57	651.09	0.79	1.28
SCA3-7	664.88	0.52	665.83	0.66	659.17	0.87	1.01
SCA3-8	728.24	0.76	729.24	0.62	719.47	1.22	1.36
SCA3-9	681.00	0.92	681.17	0.80	681.00	0.00	0.02
SCA8-0	973.22	0.63	976.04	0.56	961.50	1.22	1.51
SCA8-1	1065.38	1.02	1079.83	0.67	1049.65	1.50	2.88
SCA8-2	1051.60	0.56	1053.14	0.63	1039.64	1.15	1.30
SCA8-3	1002.86	0.66	1002.86	0.79	983.34	1.99	1.99
SCA8-4	1104.93	0.95	1109.41	0.67	1065.49	3.70	4.12
SCA8-5	1037.54	0.98	1043.76	0.75	1027.08	1.02	1.62
SCA8-6	979.60	0.69	983.10	0.66	971.82	0.80	1.16
SCA8-7	1075.42	0.44	1083.66	0.58	1051.28	2.30	3.08
SCA8-8	1075.00	0.45	1075.00	0.59	1071.18	0.36	0.36
SCA8-9	1076.67	0.40	1076.67	0.47	1060.50	1.52	1.52
CON3-0	625.14	0.60	627.60	0.72	616.52	1.40	1.80
CON3-1	557.38	0.72	559.07	0.65	554.47	0.52	0.83
CON3-2	521.38	0.80	521.38	0.71	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.20	0.68	597.53	0.68	591.19	0.00	1.07
CON3-4	592.58	0.62	596.88	0.69	588.79	0.64	1.37
CON3-5	566.96	0.49	568.16	0.68	563.70	0.58	0.79
CON3-6	504.15	0.71	504.80	0.68	499.05	1.02	1.15
CON3-7	582.14	0.47	582.14	0.55	576.48	0.98	0.98
CON3-8	523.14	0.54	531.60	0.69	523.05	0.02	1.63
CON3-9	590.39	0.80	591.39	0.81	578.24	2.10	2.27
CON8-0	874.78	0.52	875.55	0.66	857.17	2.05	2.14
CON8-1	768.44	0.60	772.53	0.79	740.85	3.72	4.28
CON8-2	717.31	0.51	717.34	0.60	712.89	0.62	0.62
CON8-3	822.54	0.70	822.54	0.77	811.07	1.41	1.41
CON8-4	784.78	0.96	784.78	0.79	772.25	1.62	1.62
CON8-5	762.01	0.43	762.01	0.61	754.88	0.94	0.94
CON8-6	688.93	0.99	697.49	0.78	678.92	1.47	2.73
CON8-7	822.83	0.46	825.37	0.56	811.96	1.34	1.65
CON8-8	785.64	0.52	791.52	0.76	767.53	2.36	3.13
CON8-9	818.99	0.42	822.87	0.56	809.00	1.23	1.71
PROM.	768.11	0.64	770.66	0.66	758.54	1.18	1.52

Tabla C.103: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 100.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	0.82	640.55	0.83	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	707.07	0.66	707.32	0.64	697.84	1.32	1.36
SCA3-2	664.18	0.54	664.64	0.60	659.34	0.73	0.80
SCA3-3	680.04	0.72	681.29	0.70	680.04	0.00	0.18
SCA3-4	690.50	0.53	692.55	0.64	690.50	0.00	0.30
SCA3-5	659.90	0.59	662.47	0.79	659.90	0.00	0.39
SCA3-6	651.09	0.63	655.30	0.76	651.09	0.00	0.65
SCA3-7	666.15	0.65	666.15	0.64	659.17	1.06	1.06
SCA3-8	719.77	0.57	721.47	0.63	719.47	0.04	0.28
SCA3-9	681.00	0.51	681.00	0.66	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	972.59	0.56	982.18	0.61	961.50	1.15	2.15
SCA8-1	1074.65	0.69	1074.90	0.61	1049.65	2.38	2.41
SCA8-2	1050.37	0.50	1050.37	0.66	1039.64	1.03	1.03
SCA8-3	1022.58	0.56	1023.37	0.54	983.34	3.99	4.07
SCA8-4	1074.87	0.49	1075.76	0.79	1065.49	0.88	0.96
SCA8-5	1045.69	0.53	1062.05	0.55	1027.08	1.81	3.40
SCA8-6	976.74	0.68	982.43	0.69	971.82	0.51	1.09
SCA8-7	1075.60	0.51	1075.60	0.51	1051.28	2.31	2.31
SCA8-8	1084.41	0.68	1084.41	0.77	1071.18	1.24	1.24
SCA8-9	1077.86	0.95	1091.96	0.89	1060.50	1.64	2.97
CON3-0	620.76	0.94	630.75	0.64	616.52	0.69	2.31
CON3-1	557.21	0.95	562.96	0.67	554.47	0.49	1.53
CON3-2	521.38	1.02	522.26	0.90	518.00	0.65	0.82
CON3-3	598.45	0.52	600.79	0.72	591.19	1.23	1.62
CON3-4	595.25	0.57	600.20	0.70	588.79	1.10	1.94
CON3-5	564.88	0.62	565.64	0.65	563.70	0.21	0.35
CON3-6	503.97	1.03	504.55	0.73	499.05	0.99	1.10
CON3-7	578.22	0.65	578.27	0.58	576.48	0.30	0.31
CON3-8	524.38	0.96	529.30	0.77	523.05	0.25	1.19
CON3-9	590.16	0.61	590.25	0.69	578.24	2.06	2.08
CON8-0	879.38	1.01	889.84	0.94	857.17	2.59	3.81
CON8-1	771.70	1.00	771.70	0.90	740.85	4.16	4.16
CON8-2	716.19	0.73	717.46	0.87	712.89	0.46	0.64
CON8-3	831.73	0.55	835.04	0.69	811.07	2.55	2.96
CON8-4	790.59	1.02	790.73	0.78	772.25	2.37	2.39
CON8-5	762.61	1.02	762.61	0.77	754.88	1.02	1.02
CON8-6	698.19	0.85	704.55	0.85	678.92	2.84	3.78
CON8-7	817.98	0.68	824.23	0.59	811.96	0.74	1.51
CON8-8	784.32	0.71	786.37	0.62	767.53	2.19	2.45
CON8-9	830.79	0.94	834.54	0.72	809.00	2.69	3.16
PROM.	768.84	0.72	771.94	0.71	758.54	1.26	1.66

Tabla C.104: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 90.0 -mprob 10.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	0.71	641.31	0.71	635.62	0.78	0.89
SCA3-1	700.50	0.85	700.50	0.74	697.84	0.38	0.38
SCA3-2	674.45	0.68	674.95	0.69	659.34	2.29	2.37
SCA3-3	680.04	0.72	680.65	0.72	680.04	0.00	0.09
SCA3-4	690.50	0.69	690.50	0.69	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	662.75	0.74	676.29	0.73	659.90	0.43	2.48
SCA3-6	652.94	0.69	652.94	0.71	651.09	0.28	0.28
SCA3-7	667.24	0.68	670.64	0.70	659.17	1.22	1.74
SCA3-8	731.10	0.70	732.23	0.71	719.47	1.62	1.77
SCA3-9	681.00	0.70	683.03	0.70	681.00	0.00	0.30
SCA8-0	999.14	0.68	1011.17	0.73	961.50	3.91	5.17
SCA8-1	1054.87	0.76	1059.72	0.75	1049.65	0.50	0.96
SCA8-2	1053.59	0.74	1053.59	0.84	1039.64	1.34	1.34
SCA8-3	1014.58	1.03	1014.58	0.94	983.34	3.18	3.18
SCA8-4	1077.80	0.74	1077.98	0.76	1065.49	1.16	1.17
SCA8-5	1058.57	0.58	1059.61	0.73	1027.08	3.07	3.17
SCA8-6	978.03	0.77	978.03	0.84	971.82	0.64	0.64
SCA8-7	1089.40	0.74	1101.11	0.72	1051.28	3.63	4.74
SCA8-8	1092.02	0.69	1092.02	0.66	1071.18	1.95	1.95
SCA8-9	1074.19	0.54	1074.19	0.73	1060.50	1.29	1.29
CON3-0	617.59	0.94	622.33	0.78	616.52	0.17	0.94
CON3-1	561.87	0.77	562.20	0.69	554.47	1.33	1.39
CON3-2	521.38	0.78	522.32	0.78	518.00	0.65	0.83
CON3-3	591.20	0.83	596.88	0.76	591.19	0.00	0.96
CON3-4	592.58	0.75	593.38	0.75	588.79	0.64	0.78
CON3-5	568.76	0.74	570.30	0.72	563.70	0.90	1.17
CON3-6	504.44	0.76	504.79	0.76	499.05	1.08	1.15
CON3-7	578.22	0.70	581.35	0.71	576.48	0.30	0.85
CON3-8	523.05	0.80	527.00	0.77	523.05	0.00	0.75
CON3-9	588.11	0.76	588.64	0.71	578.24	1.71	1.80
CON8-0	870.49	0.60	870.49	0.70	857.17	1.55	1.55
CON8-1	755.30	0.60	757.18	0.72	740.85	1.95	2.20
CON8-2	727.69	0.82	728.10	0.87	712.89	2.08	2.13
CON8-3	831.59	0.73	833.33	0.76	811.07	2.53	2.74
CON8-4	793.13	0.73	801.38	0.75	772.25	2.70	3.77
CON8-5	761.01	0.81	761.01	0.78	754.88	0.81	0.81
CON8-6	701.09	0.83	701.09	0.80	678.92	3.27	3.27
CON8-7	830.80	0.80	832.28	0.74	811.96	2.32	2.50
CON8-8	795.08	0.78	795.08	0.84	767.53	3.59	3.59
CON8-9	824.39	0.74	834.81	0.76	809.00	1.90	3.19
PROM.	770.28	0.74	772.72	0.75	758.54	1.43	1.76

Tabla C.105: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 90.0 -mprob 70.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	641.64	0.96	641.64	0.94	635.62	0.95	0.95
SCA3-1	700.50	0.77	700.76	0.76	697.84	0.38	0.42
SCA3-2	664.21	0.68	664.21	0.79	659.34	0.74	0.74
SCA3-3	680.04	0.70	683.51	0.71	680.04	0.00	0.51
SCA3-4	690.50	0.89	691.70	0.84	690.50	0.00	0.17
SCA3-5	673.56	0.91	673.56	0.81	659.90	2.07	2.07
SCA3-6	652.94	0.70	653.81	0.85	651.09	0.28	0.42
SCA3-7	666.15	0.74	668.73	0.73	659.17	1.06	1.45
SCA3-8	724.29	0.95	729.85	0.90	719.47	0.67	1.44
SCA3-9	681.00	0.84	681.00	0.77	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	982.36	0.96	982.36	0.92	961.50	2.17	2.17
SCA8-1	1062.35	1.04	1062.35	0.96	1049.65	1.21	1.21
SCA8-2	1069.86	0.98	1070.50	0.84	1039.64	2.91	2.97
SCA8-3	1000.75	0.60	1005.91	0.75	983.34	1.77	2.30
SCA8-4	1067.66	0.47	1067.66	0.62	1065.49	0.20	0.20
SCA8-5	1060.37	0.98	1060.37	0.93	1027.08	3.24	3.24
SCA8-6	971.82	0.97	976.14	0.92	971.82	0.00	0.44
SCA8-7	1079.05	0.67	1079.05	0.84	1051.28	2.64	2.64
SCA8-8	1075.00	0.97	1075.00	0.91	1071.18	0.36	0.36
SCA8-9	1074.21	0.99	1077.26	0.90	1060.50	1.29	1.58
CON3-0	624.84	0.79	629.04	0.86	616.52	1.35	2.03
CON3-1	556.92	0.94	559.79	0.94	554.47	0.44	0.96
CON3-2	521.38	0.96	522.73	0.90	518.00	0.65	0.91
CON3-3	591.19	0.75	599.75	0.79	591.19	0.00	1.45
CON3-4	604.71	0.92	604.71	0.92	588.79	2.70	2.70
CON3-5	568.66	0.72	571.32	0.81	563.70	0.88	1.35
CON3-6	504.15	0.79	505.05	0.80	499.05	1.02	1.20
CON3-7	581.27	0.62	588.70	0.68	576.48	0.83	2.12
CON3-8	524.30	0.82	524.30	0.88	523.05	0.24	0.24
CON3-9	588.11	0.81	588.40	0.83	578.24	1.71	1.76
CON8-0	877.38	0.96	877.38	0.95	857.17	2.36	2.36
CON8-1	758.03	1.05	761.15	0.91	740.85	2.32	2.74
CON8-2	716.26	0.88	716.61	0.92	712.89	0.47	0.52
CON8-3	836.01	0.98	836.81	1.01	811.07	3.07	3.17
CON8-4	772.76	0.76	772.81	0.72	772.25	0.07	0.07
CON8-5	771.15	1.02	771.15	0.90	754.88	2.16	2.16
CON8-6	691.83	0.86	691.83	0.88	678.92	1.90	1.90
CON8-7	826.02	0.83	826.11	0.88	811.96	1.73	1.74
CON8-8	791.19	0.96	802.00	0.90	767.53	3.08	4.49
CON8-9	813.67	0.94	825.78	0.88	809.00	0.58	2.07
PROM.	768.45	0.85	770.52	0.85	758.54	1.24	1.53

Tabla C.106: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 90.0 -mprob 100.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	0.92	640.84	0.93	635.62	0.78	0.82
SCA3-1	706.23	0.90	706.23	0.90	697.84	1.20	1.20
SCA3-2	661.13	0.90	661.89	0.77	659.34	0.27	0.39
SCA3-3	681.35	0.92	681.35	0.94	680.04	0.19	0.19
SCA3-4	690.50	0.91	690.50	0.77	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	677.56	0.94	677.56	0.86	659.90	2.68	2.68
SCA3-6	653.81	0.93	654.41	0.88	651.09	0.42	0.51
SCA3-7	672.74	0.91	672.74	0.86	659.17	2.06	2.06
SCA3-8	724.29	0.98	726.81	0.88	719.47	0.67	1.02
SCA3-9	681.00	0.75	683.07	0.85	681.00	0.00	0.30
SCA8-0	1008.50	0.70	1009.00	0.94	961.50	4.89	4.94
SCA8-1	1086.98	1.01	1086.98	0.97	1049.65	3.56	3.56
SCA8-2	1051.95	0.80	1051.95	0.96	1039.64	1.18	1.18
SCA8-3	1019.22	0.99	1021.33	0.91	983.34	3.65	3.86
SCA8-4	1098.79	0.97	1101.78	0.94	1065.49	3.13	3.41
SCA8-5	1061.90	0.91	1061.90	0.91	1027.08	3.39	3.39
SCA8-6	972.48	0.98	974.68	0.96	971.82	0.07	0.29
SCA8-7	1073.05	0.94	1073.25	1.03	1051.28	2.07	2.09
SCA8-8	1071.18	1.00	1076.18	0.97	1071.18	0.00	0.47
SCA8-9	1073.96	1.07	1073.96	0.81	1060.50	1.27	1.27
CON3-0	624.96	0.94	627.53	0.89	616.52	1.37	1.79
CON3-1	556.92	0.93	559.72	0.89	554.47	0.44	0.95
CON3-2	521.38	0.79	522.26	0.94	518.00	0.65	0.82
CON3-3	601.26	0.75	604.53	0.77	591.19	1.70	2.26
CON3-4	595.25	0.96	603.07	0.87	588.79	1.10	2.42
CON3-5	563.70	0.95	566.99	0.95	563.70	0.00	0.58
CON3-6	504.44	0.95	507.06	0.93	499.05	1.08	1.60
CON3-7	582.12	0.94	584.06	0.91	576.48	0.98	1.32
CON3-8	532.86	0.98	534.74	0.97	523.05	1.88	2.23
CON3-9	589.73	0.94	589.85	0.95	578.24	1.99	2.01
CON8-0	886.27	0.96	888.29	0.93	857.17	3.39	3.63
CON8-1	769.90	1.02	771.00	0.94	740.85	3.92	4.07
CON8-2	726.07	1.02	727.90	1.02	712.89	1.85	2.11
CON8-3	840.01	1.03	840.01	1.00	811.07	3.57	3.57
CON8-4	800.50	0.95	800.50	0.95	772.25	3.66	3.66
CON8-5	758.12	1.01	761.71	0.99	754.88	0.43	0.91
CON8-6	691.83	0.97	702.44	0.98	678.92	1.90	3.46
CON8-7	815.72	0.85	815.72	0.92	811.96	0.46	0.46
CON8-8	810.83	0.87	810.83	0.87	767.53	5.64	5.64
CON8-9	814.45	1.00	815.79	0.98	809.00	0.67	0.84
PROM.	772.34	0.93	774.01	0.92	758.54	1.70	1.95

Tabla C.107: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -p 150.0 -cprob 40 -mprob 70

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	2.34	640.55	2.08	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	697.84	3.55	699.17	2.47	697.84	0.00	0.19
SCA3-2	664.18	1.88	664.29	1.70	659.34	0.73	0.75
SCA3-3	680.60	1.69	681.96	2.06	680.04	0.08	0.28
SCA3-4	690.50	1.81	690.50	2.00	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	665.64	2.40	665.64	1.97	659.90	0.87	0.87
SCA3-6	652.94	1.54	652.94	1.99	651.09	0.28	0.28
SCA3-7	664.88	1.97	665.20	2.09	659.17	0.87	0.91
SCA3-8	719.47	1.78	720.75	1.82	719.47	0.00	0.18
SCA3-9	681.00	1.68	681.00	1.81	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	982.18	1.89	982.18	2.02	961.50	2.15	2.15
SCA8-1	1053.09	1.54	1053.09	1.82	1049.65	0.33	0.33
SCA8-2	1053.78	1.96	1053.78	1.93	1039.64	1.36	1.36
SCA8-3	1010.01	2.19	1012.10	1.87	983.34	2.71	2.92
SCA8-4	1067.66	2.24	1067.66	2.08	1065.49	0.20	0.20
SCA8-5	1053.01	1.74	1054.06	1.94	1027.08	2.52	2.63
SCA8-6	976.69	1.94	976.69	2.08	971.82	0.50	0.50
SCA8-7	1070.92	1.70	1070.92	1.56	1051.28	1.87	1.87
SCA8-8	1071.18	1.54	1082.28	1.66	1071.18	0.00	1.04
SCA8-9	1068.65	1.86	1068.65	1.89	1060.50	0.77	0.77
CON3-0	619.09	2.04	620.28	1.86	616.52	0.42	0.61
CON3-1	557.21	1.63	559.87	1.93	554.47	0.49	0.97
CON3-2	521.38	2.31	521.38	2.07	518.00	0.65	0.65
CON3-3	592.43	1.81	594.89	2.02	591.19	0.21	0.63
CON3-4	591.43	2.51	593.19	2.07	588.79	0.45	0.75
CON3-5	564.88	2.17	566.41	2.10	563.70	0.21	0.48
CON3-6	502.26	1.86	503.86	2.17	499.05	0.64	0.96
CON3-7	578.41	1.98	580.37	1.99	576.48	0.33	0.67
CON3-8	524.30	2.02	524.45	2.04	523.05	0.24	0.27
CON3-9	588.11	1.92	588.11	1.98	578.24	1.71	1.71
CON8-0	860.48	1.86	865.74	1.98	857.17	0.39	1.00
CON8-1	753.57	2.29	754.04	2.12	740.85	1.72	1.78
CON8-2	717.84	1.92	717.84	2.19	712.89	0.69	0.69
CON8-3	822.51	1.97	823.78	1.85	811.07	1.41	1.57
CON8-4	780.51	2.43	780.51	2.05	772.25	1.07	1.07
CON8-5	765.69	1.96	766.05	2.17	754.88	1.43	1.48
CON8-6	688.24	2.07	688.24	1.98	678.92	1.37	1.37
CON8-7	815.43	1.66	818.14	1.83	811.96	0.43	0.76
CON8-8	782.68	2.13	782.68	1.99	767.53	1.97	1.97
CON8-9	818.50	1.92	818.54	2.01	809.00	1.17	1.18
PROM.	765.24	1.99	766.29	1.98	758.54	0.83	0.96

Tabla C.108: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -p 250.0 -cprob 40 -mprob 70

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	640.55	3.07	640.55	3.17	635.62	0.78	0.78
SCA3-1	697.84	3.49	697.84	3.12	697.84	0.00	0.00
SCA3-2	661.13	3.23	662.67	2.98	659.34	0.27	0.51
SCA3-3	681.16	2.98	681.40	3.29	680.04	0.16	0.20
SCA3-4	690.50	3.59	690.50	3.42	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	665.64	2.76	665.64	3.05	659.90	0.87	0.87
SCA3-6	652.94	3.51	652.94	3.45	651.09	0.28	0.28
SCA3-7	666.15	2.78	666.15	3.25	659.17	1.06	1.06
SCA3-8	719.47	2.88	719.54	3.15	719.47	0.00	0.01
SCA3-9	681.00	3.58	681.00	3.46	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	970.64	3.41	976.86	3.43	961.50	0.95	1.60
SCA8-1	1058.43	4.08	1060.93	3.69	1049.65	0.84	1.07
SCA8-2	1050.37	3.29	1051.93	3.21	1039.64	1.03	1.18
SCA8-3	1011.49	3.60	1011.49	3.35	983.34	2.86	2.86
SCA8-4	1067.55	3.06	1067.55	3.28	1065.49	0.19	0.19
SCA8-5	1048.59	2.86	1048.59	3.29	1027.08	2.09	2.09
SCA8-6	976.69	3.49	976.77	3.33	971.82	0.50	0.51
SCA8-7	1070.53	3.56	1070.53	3.14	1051.28	1.83	1.83
SCA8-8	1071.18	2.92	1076.56	3.10	1071.18	0.00	0.50
SCA8-9	1072.10	3.33	1073.64	2.88	1060.50	1.09	1.24
CON3-0	617.59	3.39	619.73	3.35	616.52	0.17	0.52
CON3-1	557.21	3.41	557.21	3.35	554.47	0.49	0.49
CON3-2	521.38	3.50	521.38	3.36	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.20	3.20	591.50	3.35	591.19	0.00	0.05
CON3-4	593.78	3.48	594.51	3.27	588.79	0.85	0.97
CON3-5	563.70	2.77	563.70	3.24	563.70	0.00	0.00
CON3-6	499.05	3.27	503.15	3.98	499.05	0.00	0.82
CON3-7	577.91	2.82	579.01	3.15	576.48	0.25	0.44
CON3-8	523.05	3.99	524.08	3.63	523.05	0.00	0.20
CON3-9	587.79	4.14	587.95	3.66	578.24	1.65	1.68
CON8-0	858.88	3.56	870.36	3.12	857.17	0.20	1.54
CON8-1	740.85	3.82	743.94	3.44	740.85	0.00	0.42
CON8-2	716.03	3.44	716.03	3.74	712.89	0.44	0.44
CON8-3	821.26	2.97	822.27	3.21	811.07	1.26	1.38
CON8-4	777.62	3.01	780.64	2.91	772.25	0.70	1.09
CON8-5	758.12	3.75	758.12	3.37	754.88	0.43	0.43
CON8-6	687.81	3.21	687.81	3.31	678.92	1.31	1.31
CON8-7	814.77	3.13	814.91	3.20	811.96	0.35	0.36
CON8-8	783.47	3.17	785.46	3.29	767.53	2.08	2.34
CON8-9	813.04	3.88	816.45	3.59	809.00	0.50	0.92
PROM.	763.96	3.33	765.28	3.31	758.54	0.65	0.82

Tabla C.109: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de Dethloff con la configuración -n 100.0 -p 300.0 -cprob 40 -mprob 70

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
SCA3-0	636.06	3.51	638.38	3.81	635.62	0.07	0.43
SCA3-1	697.84	3.48	698.50	3.67	697.84	0.00	0.10
SCA3-2	661.13	3.56	661.13	3.81	659.34	0.27	0.27
SCA3-3	680.04	4.15	680.04	4.04	680.04	0.00	0.00
SCA3-4	690.50	3.50	690.50	3.75	690.50	0.00	0.00
SCA3-5	659.90	3.80	663.75	4.48	659.90	0.00	0.58
SCA3-6	652.94	4.28	652.94	4.20	651.09	0.28	0.28
SCA3-7	659.17	4.56	664.40	3.92	659.17	0.00	0.79
SCA3-8	719.77	3.78	719.77	4.42	719.47	0.04	0.04
SCA3-9	681.00	3.83	681.00	3.90	681.00	0.00	0.00
SCA8-0	975.50	3.18	979.36	3.58	961.50	1.46	1.86
SCA8-1	1054.11	4.02	1063.61	4.09	1049.65	0.42	1.33
SCA8-2	1050.17	3.82	1050.22	3.72	1039.64	1.01	1.02
SCA8-3	983.34	4.20	983.34	4.32	983.34	0.00	0.00
SCA8-4	1068.97	3.70	1068.97	3.87	1065.49	0.33	0.33
SCA8-5	1037.06	4.43	1037.06	3.86	1027.08	0.97	0.97
SCA8-6	972.48	3.66	972.48	3.83	971.82	0.07	0.07
SCA8-7	1070.92	4.55	1073.30	3.88	1051.28	1.87	2.09
SCA8-8	1071.18	3.40	1071.18	3.63	1071.18	0.00	0.00
SCA8-9	1073.62	3.04	1073.91	3.38	1060.50	1.24	1.26
CON3-0	619.09	4.52	619.09	4.20	616.52	0.42	0.42
CON3-1	556.04	4.63	557.49	4.09	554.47	0.28	0.54
CON3-2	521.38	5.07	521.38	4.66	518.00	0.65	0.65
CON3-3	591.19	3.90	591.80	4.30	591.19	0.00	0.10
CON3-4	592.58	3.73	592.88	3.95	588.79	0.64	0.69
CON3-5	563.70	4.14	564.29	4.27	563.70	0.00	0.10
CON3-6	502.16	4.89	502.34	4.44	499.05	0.62	0.66
CON3-7	577.54	4.50	579.03	3.85	576.48	0.18	0.44
CON3-8	523.14	5.22	524.96	4.78	523.05	0.02	0.37
CON3-9	582.79	4.44	582.79	4.58	578.24	0.79	0.79
CON8-0	869.08	3.66	869.08	4.02	857.17	1.39	1.39
CON8-1	750.36	4.24	750.36	4.16	740.85	1.28	1.28
CON8-2	717.20	4.71	717.92	4.89	712.89	0.60	0.71
CON8-3	821.85	4.02	821.85	4.28	811.07	1.33	1.33
CON8-4	781.39	3.94	784.48	4.22	772.25	1.18	1.58
CON8-5	758.84	3.59	758.84	3.91	754.88	0.52	0.52
CON8-6	687.17	4.35	687.17	4.51	678.92	1.22	1.22
CON8-7	814.50	3.21	814.50	3.72	811.96	0.31	0.31
CON8-8	780.80	3.97	782.06	3.93	767.53	1.73	1.89
CON8-9	816.54	4.14	818.60	4.41	809.00	0.93	1.19
PROM.	763.08	4.03	764.12	4.08	758.54	0.55	0.69

C.6.2. SalhiNagy

Tabla C.110: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 100 -p 350 -cprob 90 -mprob 70

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	T. prom(seg.)	Por	CME	%G	%GP
CMT1X	474.91	7.26	476.30	6.70	86.66 %	470.48	0.94	1.24
CMT1Y	472.37	7.08	476.58	6.39	96.66 %	470.48	0.40	1.30
CMT2X	694.31	13.61	702.97	14.80	100 %	682.39	1.75	3.02
CMT2Y	693.46	14.56	702.54	14.72	100 %	682.39	1.62	2.95
CMT3X	723.46	33.76	734.23	32.97	100 %	719.06	0.61	2.11
CMT3Y	725.24	32.33	734.62	32.25	100 %	719.06	0.86	2.16
CMT4X	865.53	88.79	895.27	88.27	100 %	854.21	1.33	4.81
CMT4Y	886.82	89.15	901.01	88.80	96.66 %	852.46	4.03	5.70
CMT5X	1087.15	179.20	1100.22	180.73	93.33 %	1030.56	5.49	6.76
CMT5Y	1070.68	184.15	1100.07	183.53	86.66 %	1031.69	3.78	6.63
CMT11X	875.48	55.28	893.37	55.07	100 %	831.09	5.34	7.49
CMT11Y	846.38	61.17	871.31	61.62	100 %	829.85	1.99	5.00
CMT12X	670.29	33.64	675.03	33.70	100 %	658.83	1.74	2.46
CMT12Y	669.49	34.14	674.08	33.06	96.66 %	660.47	1.37	2.06
PROM.	768.25	59.58	781.26	59.47	-	749.50	2.23	3.83

Tabla C.111: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 10.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	480.02	0.40	486.13	0.40	470.48	2.03	3.33
CMT1Y	477.06	0.42	483.85	0.37	470.48	1.40	2.84
CMT2X	703.41	1.08	708.40	1.04	682.39	3.08	3.81
CMT2Y	711.30	1.01	712.00	1.01	682.39	4.24	4.34
CMT3X	742.27	2.66	744.50	2.60	719.06	3.23	3.54
CMT3Y	740.27	2.36	744.13	2.44	719.06	2.95	3.49
CMT4X	898.12	7.24	914.44	7.42	854.21	5.14	7.05
CMT4Y	892.37	7.20	913.15	7.29	852.46	4.68	7.12
CMT5X	1093.27	15.22	1121.11	15.44	1030.56	6.09	8.79
CMT5Y	1116.16	16.28	1132.67	15.86	1031.69	8.19	9.79
CMT11X	898.36	4.38	911.32	4.49	831.09	8.09	9.65
CMT11Y	883.51	5.05	907.64	5.14	829.85	6.47	9.37
CMT12X	674.53	2.78	678.89	2.76	658.83	2.38	3.05
CMT12Y	680.71	2.36	681.07	2.50	660.47	3.06	3.12
PROM.	785.10	4.89	795.66	4.91	749.50	4.36	5.66

Tabla C.112: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 70.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	482.53	0.39	483.85	0.40	470.48	2.56	2.84
CMT1Y	479.65	0.34	481.20	0.39	470.48	1.95	2.28
CMT2X	712.85	0.95	717.94	1.03	682.39	4.46	5.21
CMT2Y	720.06	1.00	723.66	1.17	682.39	5.52	6.05
CMT3X	743.40	2.56	744.52	2.54	719.06	3.38	3.54
CMT3Y	746.95	2.39	751.00	2.45	719.06	3.88	4.44
CMT4X	910.89	7.59	914.77	7.48	854.21	6.64	7.09
CMT4Y	896.62	7.79	907.25	7.68	852.46	5.18	6.43
CMT5X	1110.94	16.15	1117.30	15.46	1030.56	7.80	8.42
CMT5Y	1105.72	15.40	1121.09	15.76	1031.69	7.18	8.67
CMT11X	905.00	4.48	912.13	4.67	831.09	8.89	9.75
CMT11Y	869.06	4.86	887.79	4.91	829.85	4.72	6.98
CMT12X	674.30	2.63	680.43	2.69	658.83	2.35	3.28
CMT12Y	674.94	2.44	675.72	2.63	660.47	2.19	2.31
PROM.	788.06	4.93	794.19	4.95	749.50	4.76	5.52

Tabla C.113: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 10.0 -mprob 100.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	483.83	0.38	486.00	0.48	470.48	2.84	3.30
CMT1Y	488.48	0.30	490.30	0.33	470.48	3.83	4.21
CMT2X	707.74	0.90	711.26	1.03	682.39	3.71	4.23
CMT2Y	706.50	0.92	708.19	1.04	682.39	3.53	3.78
CMT3X	737.63	2.36	745.83	2.46	719.06	2.58	3.72
CMT3Y	733.14	2.28	741.17	2.40	719.06	1.96	3.07
CMT4X	902.13	7.55	910.31	7.14	854.21	5.61	6.57
CMT4Y	912.23	7.19	918.72	7.25	852.46	7.01	7.77
CMT5X	1101.55	15.33	1117.89	15.26	1030.56	6.89	8.47
CMT5Y	1116.18	15.18	1123.25	15.72	1031.69	8.19	8.87
CMT11X	885.85	4.66	905.14	4.60	831.09	6.59	8.91
CMT11Y	849.52	5.10	897.51	4.98	829.85	2.37	8.15
CMT12X	673.99	2.72	679.58	2.63	658.83	2.30	3.15
CMT12Y	677.04	2.55	679.02	2.70	660.47	2.51	2.81
PROM.	783.99	4.82	793.87	4.86	749.50	4.28	5.50

Tabla C.114: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 10.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	478.84	0.46	486.30	0.45	470.48	1.78	3.36
CMT1Y	481.64	0.59	484.14	0.48	470.48	2.37	2.90
CMT2X	712.09	1.12	719.28	1.18	682.39	4.35	5.41
CMT2Y	705.06	1.36	710.07	1.22	682.39	3.32	4.06
CMT3X	729.33	2.98	742.21	3.09	719.06	1.43	3.22
CMT3Y	738.62	2.45	739.85	2.57	719.06	2.72	2.89
CMT4X	906.49	7.72	913.06	8.01	854.21	6.12	6.89
CMT4Y	904.96	7.56	915.36	7.46	852.46	6.16	7.38
CMT5X	1079.48	15.86	1115.01	16.16	1030.56	4.75	8.19
CMT5Y	1108.23	17.50	1124.05	16.66	1031.69	7.42	8.95
CMT11X	881.52	4.47	908.50	5.00	831.09	6.07	9.31
CMT11Y	855.05	5.19	878.80	5.28	829.85	3.04	5.90
CMT12X	675.69	2.75	680.51	2.67	658.83	2.56	3.29
CMT12Y	675.07	3.28	678.80	2.88	660.47	2.21	2.78
PROM.	780.86	5.23	792.57	5.22	749.50	3.88	5.32

Tabla C.115: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 70.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	478.82	0.50	480.37	0.73	470.48	1.77	2.10
CMT1Y	489.68	0.82	489.68	0.82	470.48	4.08	4.08
CMT2X	699.53	1.11	701.81	1.12	682.39	2.51	2.85
CMT2Y	697.50	1.18	704.64	1.38	682.39	2.21	3.26
CMT3X	737.01	3.39	747.27	3.01	719.06	2.50	3.92
CMT3Y	730.43	2.75	739.94	2.90	719.06	1.58	2.90
CMT4X	874.20	7.71	909.50	8.03	854.21	2.34	6.47
CMT4Y	900.12	8.57	916.16	8.29	852.46	5.59	7.47
CMT5X	1115.08	16.67	1124.91	16.09	1030.56	8.20	9.16
CMT5Y	1130.57	17.02	1137.87	16.56	1031.69	9.58	10.29
CMT11X	902.47	5.05	917.15	5.07	831.09	8.59	10.36
CMT11Y	898.41	5.62	912.28	5.81	829.85	8.26	9.93
CMT12X	674.69	3.02	676.08	3.06	658.83	2.41	2.62
CMT12Y	675.40	3.30	678.62	2.92	660.47	2.26	2.75
PROM.	785.99	5.48	795.45	5.41	749.50	4.42	5.58

Tabla C.116: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 40.0 -mprob 100.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	476.53	0.52	486.06	0.76	470.48	1.29	3.31
CMT1Y	483.02	0.54	485.81	0.54	470.48	2.67	3.26
CMT2X	703.21	1.51	712.71	1.47	682.39	3.05	4.44
CMT2Y	716.02	1.54	719.77	1.32	682.39	4.93	5.48
CMT3X	734.38	2.65	739.02	3.09	719.06	2.13	2.78
CMT3Y	735.08	2.55	748.39	3.00	719.06	2.23	4.08
CMT4X	900.05	8.04	905.88	7.66	854.21	5.37	6.05
CMT4Y	908.78	8.23	916.92	7.93	852.46	6.61	7.56
CMT5X	1108.60	16.24	1115.09	16.10	1030.56	7.57	8.20
CMT5Y	1106.28	17.35	1117.31	17.02	1031.69	7.23	8.30
CMT11X	907.01	4.92	916.09	5.10	831.09	9.13	10.23
CMT11Y	885.25	6.17	895.28	5.55	829.85	6.68	7.89
CMT12X	675.73	3.01	683.49	2.94	658.83	2.57	3.74
CMT12Y	681.33	3.36	684.09	2.98	660.47	3.16	3.58
PROM.	787.23	5.47	794.71	5.39	749.50	4.61	5.63

Tabla C.117: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 90.0 -mprob 70.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	480.19	0.82	483.09	0.82	470.48	2.06	2.68
CMT1Y	477.00	1.52	483.12	0.90	470.48	1.39	2.69
CMT2X	703.44	1.68	713.65	1.62	682.39	3.08	4.58
CMT2Y	704.88	1.73	713.29	1.62	682.39	3.30	4.53
CMT3X	733.34	3.40	736.12	3.12	719.06	1.99	2.37
CMT3Y	729.62	3.47	735.80	3.31	719.06	1.47	2.33
CMT4X	903.54	8.17	912.16	8.11	854.21	5.77	6.78
CMT4Y	889.48	8.68	905.24	8.68	852.46	4.34	6.19
CMT5X	1087.66	16.62	1116.59	16.49	1030.56	5.54	8.35
CMT5Y	1115.55	17.37	1128.86	17.46	1031.69	8.13	9.42
CMT11X	896.75	5.17	921.97	5.14	831.09	7.90	10.94
CMT11Y	852.23	6.38	892.54	5.95	829.85	2.70	7.55
CMT12X	676.64	3.22	678.61	3.45	658.83	2.70	3.00
CMT12Y	674.87	3.26	676.52	3.19	660.47	2.18	2.43
PROM.	780.37	5.82	792.68	5.71	749.50	3.75	5.27

Tabla C.118: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 200 -p 40 -cprob 90.0 -mprob 100.0

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	484.51	0.83	486.91	0.81	470.48	2.98	3.49
CMT1Y	481.85	0.82	481.85	0.77	470.48	2.42	2.42
CMT2X	710.11	1.70	718.44	1.68	682.39	4.06	5.28
CMT2Y	709.29	1.74	711.18	1.65	682.39	3.94	4.22
CMT3X	738.81	3.51	745.97	3.48	719.06	2.75	3.74
CMT3Y	742.21	3.36	747.68	3.31	719.06	3.22	3.98
CMT4X	899.99	8.68	909.11	8.52	854.21	5.36	6.43
CMT4Y	907.36	8.61	916.09	8.69	852.46	6.44	7.46
CMT5X	1103.51	17.46	1118.76	17.39	1030.56	7.08	8.56
CMT5Y	1102.73	18.39	1125.69	17.80	1031.69	6.89	9.11
CMT11X	897.15	5.54	907.26	5.65	831.09	7.95	9.17
CMT11Y	900.07	5.91	915.51	6.06	829.85	8.46	10.32
CMT12X	675.28	5.21	680.98	3.77	658.83	2.50	3.36
CMT12Y	673.49	3.40	677.92	3.38	660.47	1.97	2.64
PROM.	787.60	6.08	795.95	5.93	749.50	4.72	5.73

Tabla C.119: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 100.0 -p 150.0 -cprob 90 -mprob 70

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	476.66	2.10	477.61	2.06	470.48	1.31	1.52
CMT1Y	474.91	1.72	477.88	1.89	470.48	0.94	1.57
CMT2X	704.33	4.71	706.86	4.59	682.39	3.22	3.59
CMT2Y	697.61	4.58	708.14	4.29	682.39	2.23	3.77
CMT3X	739.58	10.05	742.50	10.17	719.06	2.85	3.26
CMT3Y	737.23	10.64	740.26	10.04	719.06	2.53	2.95
CMT4X	897.35	27.72	901.54	28.54	854.21	5.05	5.54
CMT4Y	887.82	28.65	901.00	29.27	852.46	4.15	5.69
CMT5X	1093.53	57.13	1104.10	57.73	1030.56	6.11	7.14
CMT5Y	1097.56	59.94	1104.60	59.17	1031.69	6.38	7.07
CMT11X	895.94	18.10	903.25	17.58	831.09	7.80	8.68
CMT11Y	863.65	19.81	881.75	21.39	829.85	4.07	6.25
CMT12X	674.72	10.69	676.28	10.66	658.83	2.41	2.65
CMT12Y	674.87	10.60	675.93	10.65	660.47	2.18	2.34
PROM.	779.70	19.03	785.84	19.15	749.50	3.66	4.43

Tabla C.120: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 100.0 -p 250.0 -cprob 90 -mprob 70

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	478.84	3.21	479.55	3.40	470.48	1.78	1.93
CMT1Y	475.53	2.84	478.90	3.37	470.48	1.07	1.79
CMT2X	705.12	8.20	706.38	8.03	682.39	3.33	3.51
CMT2Y	702.79	7.52	707.14	7.46	682.39	2.99	3.63
CMT3X	735.58	17.30	738.93	17.23	719.06	2.30	2.76
CMT3Y	725.20	16.16	730.15	16.89	719.06	0.85	1.54
CMT4X	884.54	47.17	892.93	46.43	854.21	3.55	4.53
CMT4Y	897.49	47.75	906.99	47.59	852.46	5.28	6.40
CMT5X	1091.98	96.68	1098.78	95.91	1030.56	5.96	6.62
CMT5Y	1091.82	98.94	1105.65	98.36	1031.69	5.83	7.17
CMT11X	861.70	29.52	889.88	28.83	831.09	3.68	7.07
CMT11Y	877.16	31.56	888.71	32.42	829.85	5.70	7.09
CMT12X	671.23	18.42	672.35	17.67	658.83	1.88	2.05
CMT12Y	668.95	17.41	673.56	17.10	660.47	1.28	1.98
PROM.	776.28	31.62	783.56	31.48	749.50	3.25	4.15

Tabla C.121: Resultados de la ejecución de la metaheurística GA-M, utilizando instancias de SalhiNagy con la configuración -n 100.0 -p 350.0 -cprob 90 -mprob 70

Instancia	Costo mínimo	Tiempo(seg.)	Costo promedio	Tiempo promedio(seg.)	CME	%G	%GP
CMT1X	475.37	4.94	476.89	4.91	470.48	1.04	1.36
CMT1Y	477.21	3.96	478.35	4.15	470.48	1.43	1.67
CMT2X	695.58	10.70	701.59	11.20	682.39	1.93	2.81
CMT2Y	692.39	11.43	703.65	11.01	682.39	1.47	3.12
CMT3X	728.88	24.93	732.16	24.99	719.06	1.37	1.82
CMT3Y	733.44	23.79	736.68	23.88	719.06	2.00	2.45
CMT4X	896.29	64.68	899.29	64.94	854.21	4.93	5.28
CMT4Y	872.44	66.17	895.17	66.64	852.46	2.34	5.01
CMT5X	1091.97	135.16	1097.95	134.75	1030.56	5.96	6.54
CMT5Y	1074.86	135.76	1099.76	135.59	1031.69	4.18	6.60
CMT11X	881.94	41.26	889.67	41.73	831.09	6.12	7.05
CMT11Y	863.57	45.09	874.57	46.31	829.85	4.06	5.39
CMT12X	673.00	23.98	674.30	24.90	658.83	2.15	2.35
CMT12Y	670.65	24.33	673.51	23.98	660.47	1.54	1.97
PROM.	773.40	44.01	780.97	44.21	749.50	2.89	3.82