

**Universidad del Bío-Bío
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial**

**Profesor Guía
Dr. Rodrigo Linfati**



“UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROBLEMA DE RUTEO DE LOCALIZACIÓN ELÉCTRICA QUE CONSIDERE LA RECARGA PARCIAL CON VENTANAS DE TIEMPO”

“A MATHEMATICAL MODEL FOR THE ELECTRIC LOCATION ROUTING PROBLEM THAT CONSIDERS PARTIAL RECHARGING WITH TIME WINDOWS”

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero Civil Industrial”

Concepción, 27 de Febrero de 2024

**Jeremías Israel Almendra Gómez
Ingeniería Civil Industrial**

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco al Señor, quien en su infinita misericordia me permitió estudiar, me guió durante estos cinco años y me fortaleció en todo momento. “Porque de Él, por Él y para Él son todas las cosas. A Él sea la gloria para siempre.”

Agradezco de corazón a mis padres, Luis y Erica, así como a mi hermana Paz, y a mis hermanos Felipe y Elías, que con su amor y esfuerzo me apoyaron y se preocuparon en toda mi formación profesional.

Finalmente, agradezco a mi profesor guía, Dr. Rodrigo Linfati, por la oportunidad de recibir su orientación y colaboración durante todo el desarrollo del seminario de titulación.

RESUMEN

Este trabajo aborda el problema de ruteo de localización eléctrica considerando ventanas de tiempo y recarga parcial de las baterías, donde se evaluará una formulación de un modelo de programación entera mixta, para instancias adaptadas de la literatura de tipo aleatorio y clúster, con 5 y 10 clientes. En dicho modelo, se propusieron 5 funciones objetivos, que se trabajan de manera independiente. Los indicadores que se utilizarán para evaluar sus resultados son el valor de la función objetivo, el porcentaje gap, tiempo de cómputo, cantidad de soluciones óptimas, número de rutas creadas y el tiempo incurrido por nodo.

A partir de la configuración del parámetro “Cantidad de repeticiones de los nodos” igual a 1 “nS1”, es que se obtuvo una mayor cantidad de soluciones óptimas en todas las funciones objetivos, influyendo considerablemente en los tiempos de cómputo, además este disminuye los valores de las funciones objetivos y sus porcentajes gap son inferiores.

Por su parte, el parámetro MIP Focus, al asignar un valor de 2, este no presenta variaciones significativas en los resultados, demostrando así no contribuir a encontrar soluciones óptimas para este caso.

PALABRAS CLAVES: Vehículos eléctricos, Estaciones de Recarga, Localización de Estaciones de Recarga y Recarga Parcial de Baterías.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TEMA.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. ORIGEN DEL TEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5. ALCANCES O ÁMBITO DE ESTUDIO.....	4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	6
2.1. TSP.....	6
2.2. VRP.....	6
2.3. E-VRP.....	7
2.4. ELRP.....	7
2.5. RECARGA PARCIAL.....	8
2.6. VENTANAS DE TIEMPO.....	8
2.7. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	9
CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3.1. MODELO MATEMÁTICO.....	13
3.1.1. CONJUNTOS.....	14
3.1.2. PARÁMETROS.....	15
3.1.3. VARIABLES DE DECISIÓN.....	16
3.1.4. FUNCIÓN OBJETIVO.....	16
3.1.5. RESTRICCIONES.....	16
3.1.6. DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.....	17
CAPÍTULO 4: EXPERIMENTOS COMPUTACIONALES.....	20

4.1.	EXPERIMENTO 1	22
4.2.	EXPERIMENTO 2.....	24
4.3.	EXPERIMENTO 3.....	26
4.4.	EXPERIMENTO 4.....	29
4.5.	DISCUSIÓN.....	32
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....		34
BIBLIOGRAFÍA.....		35
ANEXOS.....		38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Ejemplo de un problema del vendedor viajero.....	6
Figura 2.2:	Ejemplo de solución para el ELRP	8

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1:	Descripción de la instancia "c101C5".	21
Tabla 4.2:	Descripción de la instancia "c101C5".	21
Tabla 4.3:	Resultados experimento 1.....	23
Tabla 4.4:	Resultados experimento 2.....	26
Tabla 4.5:	Resultados experimento 3.....	29
Tabla 4.6:	Resultados Experimento 4.	31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A:	Resultados para Z1 con MF0 y nS2.....	38
Anexo B:	Resultados para Z1 con MF2 y nS2.....	38
Anexo C:	Resultados para Z2 con MF0 y nS2.....	39
Anexo D:	Resultados para Z2 con MF2 y nS2.....	40
Anexo E:	Resultados para Z3 con MF0 y nS2.....	40
Anexo F:	Resultados para Z3 con MF2 y nS2.	41
Anexo G:	Resultados para Z4 – 0.25 con MF0 y nS2	42
Anexo H:	Resultados para Z4 – 0.25 con MF2 y nS2.....	43
Anexo I:	Resultados para Z4 – 0.5 con MF0 y nS2	43

Anexo J: Resultados para Z4 – 0.5 con MF2 y nS2.	44
Anexo K: Resultados para Z4 – 0.75 con MF0 y nS2.	45
Anexo L: Resultados para Z4 – 0.75 con MF2 y nS2	45
Anexo M: Resultados para Z5 con MF0 y nS2	46
Anexo N: Resultados para Z5 con MF2 y nS2.....	47
Anexo O: Resultados para Z1 con MF0 y nS1.	48
Anexo P: Resultados para Z2 con MF0 y nS1.....	48
Anexo Q: Resultados para Z3 con MF0 y nS1.	49
Anexo R: Resultados para Z4 – 0.25 con MF0 y nS1.....	50
Anexo S: Resultados para Z4 – 0.5 con MF0 y nS1.....	51
Anexo T: Resultados para Z4 – 0.75 con MF0 y nS1.	51
Anexo U: Resultados para Z5 con MF0 y nS1.....	52

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TEMA

En este capítulo se abordan los elementos generales del proyecto de investigación, como introducción, origen del tema, justificación, objetivo general y específicos, y alcances o ámbito del estudio.

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación, se desarrolla en el marco de importancia de los vehículos eléctricos en la actualidad, y como las empresas de transporte buscan medios que les permitan ayudar a reducir la contaminación ambiental en la entrega de mercancías, implementando cada vez más en sus operaciones los vehículos eléctricos.

Los vehículos eléctricos tienen varias ventajas por sobre los vehículos a combustión interna. Primero, son uno de los medios de transporte más limpio, ya que tienen cero emisiones tóxicas durante su funcionamiento. Además, sus costos de uso y mantenimiento son inferiores, ya que la electricidad es más económica y estos cuentan con menos piezas que un auto convencional. También, los motores eléctricos son silenciosos, ayudando a disminuir la contaminación acústica.

Dado lo anterior, es que ha surgido el interés de la investigación sobre el uso de vehículos eléctricos. Donde en los últimos años se han formulado diferentes modelos matemáticos, para dar respuesta al problema del ruteo de vehículos eléctricos, en la entrega de productos/mercancías. Junto con el cual se encuentra el problema de ruteo de localización eléctrica, en donde de manera simultánea se busca resolver dos desafíos importantes, determinar la cantidad óptima de estaciones de recarga localizadas y la cantidad de vehículos a utilizar. Además, estos dos componentes son interdependientes, porque las decisiones de ruta para los vehículos dependen de la carga inicial del vehículo, mientras que las decisiones de localización de las estaciones, se basan en la demanda de recargar los vehículos para terminar sus rutas. De la misma manera, es importante añadir mayor realidad al problema, como los rangos de tiempo en que los clientes pueden o deseen recibir la mercancía. Y también, la recarga parcial de las baterías, recargando lo suficiente para satisfacer la demanda de todos los clientes.

En el presente, se expone el problema de ruteo de localización eléctrica considerando las ventanas de tiempo y la recarga parcial de las baterías. Para resolver el problema, se propone un modelo matemático de programación entera mixta utilizando instancias adaptadas de la literatura. Donde, es importante que esta formulación permita resolver el problema y a la vez sea capaz de presentar los indicadores que afectan en el proceso de resolución. Es muy beneficioso conocer aquellas configuraciones que permitan reducir el tiempo requerido para tomar las decisiones en las empresas de transporte.

El proyecto de investigación está estructurado de la siguiente manera: en el capítulo 1 se ofrecen las generalidades del tema de investigación para el proyecto. En el capítulo 2 se presenta una descripción general de los principales términos utilizados, y una revisión bibliográfica del tema en estudio. El capítulo 3, presenta y explica el problema de ruteo de localización eléctrica con ventanas de tiempo y recarga parcial. Luego, en el capítulo 4 se describen los experimentos computacionales, y se muestran y analizan los resultados. Por último, en el capítulo 5 se concluye el proyecto y se presentan futuras investigaciones.

1.2. ORIGEN DEL TEMA

El tema de investigación surge en conversación con el Dr. Rodrigo Linfati, quien propone la opción de trabajar en la línea de investigación de ruteo de vehículos a la que se dedica, en este caso específicamente a problemas de vehículos eléctricos, que se resuelven con modelos matemáticos, con el fin de desarrollar la memoria de título de Ingeniería Civil Industrial, y posteriormente darle continuidad en el Magíster en Ingeniería Industrial.

Esta actividad de graduación ha contado con el apoyo parcial de UBIOBIO 2260222 IF/R, UBIOBIO GI 2380142 y ANID FONDECYT Regular 1230125.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Por los diversos beneficios que tienen los vehículos eléctricos es que las empresas han decidido incorporar estos a sus operaciones. Ayudando a reducir costos y siendo amigables con el medioambiente con una movilidad sostenible. Dejando

atrás el transporte convencional por su contaminación, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. “Un autobús eléctrico reduce entre un 19% y un 35% las emisiones de CO_2 durante su ciclo de vida en comparación con un autobús diésel, en todas las condiciones de carretera y de vehículo”. (Zhou, y otros, 2015)

A diferencia de los vehículos de combustión interna, el principal problema de los vehículos eléctricos es la capacidad de las baterías, lo que requiere de parte de las empresas de transporte, una exigente planificación de la logística de rutas a recorrer. “Por tanto, un sistema de carga bien planificado es crucial para el buen funcionamiento de los BEB urbanos. En la actualidad, existen tres métodos para remediar la limitación de corto alcance: el intercambio de baterías, la carga inalámbrica basada en carriles y la carga basada en estaciones”. (An, Battery electric bus infrastructure planning under demand uncertainty, 2020)

El método de carga parcial en estaciones, podría ser rápida o lenta dependiendo del tipo de cargador, estando en la obligación de detenerse en el horario en que debería estar operando. Existen cargadores rápidos y los tradicionales que son lentos. “Un cargador modular que puede cargar simultáneamente hasta cuatro vehículos con distribución dinámica de la energía, es capaz de cargar completamente cualquier auto eléctrico en 15 minutos o menos”. (ABB, 2021)

Además, existen variantes del ruteo de vehículo tradicional, como lo son las ventanas de tiempo, que representan los horarios en que se puede visitar a clientes con un rango de tiempo en que estará disponible. “El Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW) es la extensión del CVRP donde el servicio a cada cliente debe comenzar dentro de una ventana de tiempo asociada y el vehículo debe permanecer en la ubicación del cliente durante el servicio. Las ventanas de tiempo suaves pueden violarse con un coste, mientras que las ventanas de tiempo duras no permiten que un vehículo llegue a un cliente después de la hora límite para iniciar el servicio. En este último caso, si llega antes de que el cliente esté listo para iniciar el servicio, espera”. (Cordeau, Desaulniers, Desrosiers, Solomon, & Soumis, 2000)

Con lo anterior, bajo ciertas instancias y limitaciones, es que se buscará realizar un modelo matemático del problema de ruteo de localización eléctrica, donde se evalúe la tecnología de recarga parcial con ventanas de tiempo.

1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Formular un modelo matemático de programación entera mixta del ruteo de localización eléctrica considerando la tecnología de recarga parcial con ventanas de tiempo, evaluando su desempeño mediante indicadores de investigación de operaciones.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica referente al problema del ruteo de localización eléctrica, sus variantes respecto a la recarga parcial de las baterías y las ventanas de tiempo.
- Utilizar instancias adaptadas de la literatura que permitan la recarga parcial de las baterías con ventanas de tiempo.
- Implementar un modelo matemático que considere la tecnología de recarga parcial de las baterías con ventanas de tiempo.
- Evaluar el modelo matemático a través de diferentes indicadores, como porcentaje *gap*, tiempo de cómputo, valor de la función objetivo, cantidad de soluciones óptimas y tiempo por cada nodo recorrido.

1.5. ALCANCES O ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente estudio se limita a analizar de manera teórica el problema de enrutamiento de localización eléctrica, aplicado en ciudades hipotéticas donde hayan estaciones de recarga parcial, para lo cual se consideran artículos en la literatura que hacen referencia a la recarga parcial.

El enfoque va dirigido hacia la búsqueda de una solución al problema de utilizar la tecnología de recarga parcial con ventanas de tiempo para los clientes, basado en un modelo matemático. Los cuales se entienden como representaciones de la realidad que permiten explicar lo que pasaría si es que se implementan.

En esta investigación se omite trabajar con los costos asociados a la implementación que requieren las estaciones de recarga.

Es importante mencionar, que en futuras investigaciones sería ideal trabajar con heurísticas y metaheurísticas, para disminuir los tiempos de cómputo de las ejecuciones.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

En el siguiente apartado se introduce el término de ruteo de vehículos eléctricos y como este se relaciona con el problema de ruteo de localización eléctrica, además se presentan las variantes a trabajar, tales como las ventanas de tiempo y la recarga parcial de las baterías. Luego, se realiza una revisión bibliográfica, descubriendo los artículos que abordan temas relacionados al presente proyecto de título.

2.1. TSP

El problema del vendedor viajero más conocido por sus siglas en inglés “TSP” (Traveling Salesman Problem), consiste en establecer la ruta óptima para un vendedor que debe visitar un conjunto de clientes. Moon et al. (2001) mencionan que el problema del vendedor viajero (TSP) es un ejemplo típico de problema de optimización combinatoria muy difícil. El problema consiste en encontrar el recorrido más corto que pase por cada vértice de un grafo exactamente una vez. En la figura 2.1, se muestra el recorrido que debe realizar para una instancia del problema, donde los vértices azules son los clientes.

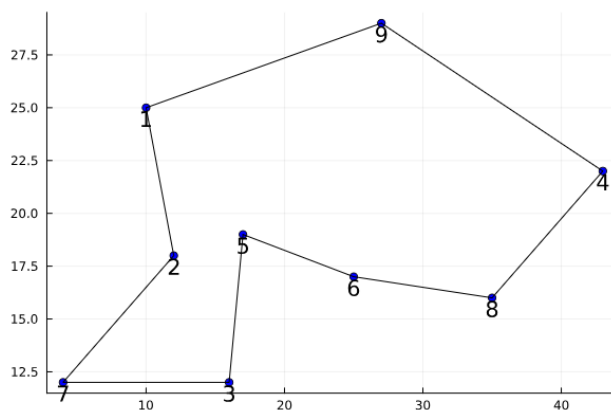


Figura 2.1: Ejemplo de un problema del vendedor viajero

2.2. VRP

El problema de ruteo de vehículos más conocido por sus siglas en inglés “VRP” (Vehicle Routing Problem), busca determinar la mejor manera de asignar una serie de vehículos a un conjunto de clientes/destinos, con el objetivo de minimizar costos o cumplir con ciertos criterios de optimización. Dewi y Santoso (2018), establecen que el propósito del VRP es satisfacer las necesidades de cada cliente con un costo

mínimo. El costo es proporcional a la distancia total recorrida por todos los vehículos, por lo que el VRP determina la distancia más corta.

2.3. E-VRP

Del problema de ruteo de vehículos, se desprende el ruteo de vehículos eléctricos más conocido por sus siglas en inglés “E - VRP” (Electric Vehicle Routing Problem), este tiene el mismo propósito del VRP, pero se le añaden las restricciones de batería para alcanzar a terminar la ruta. Kucukoglu et al. (2021) menciona que el problema de ruteo de vehículos eléctricos es una extensión del problema tradicional de ruteo de vehículos que trata específicamente de encontrar rutas óptimas para vehículos eléctricos, teniendo en cuenta las limitaciones de batería y las operaciones de recarga.

2.4. ELRP

El problema de ruteo de localización eléctrica más conocido por sus siglas en inglés “ELRP” (Electric Location Routing Problem), considera la necesidad de decidir la ubicación de las estaciones de recarga al entregar un servicio de reparto con vehículos eléctricos. En el ELRP se tiene un único depósito, un conjunto de clientes con demandas determinadas, conjunto de vehículos y un conjunto de ubicaciones candidatas para construir estaciones de recarga. Según Qin et al. (2021) el objetivo de este problema es determinar las ubicaciones de las estaciones de recarga y las rutas de todos los vehículos eléctricos, minimizando el costo total y satisfaciendo todas las demandas de los clientes. En la figura 2.2 se puede ver como las estaciones de recarga candidatas 13, 14 y 15 no fueron localizadas, para una instancia del ELRP.

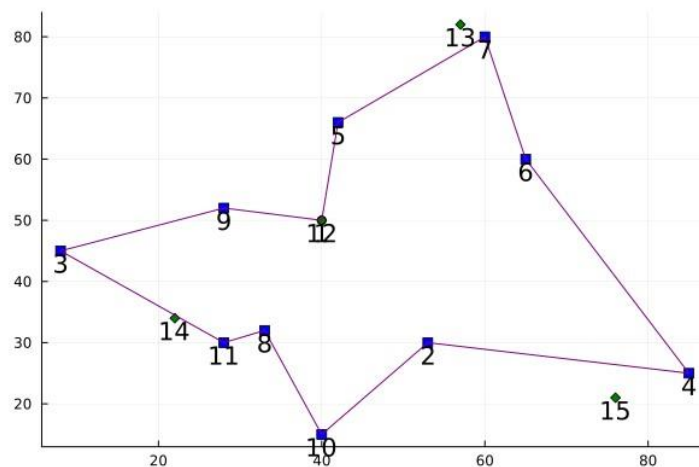


Figura 2.2: Ejemplo de solución para el ELRP

2.5. RECARGA PARCIAL

En el problema de ruteo de vehículos eléctricos, la gestión de la carga de las baterías se convierte en un factor crítico. Es por esto, que considerar recargas parciales es esencial para garantizar que los vehículos eléctricos tengan suficiente energía para terminar sus rutas, especialmente en los casos que la autonomía de la batería es limitada. Erdelić y Carić (2019) hacen referencia que en aplicaciones de la vida real se deben tener en cuenta las recargas parciales. Por lo tanto, la batería debe cargarse lo suficiente para completar toda la ruta o para superar el temor de que la autonomía del vehículo no sea suficiente para realizar las tareas asignadas, conocido como la ansiedad por la autonomía.

2.6. VENTANAS DE TIEMPO

Las ventanas de tiempo son restricciones temporales asociadas a las ubicaciones de los clientes. Estas restricciones indican el intervalo de tiempo durante el cual un vehículo puede llegar a un cliente o realizar una tarea específica, como la recarga de combustible. Cordeau et al. (2000) menciona que existen ventanas de tiempo suaves que pueden violarse con un costo, mientras que también existen las ventanas de tiempo duras que no permiten que un vehículo llegue a un cliente después de la hora límite.

2.7. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En el problema de ruteo de vehículos eléctricos, uno de los principales desafíos es ampliar el problema clásico de generación de rutas para los vehículos, por un objetivo más completo y que sea cada vez más realista. **Erdogan y Miller-Hooks (2012)** son los primeros en plantear el problema de ruteo de vehículos verdes, donde el objetivo era minimizar la distancia total recorrida, considerando el alcance limitado del vehículo y la infraestructura de abastecimiento de combustible alternativo limitado.

Posteriormente, **Artmeier A. et al. (2010)** propone el problema de ruteo vehículos eléctricos de la ruta más económica, minimizando la energía utilizada en lugar de la distancia recorrida. **Barco et al. (2013)** amplían la propuesta de **Artmeier A. et al. (2010)** al considerar la programación para recargar los vehículos en rutas conocidas, teniendo en cuenta la autonomía y los efectos de degradación de las baterías. Sobre esta base, **Schneider et al. (2014)** añade al problema de ruteo de vehículos eléctricos las ventanas de tiempo con opciones de recarga en las rutas, priorizando minimizar el número de los vehículos y en segundo lugar la distancia total recorrida. **Goeke y Schneider (2015)** integra al problema de ruteo de vehículos eléctricos con ventanas de tiempo, la utilización de flota mixta de vehículos, se utiliza un modelo de consumo de energía realista que incorpora velocidad, pendiente y distribución de carga, determinando así la autonomía máxima de conducción. Por su parte, **Bruglieri et al. (2015a; 2015b)** propone otros métodos de solución para el problema de ruteo de vehículos eléctricos con ventanas de tiempo basados en una metaheurística y una ramificación de búsqueda de vecindario variable. **Lin et al. (2021)** propone un aprendizaje por refuerzo profundo para el problema de ruteo de vehículos eléctricos con ventanas de tiempo.

Por otro lado **Felipe et al. (2014)** presenta el problema de ruteo de vehículos verdes con recargas parciales y múltiples tecnologías, es decir, carga media (barata), rápida (ligeramente cara) y ultra rápida (más cara), además determina la cantidad de energía recargada. **Desaulniers et al. (2016)** propone cuatro variantes: (i) máximo una recarga completa por ruta, (ii) múltiples recargas completas por ruta,

(iii) máximo una recarga parcial por ruta y (iv) múltiples recargas parciales por ruta, para cada variante el enfoque se centra en la reducción de precio y corte de sucursales. Así también **Keskin y Çatay (2016)** presentan una búsqueda adaptativa de vecindarios grandes para el problema de ruteo de vehículos eléctricos con ventanas de tiempo y recarga parcial. **Gatica et al. (2018)** presentaron algoritmos heurísticos para la ubicación de estaciones de recarga en el problema de ruteo de vehículos. **Cataldo et al. (2022)** desarrolla el problema de ruteo de vehículos eléctricos considerando el estado de las baterías, propone 4 modelos (i) permite recarga completa, (ii) permite recargas parciales, (iii) recarga parcial y limita la descarga profunda y (iv) recarga parcial e incorpora una limitación de sobrecarga y limita la descarga profunda. **Cataldo et al. (2023)** incorpora las ventanas de tiempo considerando la linealidad y no linealidad del proceso de recarga, propone 2 modelos (i) supone un proceso de carga lineal y (ii) evalúa el impacto generado al incluir la no linealidad en el proceso de recarga de la batería.

En cuanto a los problemas de ruteo de localización eléctrica se tiene, **Yang y Sun (2015)** quienes buscan determinar la ubicación de estaciones de intercambio de baterías y la ruta de una flota de vehículos eléctricos junto a su limitación de batería, aplicando una heurística de cuatro fases SIGALNS y una heurística de ahorro Clarke and Wright modificada por Búsqueda Tabú. **Hof et al. (2017)** amplían el método de solución utilizando un algoritmo de búsqueda de vecindario variable adaptativo AVNS, donde minimizan la suma del costo total de la construcción. **Schiffer y Walther (2017)** desarrolla diversas funciones objetivos con ventanas de tiempo y recarga parcial. **Zhang et al. (2019)** proponen un nuevo problema de ruteo de localización eléctrica presentando un problema de localización para estaciones de intercambio de baterías de vehículos eléctricos con demandas estocásticas, minimizando el costo de ubicar las estaciones de intercambio de baterías con un plan de ruta para los vehículos basado en las demandas estocásticas de los clientes, aplicando un algoritmo híbrido de búsqueda de vecindario variable (HVNS). **Koç et al. (2019)** introducen el problema de ruteo de vehículos eléctricos con estaciones de carga compartidas considerando una función de carga no lineal, con el objetivo de decidir la ubicación y tecnología de las estaciones de carga y construir rutas para

cada empresa, utilizando una heurística multistart que realiza una búsqueda adaptativa de grandes vecindades. **Çalik et al. (2021)** se centra en un problema que requiere la localización de estaciones de recarga y el ruteo de vehículos eléctricos con una flota heterogénea con capacidad limitada donde trabajan con un algoritmo eficiente de descomposición de Benders. **Yang et al. (2022)** presenta un problema integrado de ruteo de localización de estaciones de recarga de vehículos logísticos eléctricos con estrategias mixtas de retorno y recarga, aplicando un método híbrido de relajación lagrangiana y dirección alterna de multiplicadores.

Por la revisión de la literatura, se detecta la ausencia de una investigación donde aborden distintas variaciones que inciden en el desempeño del problema de ruteo de localización eléctrica considerando la recarga parcial y el intercambio de baterías.

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se plantea el modelo matemático para el Problema de Ruteo de Localización Eléctrica (ELRP), considerando restricciones de recarga parcial y ventanas de tiempo. Luego, se declaran los diferentes experimentos realizados para probar las variaciones que influyen en el modelo.

El problema de ruteo de localización eléctrica considerando las ventanas de tiempo y recarga parcial, conlleva trabajar con un conjunto de clientes distribuidos en un mapa de coordenadas, donde cada cliente espera ser satisfecho con una demanda particular, como también este establece un rango horario en el que puede ser visitado por el vehículo para la entrega de mercancía. Aquellos vehículos que lleguen antes de la hora estipulada, deben esperar a que el cliente esté disponible, estos no pueden llegar antes de la cota inferior ni tampoco después de la cota superior de tiempo. Las rutas son realizadas por una flota homogénea de vehículos eléctricos, con la misma capacidad de mercancía y con la misma capacidad de batería. Cada vehículo requiere de una cantidad de energía superior a la distancia que debe recorrer, su consumo es proporcional a la distancia, estos pueden asistir a las estaciones de carga las veces que sea necesario para poder terminar su ruta y satisfacer a todos los clientes. De la misma manera, el tiempo que se demora la recarga de las baterías de los vehículos es proporcional a la cantidad de energía cargada en cada uno de ellos.

Se establecen 5 funciones objetivos, donde:

- i. Determina la distancia total recorrida en la ruta por los vehículos.
- ii. Calcula la cantidad total de vehículos a utilizar, los cuales salen del depósito inicial a un cliente j .
- iii. Calcula el número total de estaciones de recarga localizadas en los vértices.
- iv. Pondera la cantidad de vehículos a utilizar y la cantidad de estaciones de recarga a localizar, estableciendo un parámetro " β ", que le da una importancia relativa a la primera componente (que son la cantidad de vehículos) mientras a la misma vez pondera la importancia relativa de la segunda componente (que

son la cantidad de estaciones de recarga). Cada valor de β está respaldado por los autores Schiffer y Walther (2017).

- v. Determina el costo total que está compuesto de tres partes, costos asociados a la cantidad de vehículos que se utilizan, costos operacionales de recorrer las distancias totales de cada ruta y los costos que implican localizar una estación de recarga. Es importante recalcar que cada costo está fundamentado por los autores Schiffer y Walther (2017).

Estas funciones objetivos se desarrollarán de manera independiente pero utilizando los mismos conjuntos, parámetros, variables de decisión y restricciones.

3.1. MODELO MATEMÁTICO

Para plantear el Problema de Ruteo de Localización Eléctrica, se debe trabajar con un modelo de programación entera mixta (Mixed Integer Programming, "MIP"), que permita evaluar el impacto de las 5 funciones objetivos.

La notación utilizada para la formulación de nuestro problema de enteros mixtos en el ELRP-TWPR, se define en un grafo dirigido y completo $G = (V_{1,n+2}, A)$, con un conjunto de todos los vértices $V_{1,n+2}$ y un conjunto de arcos $(i, j) \in A$. El conjunto de todos los vértices $V_{1,n+2}$ se puede dividir en varios subconjuntos: Sea C un conjunto de vértices que representan a los clientes y R un conjunto de vértices de estaciones de recarga. Puesto que usamos un conjunto de vértices ficticios o duplicados para permitir múltiples visitas a las estaciones de carga, S_k denota un conjunto de todos los nodos ficticios para el nodo $k \in \{C \cup R\}$. Además, S indica un conjunto de todos los vértices ficticios como la unión de todos los S_k . Sea V la unión de C , R y S . El nodo del depósito para los vehículos que salen está dado por 1 y el nodo del depósito para los vehículos que llegan que es el mismo depósito del primer nodo, está dado por $n + 2$, es decir, existe un único depósito. Con estas notaciones, V_1 , V_{n+2} , y $V_{1,n+2}$ están dadas por $V \cup \{1\}$, $V \cup \{n + 2\}$, $V \cup \{1, n + 2\}$, respectivamente. Para cada arco (i, j) existe una distancia d_{ij} entre el nodo i y el nodo j , la cual es una distancia euclidiana. El tiempo de conducción para cada arco (i, j) se calcula usando una velocidad media de v , $t_{ij} = \frac{d_{ij}}{v}$. Para cada vértice $i \in V_{1,n+2}$ existe un

tiempo de servicio s_i , también se expresa un parámetro e_i para indicar la hora de llegada mas temprana permitida y un parámetro l_i para indicar la última hora permitida para que el vehículo llegue al cliente. La demanda de cada cliente en cada nodo está dada por p_i . Para los vértices $i \notin C$, el p_i y el s_i son ceros, ya que no existe una demanda y un tiempo de servicio para los nodos ficticios ni para las estaciones de recarga. Para cada vehículo se considera una capacidad de carga de mercancías F y una capacidad de batería Q . El tiempo de recarga w_i resulta de la cantidad de energía cargada en el vertice i , y se considera una tasa de recarga r . La energía consumida se describe como una relajación lineal entre d_{ij} y la tasa de consumo σ . La variable binaria de decisión x_{ij} indica si se recorre el arco (i, j) . Si se recorre el arco (i, j) , se cumple que $x_{ij} = 1$. De lo contrario, si no se recorre el arco (i, j) , se cumple que $x_{ij} = 0$. No se modela de forma explícita el vehículo utilizado para reducir la cantidad de variables. Dado que no se permite que los nodos tengan más de un arco de entrada y uno de salida, las rutas y el número de vehículos utilizados, se pueden estimar después de resolver en función de la solución. Por ejemplo, la cantidad de vehículos se puede calcular utilizando la información de los arcos que salen del nodo inicial 1. Mientras que x_{ij} es una variable binaria relacionada con la decisión de enrutamiento, y_i es una variable binaria que representa las decisiones de localización e indica si una estación se ubica en el nodo i . De la misma manera, si una estación de recarga se localiza en el nodo i , se cumple que $y_i = 1$, de lo contrario si no se localiza una estación en el nodo, se cumple que $y_i = 0$. El tiempo de llegada al nodo i viene dado por τ_i . Asimismo, la carga de la batería y la carga de mercancía que llega al nodo i están dadas por q_i y f_i . El número de estaciones de recarga está limitado por O^{UB} . Y por su parte, N^{UB} proporciona un límite máximo para el número de vehículos que se pueden utilizar.

A continuación, se desarrolla el modelo matemático:

3.1.1. CONJUNTOS

Para el modelo planteado se describen los siguientes conjuntos:

- C = Conjunto de clientes
- C_1 = Conjunto de clientes incluyendo el nodo depósito 1
- R = Conjunto de estaciones de recarga
- S_k = Conjunto de nodos ficticios para el vértice $k \in \{C \cup R\}$
- S = Conjunto de todos los vértices ficticios $\cup_{k \in \{C \cup R\}} S_k$
- V = Conjunto de todos los vértices sin incluir los nodos de depósito ($C \cup R \cup S$)
- V_1 = Conjunto de todos los vértices incluyendo el nodo 1 de depósito
- V_{n+2} = Conjunto de todos los vértices incluyendo el nodo $n+2$ de depósito
- $V_{1,n+2}$ = Conjunto de todos los vértices incluyendo los nodos de depósito
- $V \setminus C$ = Conjunto de todos los vértices sin incluir los clientes y los nodos de depósito
- $V \setminus S$ = Conjunto de todos los vértices sin incluir los nodos ficticios y nodos de depósito

3.1.2. PARÁMETROS

Se describen los siguientes parámetros para el problema:

- p_i = Demanda de los clientes
- s_i = Tiempo de servicio en los clientes
- e_i = Ventana o cota inferior de tiempo en el nodo i
- l_i = Ventana o cota superior de tiempo en el nodo i
- d_{ij} = Distancia euclidiana entre los vértices i y j
- t_{ij} = Tiempo de viaje entre los vértices i y j
- τ_i = Hora de llegada al vértice i
- w_i = Energía cargada en el vértice i
- q_i = Carga de la batería en el vértice i
- f_i = Carga de la mercancía en el vértice i
- r = Tasa de recarga
- o = Tasa de Consumo
- Q = Capacidad de la batería

- F = Capacidad de mercancía
- v = Velocidad del vehículo
- O^{UB} = Número máximo de estaciones de recarga
- N^{UB} = Número máximo de vehículos a utilizar
- nS = Cantidad de repeticiones de cada nodo cliente y estación de recarga.
- nC = Cantidad de clientes en una instancia.
- nR = Cantidad de posibles estaciones de recarga a localizar en una instancia.

3.1.3. VARIABLES DE DECISIÓN

Las variables de decisión para el problema son las siguientes:

- x_{ij} = Variable binaria que toma el valor 1 en caso de recorrer el arco (i, j) . 0 en otro caso.
- y_i = Variable binaria que toma el valor 1 en caso de localizar una estación de recarga en el vértice i . 0 en otro caso.

3.1.4. FUNCIÓN OBJETIVO

Como se mencionó anteriormente, se evaluarán 5 funciones objetivos de manera independiente. Las funciones objetivos son:

$$\text{Min } Z1 = \sum_{i \in V_1, j \in V_{n+2}} d_{ij} x_{ij} \quad (5.1)$$

$$\text{Min } Z2 = \sum_{j \in V_{n+2}} x_{1j} \quad (5.2)$$

$$\text{Min } Z3 = \sum_{i \in V} y_i \quad (5.3)$$

$$\text{Min } Z4 = (1 - \beta) * Z2 + \beta * Z3 \quad (5.4)$$

$$\text{Min } Z5 = (C^d * Z1) + (C^v * Z2) + (C^s * Z3) \quad (5.5)$$

3.1.5. RESTRICCIONES

$$\sum_{j \in V_{n+2}, i \neq j} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in C \quad (5.6)$$

$$\sum_{j \in V_{n+2}, i \neq j} x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in \{V \setminus C\} \quad (5.7)$$

$$\sum_{i \in V_{n+2}, i \neq j} x_{ji} - \sum_{i \in V_1, i \neq j} x_{ij} = 0 \quad \forall j \in V \quad (5.8)$$

$$\tau_j \geq \tau_i + (t_{ij} + s_i)x_{ij} - l_1(1 - x_{ij}) \quad \forall i \in C_1, \forall j \in V_{n+2}, i \neq j \quad (5.9)$$

$$\tau_j \geq \tau_i + t_{ij}x_{ij} + rw_i - (l_1 + rQ)(1 - x_{ij}) \quad \forall i \in V, \forall j \in V_{n+2}, i \neq j \quad (5.10)$$

$$e_i \leq \tau_i \leq l_i \quad \forall i \in V_{1,n+2} \quad (5.11)$$

$$w_i \leq Qy_i \quad \forall i \in V \quad (5.12)$$

$$y_i \leq w_i \quad \forall i \in S \quad (5.13)$$

$$\sum_{i \in V \setminus S} y_i \leq O^{UB} \quad (5.14)$$

$$y_i \geq Y_{(i+k(nc+nR))} \quad \forall i \in \{V \setminus S\}, \forall k \in 1:nS \quad (5.15)$$

$$f_j \leq f_1 - p_i x_{ij} + F(1 - x_{ij}) \quad \forall i \in V_1, \forall j \in V_{n+2}, i \neq j \quad (5.16)$$

$$f_1 \leq F \quad (5.17)$$

$$q_j \leq q_1 - od_{1j}x_{1j} + Q(1 - x_{1j}) \quad \forall j \in V_{n+2} \quad (5.18)$$

$$q_j \leq q_i + w_i - od_{ij}x_{ij} + Q(1 - x_{ij}) \quad \forall i \in V, \forall j \in V_{n+2}, i \neq j \quad (5.19)$$

$$q_1 \leq Q \quad (5.20)$$

$$q_i + w_i \leq Q \quad \forall i \in V \quad (5.21)$$

$$\sum_{j \in V_{n+2}} x_{1j} \leq N^{UB} \quad (5.22)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V_1, \forall j \in V_{n+2} \quad (5.23)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in V \quad (5.24)$$

$$w_i, \tau_i, q_i, f_i \geq 0 \quad \forall i \in V_{1,n+2} \quad (5.25)$$

3.1.6. DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

En primer lugar, las funciones objetivos buscan (5.1) minimizar la distancia total en los arcos donde la variable x_{ij} sea 1, para todos los vértices incluyendo el depósito 1 y $n+2$. La (5.2) minimizar la cantidad de vehículos que salen del depósito a un cliente j . La (5.3) minimizar la cantidad de estaciones de recarga a localizar para todos los nodos. La (5.4) intenta minimizar de manera conjunta la cantidad de

vehículos a utilizar y la cantidad de estaciones de recarga a localizar, mediante un factor de ponderación que le da una importancia relativa a cada objetivo, ya sea disminuir la cantidad de vehículos o la cantidad de estaciones de recarga. La (5.5) minimizar un costo total que está compuesto de tres componentes que son el costo de inversión por vehículo, costos operativos en función de la distancia recorrida y costos de inversión por estación de recarga, se proporcionan factores de costo específicos C^v , C^d y C^s . Sujeto a, las restricciones comunes del problema de ruteo de vehículos dadas por (5.6 – 5.8). La restricción (5.6) asegura la conexión de los clientes, permitiendo que salga solamente un arco hacia otro nodo, además implica que cada cliente sea atendido. La restricción (5.7) garantiza en las estaciones de recarga un arco de salida hacia otro nodo cliente o depósito. La restricción (5.8) asegura el balance de arcos entrantes y salientes en cada vértice. De la (5.9 – 5.11) son restricciones de tiempo. La (5.9) denota que el tiempo de llegada al nodo j debe ser mayor al tiempo de llegada al nodo i más el tiempo de conducción y el tiempo de servicio en el nodo i (en caso de que se recorra el arco i, j) menos la cota superior del depósito (en caso de que no se recorra el arco i, j). La restricción (5.10) asegura los tiempos de la ruta incorporando la cantidad de batería cargada en las estaciones. La restricción (5.11) asegura que el tiempo de llegada al nodo i este dentro del rango de tiempo en el que puede asistir, limitado por la cota inferior y superior. A su vez las restricciones de la (5.12) a la (5.15) son de localización de las estaciones de recarga. La restricción (5.12) establece que la cantidad de energía cargada en el nodo i es menor a la capacidad máxima de la batería, solo se puede cargar energía si hay una estación localizada allí. La restricción (5.13) asegura que se localice una estación de recarga solamente si se necesita recargar el vehículo. La restricción (5.14) limita el número máximo de estaciones de recarga que se pueden localizar en la ruta. La restricción (5.15) define que si se localiza una estación de recarga en el nodo i , se localice una estación en el nodo ficticio asociado. Las restricciones de mercancía están dadas por (5.16 – 5.17), y a la misma vez se encargan de la eliminación de subtour. La restricción (5.16) se ocupa de que la cantidad de mercancía en el nodo j sea menor a la cantidad con la que salió del depósito, menos la demanda en el cliente i (si es que se recorre el arco i, j), más la capacidad de

mercancía del vehículo (en caso de que no se recorra el arco). Por su parte, la restricción (5.17) determina que la cantidad de mercancía cargada en el depósito sea menor a la capacidad máxima del vehículo. Las restricciones de energía están definidas por (5.18 – 5.21). La restricción (5.18) restringe que la cantidad de energía en el nodo j será menor a la carga de la batería en el depósito menos la tasa de consumo por la distancia recorrida. La restricción (5.19) evita que la batería se agote antes de llegar al nodo j , ya que incorpora la cantidad de energía cargada en i . La restricción (5.20) asegura que la carga de la batería en el depósito sea menor que la capacidad máxima de la batería. La restricción (5.21) garantiza que las recargas de batería no superen la capacidad máxima. El número de vehículos a utilizar se limita restringiendo la capacidad máxima de vehículos a utilizar en (5.22). Por último, las restricciones de variables binarias se establecen en las restricciones (5.23) y (5.24), y las restricciones de no negatividad en la restricción (5.25).

CAPÍTULO 4: EXPERIMENTOS COMPUTACIONALES

En esta sección se definen los experimentos computacionales realizados, identificando el impacto de las diferentes funciones objetivos, considerando la aplicación de diferentes cambios en el modelo, con la finalidad de observar su impacto en los indicadores más importantes, incluso la optimalidad de las soluciones.

El modelo matemático expuesto para el problema de ruteo de localización con ventanas de tiempo y recarga parcial (ELRP-TWPR) fue implementado en lenguaje de programación Julia 1.9.4, mediante el solver comercial Gurobi 10.0.2. Se utilizó un computador con procesador Intel(R) Core(TM) i5-10400F CPU @ 2.90GHz, con Windows 10 Enterprise versión 22H2 de 64 bits y 8GB RAM. Cabe destacar que mientras se ejecutaban los modelos no había ningún otro archivo u aplicación abierto, que estuviera ocupando CPU o memoria.

El límite de tiempo de ejecución para cada instancia fue establecido en una hora, es decir, 3.600 segundos. Se realizaron los experimentos con instancias existentes de la literatura, presentadas por Schneider et al. (2014), quienes amplían las instancias de Solomon (1987), mediante vértices adicionales para estaciones de recarga y restricciones de ventanas de tiempo relajadas, obteniendo las conocidas instancias para flotas de vehículos eléctricos capacitados. Las instancias consideran conjuntos de datos de 5, 10, 15 y 21 clientes. De las cuales, solo se trabajaron con instancias de 5 y 10 clientes, ya que para instancias de más de 10 clientes, los tiempos excedían los 3600 segundos de cómputo y no se encontraban soluciones óptimas.

En el conjunto de datos utilizados, existen 12 instancias de 5 clientes y 12 instancias de 10 clientes. Estas, tienen diferentes estructuras, los nodos son ordenados como tipo aleatorio (R), agrupados en clúster (C) y ordenados de una manera mixta, aleatorios y clúster (RC), trabajando con 4 de cada una de ellas y denotando su tipo al inicio del nombre de la instancia con letras minúsculas “c”, “r” y “rc”. Además, cada instancia tiene un número de clientes (que se encuentra en el número acompañado de cada “C” mayúscula, en los nombres de las instancias) y un número

de estaciones de recarga. El rango de estaciones que se pueden localizar es entre 2 y 5 por instancia.

A modo de ejemplo, la tabla (4.1) muestra la instancia de tipo clúster “c101C5”, la cual contiene 1 nodo depósito, 5 clientes y 3 estaciones de recarga.

Nº	Coordenadas		Tiempo de Servicio	Cantidad de Demanda	Ventana de tiempo		Tipo
	"X"	"Y"	"S"	"P"	Límite Inferior "E"	Límite Superior "L"	"T"
1	40,0	50,0	0,0	0,0	0,0	1236,0	D
2	20,0	55,0	90,0	10,0	355,0	407,0	C
3	25,0	85,0	90,0	20,0	176,0	228,0	C
4	55,0	85,0	90,0	20,0	744,0	798,0	C
5	68,0	60,0	90,0	30,0	737,0	809,0	C
6	48,0	30,0	90,0	10,0	263,0	325,0	C
7	40,0	50,0	0,0	0,0	0,0	1236,0	R
8	31,0	84,0	0,0	0,0	0,0	1236,0	R
9	39,0	26,0	0,0	0,0	0,0	1236,0	R

Tabla 4.1: Descripción de la instancia "c101C5".

Por otro lado, en la tabla (4.2) se muestra como ejemplo los principales parámetros de la instancia “c101C5”:

Q	77,75
F	200
o	1
r	3,47
v	1

Tabla 4.2: Descripción de la instancia "c101C5".

En cada experimento que se realizó se utilizaron las 5 funciones objetivos de manera independiente para ver cómo se comportaban en el modelo. El ajuste de los parámetros para las funciones objetivos Z4 y Z5 son, para el Z4 los valores de β pueden ser 0.25, 0.5 y 0.75, por su parte los costos asociados al Z5 son $C^d = 0.0508$ €/día, $C^v = 53.32$ €/día y $C^s = 2.47$ €/día. Es importante recordar, que estos valores son fundamentados por Schiffer y Walther (2017). En todos los experimentos se trabajó con 5 y 10 clientes, y con estaciones de recarga que varían entre 2 y 5.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los diferentes experimentos que se realizaron, además, se discute como impactaron las diferentes configuraciones en cada función objetivo.

4.1. EXPERIMENTO 1

En el presente experimento, se evalúa cómo se comportan las distintas funciones objetivos para conocer su impacto. Se evalúan mediante indicadores de tiempo promedio de cómputo (Tiempo), promedio de porcentaje *gap* (Gap) y número de soluciones óptimas.

En dicho experimento se consideró la siguiente configuración:

- Cantidad de Repeticiones “nS” igual a 2: La cantidad de repeticiones como su nombre lo dice, son la cantidad de veces que se repetirán los nodos para los clientes y estaciones de recarga. Esto quiere decir que para una instancia de 5 clientes, 1 depósito y 3 estaciones de recarga, los nodos sin incluir el depósito se duplicaran 2 veces, creando nodos ficticios para que los vehículos puedan asistir a las estaciones más de una vez. Es decir, habrán 15 nodos de “clientes”, 9 nodos de “estaciones de recarga”, incluyendo los dos nodos de depósito suma 26 nodos totales para esta instancia.

Los resultados que se visualizan en la tabla 4.3, dan a conocer que, para las funciones Z1 con 10 clientes, Z2, Z3, Z4 y Z5, el tiempo promedio de cómputo es de 3.600 segundos, ocupando el tiempo límite establecido. La única excepción es para la función Z1 con 5 clientes, la cual utiliza un tiempo promedio de 2.645 segundos.

En cuanto al porcentaje *gap* promedio, se encuentra que excepcionalmente la función objetivo 1, para los datos con 10 clientes es menor a un 27% y para las instancias de 5 clientes menor a un 16%. En el caso de la función objetivo Z5, se detecta que brinda un porcentaje de 92% para 5 y 10 clientes.

No se encuentran soluciones óptimas para las funciones Z1 con 10 cliente, Z2, Z3, Z4 y Z5. Solo se encuentran 4 soluciones óptimas en la función objetivo Z1 para 5 clientes, es decir, no encuentra los óptimos para 8 de ellos.

Al resolver el experimento 1, se puede ver que minimizando Z1 (distancia total recorrida) se logra encontrar algunas soluciones óptimas, en cambio, para Z2 (vehículos utilizados) y Z3 (estaciones de recarga localizadas) se logran encontrar soluciones pero es muy complicado verificar la optimalidad dado que la cota inferior es 0. En Z4 y Z5 ocurre el mismo fenómeno, ya que está compuesta de las anteriores.

		5 CLIENTES	10 CLIENTES
Z1	Tiempo	2.644,86	3.600,11
	Gap	0,16	0,27
	N° Opt.	4	0
Z2	Tiempo	3.600,04	3.600,18
	Gap	1,00	1,00
	N° Opt.	0	0
Z3	Tiempo	3.600,03	3.600,03
	Gap	1,00	1,00
	N° Opt.	0	0
Z4 - B:0,25	Tiempo	3.600,03	3.600,07
	Gap	1,00	1,00
	N° Opt.	0	0
Z4 - B:0,5	Tiempo	3.600,03	3.600,06
	Gap	1,00	1,00
	N° Opt.	0	0
Z4 - B:0,75	Tiempo	3.600,03	3.600,05
	Gap	1,00	1,00
	N° Opt.	0	0
Z5	Tiempo	3.600,19	3.600,11
	Gap	0,92	0,92
	N° Opt.	0	0

Tabla 4.3: Resultados experimento 1.

4.2. EXPERIMENTO 2

Como segundo experimento, se consideró la configuración específica de “MIP Focus” de Gurobi que solo afecta a los problemas de programación entera mixta (MIP), como lo es nuestro caso. “MIP Focus” es un parámetro que permite modificar la estrategia de solución de alto nivel, según los objetivos que se planteen. De manera predeterminada esta la opción de utilizar la configuración “MIP Focus 0” la cual logra un equilibrio entre encontrar nuevas soluciones factibles y demostrar que la solución actual es la óptima. Otra configuración utilizada fue la de “MIP Focus 2” donde se cree que el solucionador no tiene problemas para encontrar soluciones de buena calidad y desea centrar más atención en demostrar la optimización. Se intentará evaluar cómo afectan estas configuraciones en los indicadores de valor promedio de la función objetivo (F.O), tiempo promedio de cómputo (Tiempo), promedio de porcentaje *gap* (Gap), número de soluciones óptimas (N° Opt.) y el tiempo promedio por cada nodo (Tiempo/Nodos).

Para el segundo experimento se realizó el siguiente ajuste de configuración:

- MIP Focus 0 (MF0) y MIP Focus 2 (MF2).
- Cantidad de Repeticiones “nS” igual a 2.

Las obtenciones como se muestran en la tabla 4.4, resulta en que el valor de la función objetivo no varía entre el MIP Focus 0 y 2, para las funciones Z1, Z2 con 5 cliente, Z3 con 5 clientes, Z4 con 5 clientes y Z5, sin embargo, se presenta un aumento del valor de la función objetivo promedio utilizando el MIP Focus 2 para las funciones Z2 con 10 clientes, Z3 con 10 clientes y Z4 con 10 clientes.

Se identifica un mejor tiempo de cómputo para la función objetivo Z1 utilizando MIP Focus 0 para 5 clientes. Para el resto de las funciones, presenta la misma cantidad de tiempo promedio, que es 3.600 segundos, siendo este el tiempo límite que puede ocupar por instancia.

Por otro lado, el porcentaje *gap* sufre pequeñas variaciones para la función objetivo Z1 y Z5 con 10 clientes, se visualiza en estas ocasiones que al utilizar MIP Focus 2

el *gap* disminuye. Sin embargo, para el resto de las funciones objetivos, el *gap* es el mismo.

En cuanto al número de soluciones óptimas se descubre que no hay variaciones entre el MIP Focus 0 y el 2. De la misma manera, se puede visualizar que el tiempo promedio por cada nodo es menor para el MIP Focus 0 que para el MIP Focus 2 en todas las funciones.

Dado lo anterior, se observa que el MIP Focus hace un mayor esfuerzo al asignar un valor “2” para probar la optimalidad de las soluciones, sin embargo, mediante el porcentaje promedio de *gap* se muestra que para las funciones Z2, Z3, Z4 y Z5, este no se mueve del 100%.

		MF0 - 5C	MF2 - 5C	MF0 - 10C	MF2 - 10C
Z1	F.O	181,22	181,22	271,22	271,22
	Tiempo	2.644,86	2.676,80	3.600,11	3.600,09
	Gap	0,16	0,15	0,27	0,23
	N° Opt.	4	4	0	0
	(Tiempo/Nodos) * 10.000	3,04	4,22	12,90	15,13
Z2	F.O	1,33	1,33	1,83	1,92
	Tiempo	3.600,04	3.600,32	3.600,18	3.600,12
	Gap	1,00	1,00	1,00	1,00
	N° Opt.	0	0	0	0
	(Tiempo/Nodos) * 10.000	4,16	15,26	16,81	45,76
Z3	F.O	1,75	1,75	1,67	1,83
	Tiempo	3.600,03	3.600,10	3.600,03	3.600,09
	Gap	1,00	1,00	1,00	1,00
	N° Opt.	0	0	0	0
	(Tiempo/Nodos) * 10.000	5,27	18,70	19,46	47,53
Z4 - B:0,25	F.O	1,58	1,58	2,35	2,42
	Tiempo	3.600,03	3.600,17	3.600,07	3.600,11
	Gap	1,00	1,00	1,00	1,00
	N° Opt.	0	0	0	0
	(Tiempo/Nodos) * 10.000	6,79	20,90	23,27	47,61
Z4 - B:0,5	F.O	1,79	1,79	2,63	2,67

	Tiempo	3.600,03	3.600,18	3.600,06	3.600,09
	Gap	1,00	1,00	1,00	1,00
	N° Opt.	0	0	0	0
	(Tiempo/Nodos) * 10.000	6,53	21,92	23,00	46,78
Z4 - B:0,75	F.O	1,77	1,77	2,25	2,31
	Tiempo	3.600,03	3.600,22	3.600,05	3.600,12
	Gap	1,00	1,00	1,00	1,00
	N° Opt.	0	0	0	0
	(Tiempo/Nodos) * 10.000	6,50	23,77	24,25	56,40
Z5	F.O	86,24	86,24	122,17	122,17
	Tiempo	3.600,19	3.600,19	3.600,11	3.600,13
	Gap	0,92	0,92	0,92	0,91
	N° Opt.	0	0	0	0
	(Tiempo/Nodos) * 10.000	6,45	7,11	16,35	17,79

Tabla 4.4: Resultados experimento 2.

4.3. EXPERIMENTO 3

Como tercer experimento se desea dar el enfoque al aspecto de la cantidad de repeticiones que se le hacen a las estaciones de recarga y a los clientes, es decir, cuántos nodos ficticios se deben crear de cada nodo i . Por lo anterior, es que en primer lugar se asigna un valor de 1 a la repetición de los nodos. Es decir, para la instancia “c101C5” que cuenta con 1 depósito, 5 clientes y 3 posibles estaciones de recarga a localizar, se agrega una repetición para los clientes y estaciones, quedando 16 nodos de clientes, clientes ficticios, estaciones de recarga y estaciones de recarga ficticias, agregando los dos nodos de depósito queda en 18 nodos la instancia. En una segunda oportunidad se asigna un valor de 2 a las repeticiones de los nodos. Es decir, para la misma instancia “c101C5”, se agregan 16 nodos ficticios a los 8 nodos sin repeticiones, sumando así 24 nodos de clientes, clientes ficticios, estaciones de recarga y estaciones de recarga ficticias, agregando los nodos de depósito queda en 26 nodos. Se evaluarán la cantidad de repeticiones y cómo afectan a los indicadores de valor promedio de la función objetivo (F.O), tiempo promedio de cómputo (Tiempo), promedio de porcentaje *gap* (Gap), número

de soluciones óptimas (N° Opt.), tiempo promedio por cada nodo (Tiempo/Nodos) y el promedio del número de rutas creadas (N° Rutas).

En el experimento 3 se tiene en consideración lo siguiente:

- MIP Focus 0 (MF0).
- Cantidad de Repeticiones “nS” igual a 1 y 2 (nS1 y nS2).

En los resultados entregados en la tabla 4.5, se reconoce que para nS2 solo se encuentran soluciones óptimas para la función Z1 con 5 clientes, en el resto de las funciones no se encuentran óptimos. En cambio, considerando un nS1 se identifica que para todas las funciones encuentra al menos una solución óptima, específicamente para instancias de 5 clientes. Y para 10 clientes con un nS1 solo encuentra soluciones óptimas para Z1.

El valor promedio de la función objetivo arroja que para la función Z1, Z2 con 5 clientes, Z3 con 5 clientes, Z4 con 5 clientes, y Z5 con 5 clientes el valor de la F.O es el mismo tanto para un nS1 como para un nS2. En el resto de las funciones, se tiene una mejoría utilizando un nS1 en Z2 con 10 clientes, Z4 con 10 clientes y Z5 con 10 clientes, ya que da un menor valor en comparación al nS2. Puntualmente para el Z3 con 10 clientes se tiene que la función objetivo disminuye utilizando un nS2, sin embargo, al momento de analizar las rutas se identifica que no requería de dos repeticiones, ya que usa dos estaciones de recarga distintas, esto quiere decir que para nS1 no encontró la mejor solución conocida por el tiempo límite establecido.

En cuanto al tiempo de cómputo, se distingue que para las funciones Z1, Z2 con 5 clientes, Z3 con 5 clientes, Z4 con 5 clientes y Z5 con 5 clientes es menor el tiempo al usar un nS1 que un nS2. En las funciones objetivos restantes, se utiliza el tiempo máximo establecido que es de 3.600 segundos.

Al tomar en cuenta la cantidad promedio de nodos y el tiempo/nodos, se observa que para todas las funciones utilizando un nS1 demora un menor tiempo por cada nodo, a pesar de que en la función Z1 la cantidad de nodos para el nS1 es menor

que en nS2. Excepcionalmente en el caso de Z5 con 5 clientes, el tiempo incurrido por cada nodo es menor al usar un nS2.

Por su parte, el porcentaje promedio de *gap* es menor para todas las funciones al usar un nS1, además, siempre logra moverse del 100%.

En términos del número promedio de rutas creadas, se tiene que para las funciones Z1 y Z4 – 0.75 con 10 clientes el número de rutas es mayor para nS1 que para nS2. Por otro lado, las funciones Z2 con 10 clientes, Z4 – 0.25 con 10 clientes, Z4 – 0.5 y Z5 con 5 clientes el número de rutas creadas es mayor para nS2 que para nS1. En el resto de las funciones objetivos, Z2 con 5 clientes, Z3, Z4 – 0.25 con 5 clientes, Z4 – 0.75 con 5 clientes y Z5 con 10 clientes, presentan el mismo número de rutas creadas.

	N° Opt.	F.O	Tiempo	Gap	N° Rutas	(Tiempo/Nodos) * 10.000
Z1 nS1 5C	12	181,22	93,01	0,00	1,50	1,68
Z1 nS2 5C	4	181,22	2.644,86	0,16	1,33	3,04
Z1 nS1 10C	9	271,22	1.133,83	0,02	2,45	6,21
Z1 nS2 10C	0	271,22	3.600,11	0,27	2,08	12,90
Z2 nS1 5C	4	1,33	2.481,35	0,67	1,33	1,95
Z2 nS2 5C	0	1,33	3.600,04	1,00	1,33	4,16
Z2 nS1 10C	0	1,75	3.600,06	0,94	1,75	5,92
Z2 nS2 10C	0	1,83	3.600,18	1,00	1,83	16,81
Z3 nS1 5C	6	1,75	2.021,21	0,33	2,00	2,01
Z3 nS2 5C	0	1,75	3.600,03	1,00	2,00	5,27
Z3 nS1 10C	0	1,75	3.600,02	0,96	4,00	6,05
Z3 nS2 10C	0	1,67	3.600,03	1,00	4,00	19,46
Z4 nS1 - 0,25 5C	3	1,58	3.048,58	0,73	1,33	2,99
Z4 nS2 - 0,25 5C	0	1,58	3.600,03	1,00	1,33	6,79
Z4 nS1 - 0,25 10C	0	2,33	3.600,03	0,98	1,83	8,41
Z4 nS2 - 0,25 10C	0	2,35	3.600,07	1,00	1,92	23,27
Z4 nS1 - 0,5 5C	3	1,79	2.940,79	0,72	1,50	2,95
Z4 nS2 - 0,5 5C	0	1,79	3.600,03	1,00	1,58	6,53
Z4 nS1 - 0,5 10C	0	2,50	3.600,13	0,99	2,58	8,80
Z4 nS2 - 0,5 10C	0	2,63	3.600,06	1,00	2,83	23,00
Z4 nS1 - 0,75 5C	3	1,77	3.004,41	0,72	1,83	2,70

Z4 nS2 - 0,75 5C	0	1,77	3.600,03	1,00	1,83	6,50
Z4 nS1 - 0,75 10C	0	2,15	3.600,03	0,99	3,58	9,19
Z4 nS2 - 0,75 10C	0	2,25	3.600,05	1,00	3,50	24,25
Z5 nS1 5C	1	86,24	3.352,68	0,75	1,00	9,38
Z5 nS2 5C	0	86,24	3.600,19	0,92	1,13	6,45
Z5 nS1 10C	0	114,97	3.600,12	0,78	1,50	11,77
Z5 nS2 10C	0	122,17	3.600,11	0,92	1,50	16,35

Tabla 4.5: Resultados experimento 3.

4.4. EXPERIMENTO 4

En última ocasión, se espera analizar si es que las diferentes estructuras de agrupación de los nodos siguen algún patrón en los resultados, y por ende, sí es que se ven beneficiados/perjudicados algunos de manera particular. Separándolos en las tres estructuras existentes, de tipo Random (R), en Clúster (C) y mixtas (RC). Los indicadores con los que se evaluará son, valor promedio de la función objetivo (F.O), tiempo promedio de cómputo (Tiempo), promedio de porcentaje *gap* (Gap), número de soluciones óptimas (N° Opt.), promedio del tiempo en cada nodo (Tiempo/Nodo) y el promedio del número de rutas creadas (N° Rutas).

El cuarto experimento se realizó con la siguiente configuración:

- MIP Focus 0 (MF0).
- Cantidad de Repeticiones “nS” igual a 1 (nS1).
- Se divide por el tipo de estructura de los nodos, tipo Clúster (C), Random (R) y mixta, Clúster y Random (RC).

De la tabla 4.6 se puede determinar, que en la función 1 se logra encontrar soluciones óptimas para las diferentes estructuras con 5 y 10 clientes, para la función Z3 con 5 clientes encuentra al menos una solución óptima para las diferentes estructuras. En cuanto a las funciones Z2 y Z4, con 5 clientes, detecta soluciones óptimas para estructuras de tipo Clúster (C) y tipo Random (R), no así para las mixtas que no encuentra ningún óptimo. En las funciones Z2, Z3, Z4 y Z5, con 10 clientes, no se logran descubrir soluciones óptimas. Z5 con 5 clientes solo puede encontrar una solución óptima de tipo clúster.

En relación con el valor promedio de la función objetivo, se visualiza que para Z1 la función objetivo es menor en la estructura de tipo random, en el caso de Z2 son más complejas las de tipo mixta con un valor más alto. En cuanto al Z4 con sus distintos betas, se detecta que con 5 clientes las de tipo random obtienen un menor valor de la F.O, a su vez, con 10 clientes las instancias de tipo clúster obtienen un menor valor. Por último, en Z5 las estructuras de tipo clúster arrojan un valor menor de la F.O.

Desde el punto de vista del tiempo de cómputo, se descubre que para Z1, Z2 con 5 clientes, Z4 – 0.25 con 5 clientes y Z5 con 5 clientes, el tiempo de cómputo es menor para las instancias de tipo clúster. En cambio, para Z3, Z4 – 0.5 y Z4 – 0.75, con 5 clientes, su tiempo es menor para los datos de tipo random.

Considerando el promedio del porcentaje *gap*, se tiene que para las funciones Z1, Z4 – 0.25 y Z5 hay un menor porcentaje en estructuras de tipo clúster, a diferencia de las funciones Z2, Z3 con 5 clientes, Z4 – 0.25 con 10 clientes, Z4 – 0.5 y Z4 – 0.75, en las cuales existe un porcentaje *gap* más bajo para datos de tipo random. La instancia de orden mixta (RC), predomina con un *gap* inferior en Z3 con 10 clientes.

En cuanto al número de rutas creadas, para 10 clientes se identifica que el orden de tipo mixta RC crea más rutas.

Con respecto al tiempo/nodos, se puede señalar que para todas las funciones objetivos con 5 clientes, el tiempo promedio incurrido en cada nodo, es menor para la estructura de tipo clúster. Las funciones Z1, Z3 y Z4 – 0.5, con 10 clientes el tiempo promedio menor es para los datos de tipo mixto RC. Las instancias de orden random que su tiempo incurrido por nodo es menor al resto, es en las funciones, Z2, Z4 – 0.25 y Z5.

	N° Opt.	F.O	Tiempo	Gap	N° Rutas	(Time/Nodos) *10.000
Z1 C - 5C	4	194,58	16,41	0,00	1,75	1,43

Z1 R - 5C	4	147,13	3,25	0,00	1,25	1,59
Z1 RC - 5C	4	201,94	259,38	0,00	1,50	2,01
Z1 C - 10C	4	266,60	33,40	0,00	2,00	6,22
Z1 R - 10C	2	212,10	2.427,11	0,06	2,67	6,71
Z1 RC - 10C	3	334,97	940,97	0,01	2,75	5,70
Z2 C - 5C	2	1,25	1.808,31	0,50	1,25	1,61
Z2 R - 5C	2	1,25	2.035,73	0,50	1,25	2,04
Z2 RC - 5C	0	1,50	3.600,01	1,00	1,50	2,20
Z2 C - 10C	0	1,75	3.600,09	1,00	1,75	6,16
Z2 R - 10C	0	1,75	3.600,04	0,92	1,75	4,92
Z2 RC - 10C	0	1,75	3.600,03	0,92	1,75	6,68
Z3 C - 5C	2	2,00	2.015,90	0,38	2,00	1,61
Z3 R - 5C	3	1,25	1.007,08	0,13	2,00	2,21
Z3 RC - 5C	1	2,00	3.040,67	0,50	2,00	2,23
Z3 C - 10C	0	1,75	3.600,03	1,00	4,00	5,88
Z3 R - 10C	0	1,50	3.600,01	1,00	4,00	6,70
Z3 RC - 10C	0	2,00	3.600,02	0,88	4,00	5,58
Z4 - 0,25 C - 5C	2	1,56	2.668,58	0,45	1,25	1,85
Z4 - 0,25 R - 5C	1	1,50	2.877,12	0,75	1,25	2,65
Z4 - 0,25 RC - 5C	0	1,69	3.600,04	1,00	1,50	4,47
Z4 - 0,25 C - 10C	0	2,19	3.600,02	1,00	1,75	8,29
Z4 - 0,25 R - 10C	0	2,19	3.600,04	0,94	1,75	7,99
Z4 - 0,25 RC - 10C	0	2,63	3.600,03	1,00	2,00	8,96
Z4 - 0,5 C - 5C	1	1,88	2.996,91	0,67	1,50	2,19
Z4 - 0,5 R - 5C	2	1,63	2.225,43	0,50	1,50	2,33
Z4 - 0,5 RC - 5C	0	1,88	3.600,02	1,00	1,50	4,33
Z4 - 0,5 C - 10C	0	2,25	3.600,04	1,00	2,25	8,82
Z4 - 0,5 R - 10C	0	2,38	3.600,04	0,96	2,25	8,95
Z4 - 0,5 RC - 10C	0	2,88	3.600,31	1,00	3,25	8,64
Z4 - 0,75 C - 5C	1	1,94	3.387,72	0,70	1,75	2,09
Z4 - 0,75 R - 5C	2	1,44	2.025,49	0,50	2,00	2,27
Z4 - 0,75 RC - 5C	0	1,94	3.600,02	0,95	1,75	3,75
Z4 - 0,75 C - 10C	0	1,94	3.600,03	1,00	3,25	9,96
Z4 - 0,75 R - 10C	0	2,06	3.600,03	0,98	3,75	8,78
Z4 - 0,75 RC - 10C	0	2,44	3.600,03	1,00	3,75	8,83
Z5 C - 5C	1	82,97	2.857,67	0,60	1,00	8,07
Z5 R - 5C	0	79,88	3.600,14	0,75	1,00	10,57
Z5 RC - 5C	0	95,88	3.600,24	0,89	1,00	9,49
Z5 C - 10C	0	104,64	3.600,13	0,67	1,25	11,84
Z5 R - 10C	0	112,14	3.600,13	0,83	1,50	10,55
Z5 RC - 10C	0	128,13	3.600,11	0,83	1,75	12,91

Tabla 4.6: Resultados Experimento 4.

4.5. DISCUSIÓN

Los resultados del problema de localización eléctrica con ventanas de tiempo y recarga parcial, se obtienen tras realizar 7 variaciones de las funciones objetivos, Z1, Z2, Z3, Z4 – 0.25, Z4 – 0.5, Z4 – 0.75 y Z5, considerando 2 configuraciones del MIP Focus (MF0 y MF2), en 12 instancias de 5 clientes y 12 instancias de 10 clientes, con un parámetro nS_2 , es decir, 336 ejecuciones, con tiempo límite de 1 hora (3.600 segundos). Además, se deben obtener los resultados de las 7 variaciones de las funciones objetivos, considerando un valor de 1 repetición de los nodos clientes y estaciones de recarga, en 12 instancias de 5 clientes y 12 instancias de 10 clientes, considerando MF0, es decir, 168 ejecuciones más, con tiempo límite de 1 hora. En total se efectuaron 504 ejecuciones, necesitando 21 días para correr todas las instancias, sin parar ni cometer errores. Estos resultados se encuentran en los anexos del A al U.

Las obtenciones del experimento 1, muestran que se deben realizar modificaciones al solo encontrar soluciones óptimas exclusivamente para el Z1, de distancia total mínima. Las funciones objetivos Z2, Z3, Z4 y Z5 arrojan en promedio porcentajes *gap* que tienden al 100% y tiempos de ejecución cercanos al tiempo límite de 3.600 segundos.

Dado los resultados obtenidos en el experimento 1, es que se intentó mejorar las soluciones encontradas aplicando dos enfoques del MIP Focus de Gurobi, donde se encuentra que utilizando el MF2, no existen mayores variaciones que impacten positivamente al modelo en los indicadores de: valor de la función objetivo, tiempo promedio de cómputo, número de soluciones óptimas y tiempo promedio por cada nodo.

Tomando en consideración el segundo experimento, es que en el experimento 3 se continuó utilizando solo la configuración MF0, que permite recorrer una mayor cantidad de nodos, y a la misma vez, demostrar que la solución actual es óptima. Con el MF0, es que se decidió explorar la opción de repetir una sola vez cada nodo cliente y estación de recarga, reduciendo considerablemente la cantidad de nodos totales en cada instancia. En el momento en que se reduce el nS a 1, es que se

descubre que disminuir el número de repeticiones impacta considerablemente todas las funciones objetivos en estudio. Hallando soluciones óptimas en los 5 objetivos, mejorando el valor promedio de la F.O respectiva, disminuyendo los tiempos de CPU, porcentajes *gap* y tiempo promedio por cada nodo. Con dicha configuración, se identifica que la función que mejor se comporta y obtiene porcentaje *gap* en promedio cercano a 0%, es la de minimizar la distancia total recorrida (Z1), encontrando 21 soluciones óptimas de 24 que se ejecutaron.

Como cuarto experimento, se decidió evaluar si existía un impacto de las estructuras de las instancias clúster, random o mixtas. Donde se reconoce que en las funciones Z1 y Z3 con 5 clientes, encuentra al menos un óptimo para cada una de las diferentes estructuras. Se identifica que para 4 variaciones de las funciones objetivos, es menor el tiempo de cómputo para las instancias de tipo clúster y para otras 3 variaciones, el tiempo de cómputo es más bajo para instancias de tipo random. De la misma manera se detecta que para 3 variaciones de los Z, hay un menor porcentaje *gap* en estructuras de tipo clúster, a diferencia de 5 variaciones de los Z, que tienen un menor porcentaje *gap* para datos de tipo random.

Es importante resaltar que, el número de repeticiones afecta a la cantidad de nodos del modelo matemático, influyendo considerablemente en los tiempos de cómputo. Al modificar la cantidad de repeticiones a nS1, se pasó de encontrar soluciones exclusivamente en la función Z1, a tener óptimos en todas las funciones objetivos. Al tener en consideración un nS1, se pueden obtener valores de la F.O y porcentajes *gap* inferiores a los encontrados anteriormente.

Finalmente, se observa que al utilizar la configuración de MIP Focus 2, no hubo un impacto positivo en el modelo, teniendo en consideración los indicadores propuestos. Con MF2, se distingue que para 5 variaciones de las funciones no varía el valor de las F.O y para otras 3 variaciones existe un aumento del valor. Para la mayoría de los Z, presenta el mismo porcentaje promedio *gap* y el mismo tiempo promedio de cómputo de 3.600 segundos, alcanzando el tiempo límite establecido.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Este proyecto trabaja el problema de ruteo de localización eléctrica considerando las ventanas de tiempo y recargas parciales de las baterías, donde se busca evaluar y estudiar el impacto que significa resolver el problema, teniendo variaciones en la configuración del modelo. En este caso, se propone un modelo de programación entera mixta, teniendo las variaciones de MIP Focus y la cantidad de repeticiones de los nodos. Además, se desarrollan 5 funciones objetivos, las cuales se trabajan de manera independiente, y se analizan las 3 estructuras de orden de los nodos.

De los experimentos realizados es posible concluir que al ejecutar el modelo formulado, se evidencia de manera clara las distintas configuraciones que afectan positiva o negativamente los resultados, evaluándose con los indicadores de gap, valor de la función objetivo, número de soluciones óptimas, tiempo incurrido por nodo, número de rutas creadas y tiempo de cómputo.

En definitiva, es importante resaltar que la cantidad de repeticiones de los nodos nS , afecta considerablemente los resultados del problema, encontrando que para $nS1$ disminuye los tiempos de cómputo, aumenta la cantidad de soluciones óptimas encontradas, y reduce el valor de la función objetivo y el gap en comparación al $nS2$. De la misma manera, no debe pasarse por alto que al utilizar la configuración de MIP Focus 2, no se presentó una variación positiva en los resultados, de hecho, en 3 oportunidades se detectó que el MF2 incrementaba el valor de las funciones objetivos.

Finalmente, en futuras investigaciones se vuelve relevante implementar técnicas heurísticas o metaheurísticas, que permitan resolver el problema, entregando soluciones factibles en poco tiempo. Se debe poner un mayor énfasis en cómo seleccionar el número de repeticiones de los nodos. Se sugiere añadir el número de repeticiones de los nodos de forma dinámica, de manera que se eleve el número de repeticiones, solo si es que se requieren, y no en otro caso. Además, se pueden incorporar nuevas variables o restricciones que aporten realidad al problema de ruteo de localización eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

- ABB. (30 de Septiembre de 2021). ABB. Obtenido de <https://new.abb.com/news/es/detail/83050/abb-lanza-el-cargador-de-vehiculos-electricos-mas-rapido-del-mundo>
- An, K. (2020). Battery electric bus infrastructure planning under demand uncertainty. *Transportation Research Part C*, 572-587.
- An, K., Jing, W., & Kim, I. (2019). Battery-swapping facility planning for electric buses with local charging systems. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABLE TRANSPORTATION*, 489-502.
- Artmeier, A., Haselmayer, J., Leucker, M., & Sachenbacher, M. (2010). The shortest path problem revisited: Optimal routing for electric vehicles. *33rd Annual German Conference on Artificial Intelligence, KI 2010*, 309-316.
- Barco, J., Guerra, A., Muñoz, L., & Quijano, N. (2013). Optimal Routing and Scheduling of Charge for Electric Vehicles: Case Study. *arXiv*. Obtenido de <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1310/1310.0145.pdf>
- Bruglieri, M., Ferdinando, P., Pisacane, O., & Suraci, S. (2015a). A Matheuristic for the Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows. *arXiv*. Obtenido de <https://arxiv.org/pdf/1506.00211.pdf>
- Bruglieri, M., Pezzella, F., Pisacane, O., & Suraci, S. (2015b). A variable neighborhood search branching for the electric vehicle routing problem with time windows. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 221-228.
- Çalık, H., Oulamara, A., Prodhon, C., & Salhi, S. (2021). The electric location-routing problem with heterogeneous fleet: Formulation and Benders decomposition approach. *Computers & operations research*, 131, 105251.
- Cataldo-Díaz, C., Linfati, R., & Willmer Escobar, J. (2022). Mathematical model for the electric vehicle routing problem considering the state of charge of the batteries. *Sustainability*, 1645.
- Cataldo-Díaz, C., Linfati, R., & Willmer Escobar, J. (2023). Mathematical models for the electric vehicle routing problem with time windows considering different aspects of the charging process. *Operational Research*, 1-35.

- Cordeau, J., Desaulniers, G., Desrosiers, J., Solomon, M., & Soumis, F. (2000). The VRP with time windows. *GERAD*, 157-193.
- Desaulniers, G., Errico, F., Irnich, S., & Schneider, M. (2016). Exact algorithms for electric vehicle-routing problems with time windows. *Operations Research*, 1388-1405.
- Dewi Purnamasari, C., & Santoso, A. (2018). Vehicle Routing Problem (VRP) for courier service: A review. *MATEC Web of Conferences*, 1-41.
- Erdelić, T., & Carić, T. (2019). A Survey on the Electric Vehicle Routing Problem: Variants and Solution Approaches. *Journal of advanced transportation*, 1-48.
- Erdoğan, S., & Miller-Hooks, E. (2012). A Green Vehicle Routing Problem. *Transportation research. Part E, Logistics and transportation review*, 100-114.
- Felipe, Á., Ortuño, M., Righini, G., & Tirado, G. (2014). A heuristic approach for the green vehicle routing problem with multiple technologies and partial recharges. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 111-128.
- Gatica, G., Ahumada, G., Escobar, J. W., & Linfati, R. (2018). Efficient Heuristic Algorithms for Location of Charging Stations in Electric Vehicle Routing Problems. *Studies in Informatics and Control*, 73-82.
- Goeke, D., & Schneider, M. (2015). Routing a mixed fleet of electric and conventional vehicles. *European Journal of Operational Research*, 81-99.
- Hof, J., Schneider, M., & Goeke, D. (2017). Solving the battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles using an AVNS algorithm for vehicle-routing problems with intermediate stops. *Transportation research*, 97, p.102-112.
- Keskin, M., & Çatay, B. (2016). Partial recharge strategies for the electric vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111-127.
- Koc, C., Jabali, O., Mendoza, J., & Laporte, G. (2019). The electric vehicle routing problem with shared charging stations. *International transactions in operational research*, 26, 1211-1243.

- Kucukoglu , I., Dewil, R., & Cattrysse, D. (2021). The electric vehicle routing problem and its variations: A literature review. *Computers & industrial engineering*, 107650.
- Lin, B., Ghaddar, B., & Nathwani, J. (2021). Deep Reinforcement Learning for the Electric Vehicle Routing Problem With Time Windows. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* , 11528-11538.
- Moon, C., Kim , J., Choi, G., & Seo, Y. (2002). An efficient genetic algorithm for the traveling salesman problem with precedence constraints. *European journal of operational research*, 140, 606-617.
- Schiffer, M., & Walther, G. (2017). The electric location routing problem with time windows and partial recharging. *European Journal of Operational Research*, 995-1013.
- Schneider, M., Stenger, A., & Goeke, D. (2014). The Electric Vehicle-Routing Problem with Time Windows and Recharging Stations. *Transportation Science* , 500-520.
- Solomon, M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research*, 35, 254-265.
- Yang , J., & Sun , H. (2015). Battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles. *Computers & operations research*, 217-232.
- Yang , S., Ning, L., Tong, L., & Shang, P. (2022). Integrated electric logistics vehicle recharging station location–routing problem with mixed backhauls and recharging strategies. *Transportation research. Part C: Emerging technologies*, 140, 103695.
- Zhang, S., Chen, M., & Zhang , W. (2019). A novel location-routing problem in electric vehicle transportation with stochastic demands. *Journal of Cleaner Production*, 221, 567-581.
- Zhou, B., Wu, Y., Zhou, B., Wang, R., Ke, W., Zhang, S., & Hao, J. (2015). Real-world performance of battery electric buses and their life-cycle benefits with respect to energy consumption and carbon dioxide emissions. *Energy*, 603-613.

ANEXOS

Anexo A: Resultados para Z1 con MF0 y nS2

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	(Tiempo/Nodos)
c101C5	OPTIMAL	240,00	240,00	78,47	849.474,00	0,00	2	0,00009
c103C5	OPTIMAL	161,26	161,26	651,50	2.354.646,00	0,00	2	0,00028
c206C5	TIME_LIMIT	219,34	195,96	3.600,05	11.317.639,00	0,11	1	0,00032
c208C5	TIME_LIMIT	157,72	114,17	3.600,05	12.071.747,00	0,28	1	0,00030
r104C5	TIME_LIMIT	132,81	124,76	3.600,10	12.899.294,00	0,06	2	0,00028
r105C5	OPTIMAL	151,15	151,15	186,48	559.791,00	0,00	2	0,00033
r202C5	OPTIMAL	126,52	126,51	2.021,43	11.906.433,00	0,00	1	0,00017
r203C5	TIME_LIMIT	178,05	153,58	3.600,02	9.973.449,00	0,14	1	0,00036
rc105C5	TIME_LIMIT	227,18	200,57	3.600,03	9.738.846,00	0,12	2	0,00037
rc108C5	TIME_LIMIT	245,87	173,25	3.600,06	8.549.033,00	0,30	1	0,00042
rc204C5	TIME_LIMIT	172,03	90,66	3.600,05	8.465.224,00	0,47	1	0,00043
rc208C5	TIME_LIMIT	162,67	95,56	3.600,09	11.922.055,00	0,41	0	0,00030
PROMEDIO	4	181,22	152,29	2.644,86	8.383.969,25	0,16	1,33	0,00030
c101C10	TIME_LIMIT	366,33	256,37	3.600,13	2.822.045,00	0,30	3	0,00128
c104C10	TIME_LIMIT	234,22	182,47	3.600,07	2.440.260,00	0,22	1	0,00148
c202C10	TIME_LIMIT	239,84	181,67	3.600,13	2.381.899,00	0,24	2	0,00151
c205C10	TIME_LIMIT	226,01	155,89	3.600,12	4.181.677,00	0,31	2	0,00086
r102C10	TIME_LIMIT	241,14	194,88	3.600,14	2.214.079,00	0,19	2	0,00163
r103C10	TIME_LIMIT	188,67	129,81	3.600,08	2.493.660,00	0,31	2	0,00144
r201C10	TIME_LIMIT	204,94	173,53	3.600,06	4.631.224,00	0,15	3	0,00078
r203C10	TIME_LIMIT	213,65	123,49	3.600,09	2.739.145,00	0,42	1	0,00131
rc102C10	TIME_LIMIT	384,75	305,54	3.600,08	2.136.337,00	0,21	3	0,00169
rc108C10	TIME_LIMIT	329,79	201,86	3.600,20	2.503.784,00	0,39	2	0,00144
rc201C10	TIME_LIMIT	304,00	233,08	3.600,05	3.429.505,00	0,23	3	0,00105
rc205C10	TIME_LIMIT	321,36	252,32	3.600,13	3.539.652,00	0,21	1	0,00102
PROMEDIO	0	271,22	199,24	3.600,11	2.959.438,92	0,27	2,08	0,00129

Anexo B: Resultados para Z1 con MF2 y nS2

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	Tiempo/Nodos
c101C5	OPTIMAL	240,00	240,00	52,48	165.995,00	0,00	0,00032
c103C5	OPTIMAL	161,26	161,26	833,20	2.864.763,00	0,00	0,00029
c206C5	TIME_LIMIT	219,34	166,23	3.600,11	6.950.936,00	0,24	0,00052
c208C5	TIME_LIMIT	157,72	113,57	3.600,11	9.530.385,00	0,28	0,00038
r104C5	TIME_LIMIT	132,81	127,54	3.600,04	8.923.151,00	0,04	0,00040
r105C5	OPTIMAL	151,15	151,15	176,14	473.421,00	0,00	0,00037
r202C5	OPTIMAL	126,52	126,51	2.258,88	8.919.023,00	0,00	0,00025
r203C5	TIME_LIMIT	178,05	162,43	3.600,07	6.481.943,00	0,09	0,00056

rc105C5	TIME_LIMIT	227,18	176,81	3.600,09	6.645.018,00	0,22	0,00054
rc108C5	TIME_LIMIT	245,87	173,25	3.600,29	7.336.291,00	0,30	0,00049
rc204C5	TIME_LIMIT	172,03	100,96	3.600,05	7.820.437,00	0,41	0,00046
rc208C5	TIME_LIMIT	162,67	128,43	3.600,16	7.402.881,00	0,21	0,00049
PROMEDIO	4	181,22	152,35	2.676,80	6.126.187,00	0,15	0,00042
c101C10	TIME_LIMIT	366,33	340,11	3.600,11	2.743.014,00	0,07	0,00131
c104C10	TIME_LIMIT	234,22	186,57	3.600,08	1.819.771,00	0,20	0,00198
c202C10	TIME_LIMIT	239,84	185,69	3.600,09	2.519.046,00	0,23	0,00143
c205C10	TIME_LIMIT	226,01	185,38	3.600,08	3.368.789,00	0,18	0,00107
r102C10	TIME_LIMIT	241,14	194,41	3.600,10	2.069.565,00	0,19	0,00174
r103C10	TIME_LIMIT	188,67	139,02	3.600,10	2.630.257,00	0,26	0,00137
r201C10	TIME_LIMIT	204,94	175,77	3.600,10	2.901.087,00	0,14	0,00124
r203C10	TIME_LIMIT	213,65	126,90	3.600,10	2.016.924,00	0,41	0,00178
rc102C10	TIME_LIMIT	384,75	303,53	3.600,07	2.007.315,00	0,21	0,00179
rc108C10	TIME_LIMIT	329,79	201,30	3.600,14	2.289.045,00	0,39	0,00157
rc201C10	TIME_LIMIT	304,00	208,91	3.600,05	2.590.003,00	0,31	0,00139
rc205C10	TIME_LIMIT	321,36	275,99	3.600,05	2.441.912,00	0,14	0,00147
PROMEDIO	0	271,22	210,30	3.600,09	2.449.727,33	0,23	0,00151

Anexo C: Resultados para Z2 con MF0 y nS2

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	9.722.552,00	1,00	2	0,00037
c103C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,02	11.121.687,00	1,00	1	0,00032
c206C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,04	10.931.499,00	1,00	1	0,00033
c208C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,03	11.915.079,00	1,00	1	0,00030
r104C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,03	8.933.148,00	1,00	1	0,00040
r105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	7.248.205,00	1,00	2	0,00050
r202C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,04	13.169.043,00	1,00	1	0,00027
r203C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,06	12.834.121,00	1,00	1	0,00028
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,05	4.395.387,00	1,00	2	0,00082
rc108C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,07	4.218.287,00	1,00	2	0,00085
rc204C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,11	13.243.844,00	1,00	1	0,00027
rc208C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,04	13.295.111,00	1,00	1	0,00027
PROMEDIO	0	1,33	0,00	3.600,04	10.085.663,58	1,00	1,33	0,00042
c101C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,06	2.239.187,00	1,00	3	0,00161
c104C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,05	1.818.568,00	1,00	2	0,00198
c202C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,07	3.503.514,00	1,00	1	0,00103
c205C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.601,53	3.087.912,00	1,00	1	0,00117
r102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,05	1.974.054,00	1,00	3	0,00182
r103C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	1.983.796,00	1,00	2	0,00181
r201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,05	3.658.514,00	1,00	1	0,00098
r203C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,16	3.202.608,00	1,00	1	0,00112

rc102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,03	1.882.116,00	1,00	3	0,00191
rc108C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,04	955.198,00	1,00	2	0,00377
rc201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,02	2.148.439,00	1,00	1	0,00168
rc205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,08	2.795.286,00	1,00	2	0,00129
PROMEDIO	0	1,83	0,00	3.600,18	2.437.432,67	1,00	1,83	0,00168

Anexo D: Resultados para Z2 con MF2 y nS2.

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,14	1.455.639,00	1,00	2	0,00247
c103C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,17	3.309.003,00	1,00	1	0,00109
c206C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,12	4.333.834,00	1,00	1	0,00083
c208C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,18	4.814.078,00	1,00	1	0,00075
r104C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,24	1.876.041,00	1,00	1	0,00192
r105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,10	1.892.205,00	1,00	2	0,00190
r202C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,08	5.228.609,00	1,00	1	0,00069
r203C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,05	7.257.841,00	1,00	1	0,00050
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,28	1.079.911,00	1,00	2	0,00333
rc108C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,25	1.002.706,00	1,00	2	0,00359
rc204C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.602,10	5.601.295,00	1,00	1	0,00064
rc208C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,17	6.025.116,00	1,00	1	0,00060
PROMEDIO	0	1,33	0,00	3.600,32	3.656.356,50	1,00	1,33	0,00153
c101C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,21	854.869,00	1,00	3	0,00421
c104C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,06	1.179.027,00	1,00	2	0,00305
c202C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,14	543.304,00	1,00	1	0,00663
c205C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,06	578.091,00	1,00	1	0,00623
r102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,25	927.339,00	1,00	3	0,00388
r103C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,10	921.204,00	1,00	2	0,00391
r201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,08	798.508,00	1,00	1	0,00451
r203C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,06	1.674.435,00	1,00	1	0,00215
rc102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,25	690.029,00	1,00	3	0,00522
rc108C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,06	692.235,00	1,00	3	0,00520
rc201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,04	517.156,00	1,00	1	0,00696
rc205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,11	1.215.944,00	1,00	2	0,00296
PROMEDIO	0	1,92	0,00	3.600,12	882.678,42	1,00	1,92	0,00458

Anexo E: Resultados para Z3 con MF0 y nS2

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,02	8.898.190,00	1,00	2	0,00040
c103C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,02	10.088.836,00	1,00	2	0,00036
c206C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,01	5.256.045,00	1,00	2	0,00068
c208C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	7.146.962,00	1,00	2	0,00050

r104C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,01	6.848.841,00	1,00	2	0,00053
r105C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,01	10.377.923,00	1,00	2	0,00035
r202C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,05	10.284.125,00	1,00	2	0,00035
r203C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,01	4.582.684,00	1,00	2	0,00079
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,08	5.211.891,00	1,00	2	0,00069
rc108C5	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,02	5.373.719,00	1,00	2	0,00067
rc204C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,03	7.594.124,00	1,00	2	0,00047
rc208C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	6.738.202,00	1,00	2	0,00053
PROMEDIO	0	1,75	0,00	3.600,03	7.366.795,17	1,00	2	0,00053
c101C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	1.396.937,00	1,00	4	0,00258
c104C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,03	1.453.876,00	1,00	4	0,00248
c202C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,05	1.521.127,00	1,00	4	0,00237
c205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	2.956.958,00	1,00	4	0,00122
r102C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	1.848.866,00	1,00	4	0,00195
r103C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,03	3.862.356,00	1,00	4	0,00093
r201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,05	2.708.838,00	1,00	4	0,00133
r203C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	1.184.918,00	1,00	4	0,00304
rc102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,02	2.047.506,00	1,00	4	0,00176
rc108C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	1.627.851,00	1,00	4	0,00221
rc201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,07	2.406.130,00	1,00	4	0,00150
rc205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,01	1.799.222,00	1,00	4	0,00200
PROMEDIO	0	1,67	0,00	3.600,03	2.067.882,08	1,00	4	0,00195

Anexo F: Resultados para Z3 con MF2 y nS2.

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,13	1.455.329,00	1,00	2	0,00247
c103C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,08	4.331.135,00	1,00	2	0,00083
c206C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,05	1.190.105,00	1,00	2	0,00302
c208C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,17	2.503.486,00	1,00	2	0,00144
r104C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,09	2.655.333,00	1,00	2	0,00136
r105C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,07	2.442.719,00	1,00	2	0,00147
r202C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,06	2.752.965,00	1,00	2	0,00131
r203C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	1.164.319,00	1,00	2	0,00309
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,23	1.613.823,00	1,00	2	0,00223
rc108C5	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,11	1.481.459,00	1,00	2	0,00243
rc204C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,12	1.852.391,00	1,00	2	0,00194
rc208C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,09	4.319.611,00	1,00	2	0,00083
PROMEDIO	0	1,75	0,00	3.600,10	2.313.556,25	1,00	2,00	0,00187
c101C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,12	746.954,00	1,00	4	0,00482
c104C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,07	619.827,00	1,00	4	0,00581

c202C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,04	632.548,00	1,00	4	0,00569
c205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,04	746.341,00	1,00	4	0,00482
r102C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,20	524.729,00	1,00	4	0,00686
r103C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,06	987.762,00	1,00	4	0,00364
r201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,08	860.906,00	1,00	4	0,00418
r203C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,11	849.417,00	1,00	4	0,00424
rc102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,15	859.107,00	1,00	4	0,00419
rc108C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,10	662.146,00	1,00	4	0,00544
rc201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,05	1.002.775,00	1,00	4	0,00359
rc205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,12	959.438,00	1,00	4	0,00375
PROMEDIO	0	1,83	0,00	3.600,09	787.662,50	1,00	4,00	0,00475

Anexo G: Resultados para Z4 – 0.25 con MF0 y nS2

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,03	7.104.108,00	1,00	2	0,00051
c103C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,01	7.102.653,00	1,00	1	0,00051
c206C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,02	4.408.190,00	1,00	1	0,00082
c208C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,02	5.111.246,00	1,00	1	0,00070
r104C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,05	5.363.357,00	1,00	1	0,00067
r105C5	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,02	6.644.627,00	1,00	2	0,00054
r202C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,05	6.069.427,00	1,00	1	0,00059
r203C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,02	4.509.700,00	1,00	1	0,00080
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	4.867.367,00	1,00	2	0,00074
rc108C5	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,04	3.917.664,00	1,00	2	0,00092
rc204C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,03	4.833.585,00	1,00	1	0,00074
rc208C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,03	5.954.647,00	1,00	1	0,00060
PROMEDIO	0	1,58	0,00	3.600,03	5.490.547,58	1,00	1,33	0,00068
c101C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,09	1.225.532,00	1,00	3	0,00294
c104C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,06	1.251.648,00	1,00	2	0,00288
c202C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,08	1.344.398,00	1,00	1	0,00268
c205C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,02	2.475.241,00	1,00	1	0,00145
r102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,03	1.805.923,00	1,00	3	0,00199
r103C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,07	1.922.636,00	1,00	2	0,00187
r201C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,05	1.834.985,00	1,00	1	0,00196
r203C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,21	1.276.878,00	1,00	1	0,00282
rc102C10	TIME_LIMIT	3,25	0,00	3.600,03	1.940.475,00	1,00	3	0,00186
rc108C10	TIME_LIMIT	2,75	0,00	3.600,06	993.922,00	1,00	2	0,00362
rc201C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,06	1.820.443,00	1,00	2	0,00198
rc205C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,06	1.923.236,00	1,00	2	0,00187
PROMEDIO	0	2,35	0,00	3.600,07	1.651.276,42	1,00	1,92	0,00233

Anexo H: Resultados para Z4 – 0.25 con MF2 y nS2

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,10	1.423.442,00	1,00	2	0,00253
c103C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,13	1.720.021,00	1,00	1	0,00209
c206C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,23	1.940.358,00	1,00	1	0,00186
c208C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,10	2.364.265,00	1,00	1	0,00152
r104C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,13	1.597.258,00	1,00	1	0,00225
r105C5	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,22	1.356.233,00	1,00	2	0,00265
r202C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,13	2.131.219,00	1,00	1	0,00169
r203C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,08	2.101.465,00	1,00	1	0,00171
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,12	1.188.399,00	1,00	2	0,00303
rc108C5	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,15	1.471.926,00	1,00	2	0,00245
rc204C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,23	1.931.766,00	1,00	1	0,00186
rc208C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,39	2.518.552,00	1,00	1	0,00143
PROMEDIO	0	1,58	0,00	3.600,17	1.812.075,33	1,00	1,33	0,00209
c101C10	TIME_LIMIT	3,25	0,00	3.600,08	631.528,00	1,00	3	0,00570
c104C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,07	859.180,00	1,00	2	0,00419
c202C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,07	588.213,00	1,00	2	0,00612
c205C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,14	937.590,00	1,00	1	0,00384
r102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,14	836.251,00	1,00	3	0,00431
r103C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,20	849.631,00	1,00	2	0,00424
r201C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,12	875.866,00	1,00	1	0,00411
r203C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,11	708.565,00	1,00	1	0,00508
rc102C10	TIME_LIMIT	3,25	0,00	3.600,07	689.902,00	1,00	3	0,00522
rc108C10	TIME_LIMIT	2,75	0,00	3.600,04	639.952,00	1,00	2	0,00563
rc201C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,07	836.288,00	1,00	2	0,00430
rc205C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,14	817.447,00	1,00	2	0,00440
PROMEDIO	0	2,42	0,00	3.600,11	772.534,42	1,00	2,00	0,00476

Anexo I: Resultados para Z4 – 0.5 con MF0 y nS2

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,05	7.105.531,00	1,00	2	0,00051
c103C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,05	7.399.605,00	1,00	2	0,00049
c206C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	4.728.623,00	1,00	2	0,00076
c208C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,02	6.532.150,00	1,00	1	0,00055
r104C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,04	6.073.738,00	1,00	2	0,00059
r105C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,02	6.547.679,00	1,00	2	0,00055
r202C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,01	6.407.784,00	1,00	1	0,00056
r203C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,01	4.408.159,00	1,00	1	0,00082

rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,05	4.794.658,00	1,00	2	0,00075
rc108C5	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,04	4.403.780,00	1,00	2	0,00082
rc204C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,08	4.338.997,00	1,00	1	0,00083
rc208C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,03	5.892.470,00	1,00	1	0,00061
PROMEDIO	0	1,79	0,00	3.600,03	5.719.431,17	1,00	1,58	0,00065
c101C10	TIME_LIMIT	3,50	0,00	3.600,06	1.255.385,00	1,00	4	0,00287
c104C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,07	1.166.935,00	1,00	2	0,00309
c202C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,10	1.323.265,00	1,00	2	0,00272
c205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	2.623.052,00	1,00	2	0,00137
r102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,03	1.999.000,00	1,00	4	0,00180
r103C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,04	1.859.391,00	1,00	3	0,00194
r201C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,04	2.091.178,00	1,00	2	0,00172
r203C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,08	1.208.486,00	1,00	1	0,00298
rc102C10	TIME_LIMIT	3,50	0,00	3.600,05	1.587.399,00	1,00	4	0,00227
rc108C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,12	1.077.512,00	1,00	3	0,00334
rc201C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,03	2.430.660,00	1,00	4	0,00148
rc205C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,02	1.781.089,00	1,00	3	0,00202
PROMEDIO	0	2,63	0,00	3.600,06	1.700.279,33	1,00	2,83	0,00230

Anexo J: Resultados para Z4 – 0.5 con MF2 y nS2.

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,21	1.448.890,00	1,00	2	0,00248
c103C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,35	1.825.941,00	1,00	2	0,00197
c206C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,21	1.642.518,00	1,00	1	0,00219
c208C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,06	2.039.437,00	1,00	1	0,00177
r104C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,20	1.453.956,00	1,00	2	0,00248
r105C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,43	1.167.867,00	1,00	2	0,00308
r202C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,08	1.975.470,00	1,00	1	0,00182
r203C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,05	2.524.477,00	1,00	1	0,00143
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,24	1.098.342,00	1,00	2	0,00328
rc108C5	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,08	1.747.767,00	1,00	2	0,00206
rc204C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,12	1.615.266,00	1,00	1	0,00223
rc208C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,11	2.382.184,00	1,00	1	0,00151
PROMEDIO	0	1,79	0,00	3.600,18	1.743.509,58	1,00	1,50	0,00219
c101C10	TIME_LIMIT	3,50	0,00	3.600,08	628.417,00	1,00	4	0,00573
c104C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,08	801.769,00	1,00	2	0,00449
c202C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,10	612.086,00	1,00	3	0,00588
c205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,07	925.246,00	1,00	2	0,00389
r102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,22	825.348,00	1,00	4	0,00436
r103C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,07	767.757,00	1,00	3	0,00469

r201C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,07	931.731,00	1,00	2	0,00386
r203C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,09	642.816,00	1,00	1	0,00560
rc102C10	TIME_LIMIT	3,50	0,00	3.600,06	850.046,00	1,00	4	0,00424
rc108C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,12	779.223,00	1,00	3	0,00462
rc201C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,06	782.127,00	1,00	3	0,00460
rc205C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,06	862.045,00	1,00	2	0,00418
PROMEDIO	0	2,67	0,00	3.600,09	784.050,92	1,00	2,75	0,00468

Anexo K: Resultados para Z4 – 0.75 con MF0 y nS2.

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	2,75	0,00	3.600,02	6.448.004,00	1,00	2	0,00056
c103C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,02	7.198.966,00	1,00	2	0,00050
c206C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	4.714.428,00	1,00	2	0,00076
c208C5	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,01	6.113.131,00	1,00	1	0,00059
r104C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,02	5.541.598,00	1,00	2	0,00065
r105C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,05	6.945.465,00	1,00	2	0,00052
r202C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,02	6.675.676,00	1,00	2	0,00054
r203C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,01	4.680.948,00	1,00	2	0,00077
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	4.820.688,00	1,00	2	0,00075
rc108C5	TIME_LIMIT	2,75	0,00	3.600,07	4.968.599,00	1,00	2	0,00072
rc204C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,07	4.471.701,00	1,00	2	0,00081
rc208C5	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,07	5.679.658,00	1,00	1	0,00063
PROMEDIO	0	1,77	0,00	3.600,03	5.688.238,50	1,00	1,83	0,00065
c101C10	TIME_LIMIT	3,25	0,00	3.600,06	1.305.906,00	1,00	4	0,00276
c104C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,06	997.917,00	1,00	4	0,00361
c202C10	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,05	1.225.086,00	1,00	3	0,00294
c205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	3.053.687,00	1,00	2	0,00118
r102C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,05	1.806.176,00	1,00	4	0,00199
r103C10	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,06	1.769.134,00	1,00	3	0,00203
r201C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,03	1.737.902,00	1,00	4	0,00207
r203C10	TIME_LIMIT	2,75	0,00	3.600,08	1.320.763,00	1,00	2	0,00273
rc102C10	TIME_LIMIT	3,25	0,00	3.600,04	1.778.646,00	1,00	4	0,00202
rc108C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,06	1.031.540,00	1,00	4	0,00349
rc201C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,02	1.768.864,00	1,00	4	0,00204
rc205C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,04	1.601.568,00	1,00	4	0,00225
PROMEDIO	0	2,25	0,00	3.600,05	1.616.432,42	1,00	3,50	0,00243

Anexo L: Resultados para Z4 – 0.75 con MF2 y nS2

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	2,75	0,00	3.600,30	1.389.416,00	1,00	2	0,00259

c103C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,23	2.256.126,00	1,00	2	0,00160
c206C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,38	1.503.076,00	1,00	2	0,00240
c208C5	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,08	2.044.389,00	1,00	1	0,00176
r104C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,16	1.716.629,00	1,00	2	0,00210
r105C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,14	1.156.702,00	1,00	2	0,00311
r202C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,22	1.350.689,00	1,00	2	0,00267
r203C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,06	1.742.695,00	1,00	2	0,00207
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,38	1.071.626,00	1,00	2	0,00336
rc108C5	TIME_LIMIT	2,75	0,00	3.600,35	2.089.963,00	1,00	2	0,00172
rc204C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,32	1.022.190,00	1,00	2	0,00352
rc208C5	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,06	2.200.861,00	1,00	1	0,00164
PROMEDIO	0	1,77	0,00	3.600,22	1.628.696,83	1,00	1,83	0,00238
c101C10	TIME_LIMIT	3,25	0,00	3.600,09	586.024,00	1,00	4	0,00614
c104C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,05	478.677,00	1,00	4	0,00752
c202C10	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,15	330.793,00	1,00	3	0,01088
c205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,04	871.521,00	1,00	2	0,00413
r102C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,20	682.728,00	1,00	4	0,00527
r103C10	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,14	731.423,00	1,00	3	0,00492
r201C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,16	791.660,00	1,00	4	0,00455
r203C10	TIME_LIMIT	2,75	0,00	3.600,07	637.010,00	1,00	2	0,00565
rc102C10	TIME_LIMIT	3,25	0,00	3.600,13	744.135,00	1,00	4	0,00484
rc108C10	TIME_LIMIT	3,25	0,00	3.600,13	721.772,00	1,00	4	0,00499
rc201C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,05	763.119,00	1,00	4	0,00472
rc205C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,24	886.148,00	1,00	4	0,00406
PROMEDIO	0	2,31	0,00	3.600,12	685.417,50	1,00	3,50	0,00564

Anexo M: Resultados para Z5 con MF0 y nS2

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	126,24	13,33	3.600,08	9.485.712,00	0,89	9,47386
c103C5	TIME_LIMIT	66,63	6,67	3.600,21	7.274.735,00	0,90	9,98619
c206C5	TIME_LIMIT	72,74	7,87	3.600,08	6.123.868,00	0,89	9,24547
c208C5	TIME_LIMIT	66,27	6,24	3.600,04	7.805.944,00	0,91	10,62001
r104C5	TIME_LIMIT	68,00	5,23	3.600,09	4.506.295,00	0,92	12,99495
r105C5	TIME_LIMIT	117,04	6,73	3.600,15	3.134.882,00	0,94	17,39055
r202C5	TIME_LIMIT	64,69	5,73	3.600,16	9.031.088,00	0,91	11,27961
r203C5	TIME_LIMIT	69,78	6,02	3.600,04	4.317.387,00	0,91	11,58414
rc105C5	TIME_LIMIT	123,46	6,34	3.600,10	4.981.163,00	0,95	19,48460
rc108C5	TIME_LIMIT	126,54	7,09	3.601,20	4.906.685,00	0,94	17,83977
rc204C5	TIME_LIMIT	67,00	5,91	3.600,10	5.607.378,00	0,91	11,33493
rc208C5	TIME_LIMIT	66,52	4,43	3.600,07	6.671.797,00	0,93	15,02642
PROMEDIO	0	86,24	6,80	3.600,19	6.153.911,17	0,92	13,02171

c101C10	TIME_LIMIT	186,45	11,69	3.600,10	2.237.116,00	0,94	15,95227
c104C10	TIME_LIMIT	83,94	8,50	3.600,27	2.166.576,00	0,90	9,87708
c202C10	TIME_LIMIT	77,55	8,50	3.600,22	2.013.822,00	0,89	9,11817
c205C10	TIME_LIMIT	74,51	8,13	3.600,08	2.804.363,00	0,89	9,16699
r102C10	TIME_LIMIT	179,62	9,08	3.600,13	2.128.539,00	0,95	19,78878
r103C10	TIME_LIMIT	121,53	6,16	3.600,11	2.129.734,00	0,95	19,72201
r201C10	TIME_LIMIT	75,02	8,48	3.600,06	2.272.824,00	0,89	8,84137
r203C10	TIME_LIMIT	74,23	6,47	3.600,11	2.144.709,00	0,91	11,48000
rc102C10	TIME_LIMIT	189,41	13,67	3.600,10	2.040.020,00	0,93	13,85384
rc108C10	TIME_LIMIT	184,87	10,05	3.600,08	2.018.756,00	0,95	18,39085
rc201C10	TIME_LIMIT	88,57	9,20	3.600,05	2.421.076,00	0,90	9,62751
rc205C10	TIME_LIMIT	130,39	12,14	3.600,08	2.246.374,00	0,91	10,74092
PROMEDIO	0	122,17	9,34	3.600,11	2.218.659,08	0,92	13,04665

Anexo N: Resultados para Z5 con MF2 y nS2

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	Tiempo/Nodos
c101C5	TIME_LIMIT	126,24	14,92	3.600,15	3.360.322,00	0,88	0,00107
c103C5	TIME_LIMIT	66,63	6,82	3.600,21	7.468.257,00	0,90	0,00048
c206C5	TIME_LIMIT	72,74	7,93	3.600,17	5.379.936,00	0,89	0,00067
c208C5	TIME_LIMIT	66,27	5,77	3.600,12	6.219.407,00	0,91	0,00058
r104C5	TIME_LIMIT	68,00	5,86	3.600,33	5.738.111,00	0,91	0,00063
r105C5	TIME_LIMIT	117,04	6,42	3.600,13	3.096.224,00	0,95	0,00116
r202C5	TIME_LIMIT	64,69	5,69	3.600,13	8.308.458,00	0,91	0,00043
r203C5	TIME_LIMIT	69,77	6,03	3.600,07	4.461.816,00	0,91	0,00081
rc105C5	TIME_LIMIT	123,46	6,12	3.600,35	4.369.382,00	0,95	0,00082
rc108C5	TIME_LIMIT	126,54	6,74	3.600,36	5.140.608,00	0,95	0,00070
rc204C5	TIME_LIMIT	67,00	5,58	3.600,13	6.319.426,00	0,92	0,00057
rc208C5	TIME_LIMIT	66,52	4,59	3.600,09	5.940.833,00	0,93	0,00061
PROMEDIO	0	86,24	6,87	3.600,19	5.483.565,00	0,92	0,00071
c101C10	TIME_LIMIT	186,45	11,68	3.600,22	2.415.745,00	0,94	0,00149
c104C10	TIME_LIMIT	83,94	8,87	3.600,09	1.881.674,00	0,89	0,00191
c202C10	TIME_LIMIT	77,55	8,34	3.600,08	2.015.853,00	0,89	0,00179
c205C10	TIME_LIMIT	74,51	8,94	3.600,10	2.557.179,00	0,88	0,00141
r102C10	TIME_LIMIT	179,62	9,31	3.600,19	1.974.572,00	0,95	0,00182
r103C10	TIME_LIMIT	121,53	6,16	3.600,32	1.897.099,00	0,95	0,00190
r201C10	TIME_LIMIT	75,02	8,66	3.600,17	2.224.748,00	0,88	0,00162
r203C10	TIME_LIMIT	74,23	6,29	3.600,08	1.663.884,00	0,92	0,00216
rc102C10	TIME_LIMIT	189,41	13,53	3.600,07	1.724.326,00	0,93	0,00209
rc108C10	TIME_LIMIT	184,87	10,06	3.600,09	1.890.213,00	0,95	0,00190
rc201C10	TIME_LIMIT	88,57	9,53	3.600,07	2.096.103,00	0,89	0,00172
rc205C10	TIME_LIMIT	130,39	13,03	3.600,08	2.347.277,00	0,90	0,00153

PROMEDIO	0	122,17	9,53	3.600,13	2.057.389,42	0,91	0,00178
-----------------	----------	---------------	-------------	-----------------	---------------------	-------------	----------------

Anexo O: Resultados para Z1 con MF0 y nS1.

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	Time/Nodos	Z1	Z2	Z3
c101C5	OPTIMAL	240,00	240,00	0,53	6.738,00	0,00	2	0,000078	240,00	2,00	8,00
c103C5	OPTIMAL	161,26	161,26	0,66	2.759,00	0,00	2	0,000238	161,26	2,00	8,00
c206C5	OPTIMAL	219,34	219,34	7,98	52.591,00	0,00	2	0,000152	219,34	2,00	12,00
c208C5	OPTIMAL	157,72	157,72	56,49	545.356,00	0,00	1	0,000104	157,72	1,00	9,00
r104C5	OPTIMAL	132,81	132,81	2,49	11.063,00	0,00	1	0,000225	132,81	1,00	9,00
r105C5	OPTIMAL	151,15	151,15	0,46	5.044,00	0,00	2	0,000091	151,15	2,00	10,00
r202C5	OPTIMAL	126,52	126,52	1,75	11.701,00	0,00	1	0,000149	126,52	1,00	13,00
r203C5	OPTIMAL	178,05	178,05	8,31	49.262,00	0,00	1	0,000169	178,05	1,00	9,00
rc105C5	OPTIMAL	227,18	227,18	19,63	127.348,00	0,00	2	0,000154	227,18	2,00	11,00
rc108C5	OPTIMAL	245,87	245,87	652,11	2.022.576,00	0,00	2	0,000322	245,87	2,00	11,00
rc204C5	OPTIMAL	172,03	172,03	303,01	1.846.109,00	0,00	1	0,000164	172,03	1,00	14,00
rc208C5	OPTIMAL	162,67	162,67	62,76	383.224,00	0,00	1	0,000164	162,67	1,00	10,00
PROMEDIO	12	181,22	181,22	93,01	421.980,92	0,00	1,50	0,00017	181,22	1,50	10,33
c101C10	OPTIMAL	366,33	366,33	35,97	56.697,00	0,00	3	0,000634	366,33	3,00	19,00
c104C10	OPTIMAL	234,22	234,22	44,59	77.493,00	0,00	1	0,000575	234,22	1,00	15,00
c202C10	OPTIMAL	239,84	239,84	44,40	54.942,00	0,00	2	0,000808	239,84	2,00	19,00
c205C10	OPTIMAL	226,01	226,01	8,65	18.441,00	0,00	2	0,000469	226,01	2,00	20,00
r102C10	OPTIMAL	241,14	241,14	2.467,78	4.380.406,00	0,00	3	0,000563	241,14	3,00	19,00
r103C10	TIME_LIMIT	188,67	157,39	3.600,07	4.726.190,00	0,17	2	0,000762	188,67	2,00	20,00
r201C10	OPTIMAL	204,94	204,94	40,46	61.507,00	0,00	3	0,000658	204,94	3,00	18,00
r203C10	TIME_LIMIT	213,65	199,17	3.600,12	5.125.094,00	0,07		0,000702	213,65	1,00	21,00
rc102C10	OPTIMAL	384,75	384,75	77,45	103.715,00	0,00	4	0,000747	384,75	4,00	22,00
rc108C10	TIME_LIMIT	329,79	312,81	3.600,03	4.946.208,00	0,05	2	0,000728	329,79	3,00	20,00
rc201C10	OPTIMAL	304,00	304,00	33,76	87.390,00	0,00	3	0,000386	304,00	3,00	17,00
rc205C10	OPTIMAL	321,36	321,36	52,64	125.566,00	0,00	2	0,000419	321,36	2,00	16,00
PROMEDIO	9	271,22	266,00	1.133,83	1.646.970,75	0,02	2,45	0,000621	271,22	2,42	18,83

Anexo P: Resultados para Z2 con MF0 y nS1.

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	TIME/NODOS	Z1	Z2	Z3
c101C5	OPTIMAL	2,00	2,00	9,49	60.736,00	0,00	2	0,00016	261,55	2,00	8,00
c103C5	OPTIMAL	1,00	1,00	23,74	148.962,00	0,00	1	0,00016	188,22	1,00	7,00
c206C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,02	19.040.026,00	1,00	1	0,00019	335,82	1,00	11,00
c208C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,01	26.171.194,00	1,00	1	0,00014	245,01	1,00	8,00
r104C5	OPTIMAL	1,00	1,00	2,69	5.504,00	0,00	1	0,00049	132,81	1,00	8,00
r105C5	OPTIMAL	2,00	2,00	940,20	9.941.934,00	0,00	2	0,00009	192,20	2,00	9,00

r202C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,03	34.869.253,00	1,00	1	0,00010	199,26	1,00	8,00
r203C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,00	27.301.324,00	1,00	1	0,00013	356,53	1,00	12,00
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,01	10.760.240,00	1,00	2	0,00033	227,18	2,00	11,00
rc108C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	11.272.011,00	1,00	2	0,00032	351,37	2,00	10,00
rc204C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,02	27.952.530,00	1,00	1	0,00013	343,10	1,00	10,00
rc208C5	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,00	36.526.960,00	1,00	1	0,00010	307,15	1,00	9,00
PROMEDIO	4	1,33	0,50	2.481,35	17.004.222,83	0,67	1,33	0,00020	261,68	1,33	9,25
c101C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,30	5.823.083,00	1,00	3	0,00062	378,42	3,00	16,00
c104C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	4.833.693,00	1,00	2	0,00074	501,32	2,00	16,00
c202C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,02	5.142.321,00	1,00	1	0,00070	384,28	1,00	17,00
c205C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,03	8.952.251,00	1,00	1	0,00040	315,14	1,00	13,00
r102C10	TIME_LIMIT	3,00	1,00	3.600,10	8.945.806,00	0,67	3	0,00040	316,80	3,00	14,00
r103C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	4.486.423,00	1,00	2	0,00080	249,09	2,00	15,00
r201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,03	10.373.436,00	1,00	1	0,00035	344,03	1,00	16,00
r203C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,01	8.639.832,00	1,00	1	0,00042	459,73	1,00	20,00
rc102C10	TIME_LIMIT	3,00	1,00	3.600,04	7.641.836,00	0,67	3	0,00047	416,16	3,00	18,00
rc108C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,01	3.405.510,00	1,00	2	0,00106	351,44	2,00	16,00
rc201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,05	7.792.368,00	1,00	1	0,00046	405,36	1,00	14,00
rc205C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,03	5.281.149,00	1,00	1	0,00068	517,26	1,00	17,00
PROMEDIO	0	1,75	0,17	3.600,06	6.776.475,67	0,94	1,75	0,00059	386,58	1,75	16,00

Anexo Q: Resultados para Z3 con MF0 y nS1.

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	TIME/NODOS	Z1	Z2	Z3
c101C5	OPTIMAL	3,00	3,00	716,43	7.390.647,00	0,00	2	0,00010	240,00	2,00	3,00
c103C5	OPTIMAL	1,00	1,00	147,14	871.580,00	0,00	2	0,00017	192,58	2,00	1,00
c206C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	13.693.236,00	1,00	2	0,00026	233,92	2,00	2,00
c208C5	TIME_LIMIT	2,00	1,00	3.600,01	31.499.862,00	0,50	2	0,00011	194,41	2,00	2,00
r104C5	OPTIMAL	1,00	1,00	1,00	5.027,00	0,00	2	0,00020	136,45	2,00	1,00
r105C5	OPTIMAL	1,00	1,00	3,42	17.096,00	0,00	2	0,00020	164,79	2,00	1,00
r202C5	OPTIMAL	1,00	1,00	423,87	1.508.971,00	0,00	2	0,00028	157,36	2,00	1,00
r203C5	TIME_LIMIT	2,00	1,00	3.600,02	17.684.306,00	0,50	2	0,00020	207,30	2,00	2,00
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	1,00	3.600,01	18.142.336,00	0,50	2	0,00020	239,19	2,00	2,00
rc108C5	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,02	11.125.723,00	1,00	2	0,00032	262,41	2,00	3,00
rc204C5	OPTIMAL	1,00	1,00	1.362,63	5.344.982,00	0,00	2	0,00025	185,52	2,00	1,00
rc208C5	TIME_LIMIT	2,00	1,00	3.600,00	31.596.952,00	0,50	2	0,00011	219,84	2,00	2,00
PROMEDIO	6	1,75	1,00	2.021,21	11.573.393,17	0,33	2,00	0,00020	202,81	2,00	1,75
c101C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,05	5.671.300,00	1,00	4	0,00063	390,20	4,00	3,00
c104C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,02	5.783.755,00	1,00	4	0,00062	357,30	4,00	1,00
c202C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,01	5.122.359,00	1,00	4	0,00070	310,37	4,00	1,00
c205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,04	9.147.743,00	1,00	4	0,00039	326,39	4,00	2,00
r102C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,01	5.851.008,00	1,00	4	0,00062	264,36	4,00	2,00

r103C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,02	8.179.669,00	1,00	4	0,00044	248,50	4,00	1,00
r201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,00	5.862.490,00	1,00	4	0,00061	238,53	4,00	1,00
r203C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,00	3.557.331,00	1,00	4	0,00101	306,56	4,00	2,00
rc102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,03	6.415.738,00	1,00	4	0,00056	418,50	4,00	3,00
rc108C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,01	4.944.337,00	1,00	4	0,00073	412,23	4,00	2,00
rc201C10	TIME_LIMIT	1,00	0,00	3.600,01	6.813.718,00	1,00	4	0,00053	329,05	4,00	1,00
rc205C10	TIME_LIMIT	2,00	1,00	3.600,02	8.719.060,00	0,50	4	0,00041	415,67	4,00	2,00
PROMEDIO	0	1,75	0,08	3.600,02	6.339.042,33	0,96	4,00	0,00061	334,81	4,00	1,75

Anexo R: Resultados para Z4 – 0.25 con MF0 y nS1.

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	TIME/NODOS	Z1	Z2	Z3
c101C5	OPTIMAL	2,25	2,25	857,93	12.002.462,00	0,00	2	7,14792E-05	261,55	2,00	3,00
c103C5	OPTIMAL	1,25	1,25	2.616,35	23.796.688,00	0,00	1	0,000109946	185,52	1,00	2,00
c206C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,03	9.637.939,00	1,00	1	0,000373527	257,62	1,00	3,00
c208C5	TIME_LIMIT	1,25	0,25	3.600,01	19.631.320,00	0,80	1	0,000183381	164,13	1,00	2,00
r104C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,02	12.048.999,00	1,00	1	0,000298782	145,67	1,00	3,00
r105C5	OPTIMAL	1,75	1,75	708,44	7.286.088,00	0,00	2	9,72316E-05	156,28	2,00	1,00
r202C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,03	15.502.948,00	1,00	1	0,000232216	145,47	1,00	2,00
r203C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,01	8.367.144,00	1,00	1	0,000430255	202,83	1,00	3,00
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,10	7.688.979,00	1,00	2	0,000468216	248,40	2,00	2,00
rc108C5	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,02	7.029.324,00	1,00	2	0,000512143	268,13	2,00	3,00
rc204C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,04	7.958.473,00	1,00	1	0,000452353	174,43	1,00	2,00
rc208C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,01	10.137.881,00	1,00	1	0,000355105	182,51	1,00	2,00
PROMEDIO	3	1,58	0,46	3.048,58	11.757.353,75	0,73	1,33	0,000299	199,38	1,33	2,33
c101C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,05	4.161.572,00	1,00	3	0,000865069	384,00	3,00	3,00
c104C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,01	3.342.486,00	1,00	2	0,001077046	333,62	2,00	3,00
c202C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,01	4.210.119,00	1,00	1	0,000855086	282,44	1,00	4,00
c205C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,02	6.939.583,00	1,00	1	0,000518766	292,86	1,00	4,00
r102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,75	3.600,07	6.602.590,00	0,75	3	0,000545251	292,39	3,00	3,00
r103C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,02	4.054.316,00	1,00	2	0,000887947	224,44	2,00	3,00
r201C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,03	5.014.832,00	1,00	1	0,000717876	273,09	1,00	4,00
r203C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,05	3.443.266,00	1,00	1	0,001045532	237,97	1,00	4,00
rc102C10	TIME_LIMIT	3,25	0,00	3.600,04	4.660.357,00	1,00	3	0,000772481	385,22	3,00	4,00
rc108C10	TIME_LIMIT	2,75	0,00	3.600,01	2.632.069,00	1,00	2	0,00136775	339,07	2,00	5,00
rc201C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,06	5.316.052,00	1,00	1	0,000677205	402,21	1,00	6,00
rc205C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,02	4.704.219,00	1,00	2	0,000765275	357,93	2,00	3,00
PROMEDIO	0	2,33	0,06	3.600,03	4.590.121,75	0,98	1,83	0,000841	317,10	1,83	3,83

Anexo S: Resultados para Z4 – 0.5 con MF0 y nS1.

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	TIME/NODOS	Z1	Z2	Z3
c101C5	OPTIMAL	2,50	2,50	1.187,58	14.018.869,00	0,00	2	0,00008	261,55	2,00	3,00
c103C5	TIME_LIMIT	1,50	0,50	3.600,01	23.657.909,00	0,67	1	0,00015	182,22	1,00	2,00
c206C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,04	9.320.297,00	1,00	2	0,00039	229,09	2,00	2,00
c208C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,00	14.270.653,00	1,00	1	0,00025	165,83	1,00	2,00
r104C5	OPTIMAL	1,50	1,50	1.489,62	9.741.136,00	0,00	2	0,00015	136,45	2,00	1,00
r105C5	OPTIMAL	1,50	1,50	212,05	1.924.767,00	0,00	2	0,00011	168,67	2,00	1,00
r202C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,02	15.583.370,00	1,00	1	0,00023	152,34	1,00	2,00
r203C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,03	8.251.499,00	1,00	1	0,00044	189,74	1,00	3,00
rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	8.275.382,00	1,00	2	0,00044	235,73	2,00	2,00
rc108C5	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,02	7.323.981,00	1,00	2	0,00049	268,13	2,00	3,00
rc204C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,02	8.488.043,00	1,00	1	0,00042	176,00	1,00	2,00
rc208C5	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,05	9.413.508,00	1,00	1	0,00038	171,29	1,00	2,00
PROMEDIO	3	1,79	0,50	2.940,79	10.855.784,50	0,72	1,50	0,00029	194,75	1,50	2,08
c101C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,09	3.836.755,00	1,00	3	0,00094	384,00	3,00	3,00
c104C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	3.262.785,00	1,00	2	0,00110	280,59	2,00	2,00
c202C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	3.815.733,00	1,00	2	0,00094	259,97	2,00	2,00
c205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,04	6.645.881,00	1,00	2	0,00054	226,02	2,00	2,00
r102C10	TIME_LIMIT	3,00	0,50	3.600,07	5.092.515,00	0,83	3	0,00071	296,48	3,00	3,00
r103C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	3.920.040,00	1,00	3	0,00092	220,53	3,00	1,00
r201C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,04	4.565.492,00	1,00	2	0,00079	210,16	2,00	2,00
r203C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,01	3.089.150,00	1,00	1	0,00117	226,65	1,00	4,00
rc102C10	TIME_LIMIT	3,50	0,00	3.600,04	4.526.570,00	1,00	4	0,00080	407,63	4,00	3,00
rc108C10	TIME_LIMIT	3,00	0,00	3.600,04	2.854.025,00	1,00	3	0,00126	373,09	3,00	3,00
rc201C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.601,14	5.899.220,00	1,00	4	0,00061	328,98	4,00	1,00
rc205C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,01	4.567.264,00	1,00	2	0,00079	356,45	2,00	3,00
PROMEDIO	0	2,50	0,04	3.600,13	4.339.619,17	0,99	2,58	0,00088	297,55	2,58	2,42

Anexo T: Resultados para Z4 – 0.75 con MF0 y nS1.

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	TIME/NODOS	Z1	Z2	Z3
c101C5	OPTIMAL	2,75	2,75	2.750,83	28.642.925,00	0,00	2	0,000096	261,55	2,00	3,00
c103C5	TIME_LIMIT	1,25	0,25	3.600,01	36.551.455,00	0,80	2	0,000098	192,63	2,00	1,00
c206C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	8.757.241,00	1,00	2	0,000411	229,09	2,00	2,00
c208C5	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,02	15.711.792,00	1,00	1	0,000229	160,04	1,00	2,00
r104C5	OPTIMAL	1,25	1,25	702,11	5.445.178,00	0,00	2	0,000129	139,70	2,00	1,00
r105C5	OPTIMAL	1,25	1,25	199,83	1.816.074,00	0,00	2	0,000110	156,08	2,00	1,00
r202C5	TIME_LIMIT	1,25	0,00	3.600,00	15.031.494,00	1,00	2	0,000239	142,65	2,00	1,00
r203C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	8.373.223,00	1,00	2	0,000430	192,89	2,00	2,00

rc105C5	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,02	8.401.421,00	1,00	2	0,000429	233,90	2,00	2,00
rc108C5	TIME_LIMIT	2,75	0,00	3.600,01	7.337.099,00	1,00	2	0,000491	268,13	2,00	3,00
rc204C5	TIME_LIMIT	1,25	0,25	3.600,01	17.117.861,00	0,80	2	0,000210	184,13	2,00	1,00
rc208C5	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,02	9.694.161,00	1,00	1	0,000371	186,23	1,00	2,00
PROMEDIO	3	1,77	0,48	3.004,41	13.573.327,00	0,72	1,83	0,000270	195,59	1,83	1,75
c101C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,03	3.308.110,00	1,00	4	0,001088	403,89	4,00	2,00
c104C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,02	2.678.257,00	1,00	4	0,001344	360,03	4,00	1,00
c202C10	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,00	3.471.881,00	1,00	3	0,001037	284,16	3,00	1,00
c205C10	TIME_LIMIT	2,00	0,00	3.600,08	6.985.561,00	1,00	2	0,000515	290,61	2,00	2,00
r102C10	TIME_LIMIT	2,50	0,25	3.600,04	6.093.446,00	0,90	4	0,000591	258,05	4,00	2,00
r103C10	TIME_LIMIT	1,50	0,00	3.600,02	3.664.065,00	1,00	3	0,000983	220,53	3,00	1,00
r201C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,07	5.409.192,00	1,00	4	0,000666	270,68	4,00	1,00
r203C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,01	2.826.841,00	1,00	4	0,001274	307,97	4,00	2,00
rc102C10	TIME_LIMIT	3,25	0,00	3.600,04	5.248.635,00	1,00	4	0,000686	445,53	4,00	3,00
rc108C10	TIME_LIMIT	2,50	0,00	3.600,01	2.753.319,00	1,00	4	0,001308	407,90	4,00	2,00
rc201C10	TIME_LIMIT	1,75	0,00	3.600,01	5.581.815,00	1,00	4	0,000645	329,05	4,00	1,00
rc205C10	TIME_LIMIT	2,25	0,00	3.600,08	4.026.540,00	1,00	3	0,000894	366,91	3,00	2,00
PROMEDIO	0	2,15	0,02	3.600,03	4.337.305,17	0,99	3,58	0,000919	328,78	3,58	1,67

Anexo U: Resultados para Z5 con MF0 y nS1.

Instancias	Status	F.O	BB	Time	Nodos	Gap	N° Rutas	TIME/NODOS	Z1	Z2	Z3
c101C5	OPTIMAL	126,24	126,24	629,98	12.174.999,00	0,00	2	0,000052	240,00	2,00	3,00
c103C5	TIME_LIMIT	66,63	15,34	3.600,10	3.279.299,00	0,77	0	0,001098	164,82	1,00	2,00
c206C5	TIME_LIMIT	72,74	11,47	3.600,49	3.505.986,00	0,84	1	0,001027	236,51	1,00	3,00
c208C5	TIME_LIMIT	66,27	12,87	3.600,13	3.421.976,00	0,81	1	0,001052	157,72	1,00	2,00
r104C5	TIME_LIMIT	68,00	11,51	3.600,22	2.759.673,00	0,83	1	0,001305	143,21	1,00	3,00
r105C5	TIME_LIMIT	117,04	66,54	3.600,06	2.841.999,00	0,43	2	0,001267	156,08	2,00	1,00
r202C5	TIME_LIMIT	64,69	7,00	3.600,13	4.195.948,00	0,89	0	0,000858	126,52	1,00	2,00
r203C5	TIME_LIMIT	69,78	9,42	3.600,16	4.514.469,00	0,87	1	0,000797	178,05	1,00	3,00
rc105C5	TIME_LIMIT	123,46	11,87	3.600,14	2.819.892,00	0,90	1	0,001277	233,90	2,00	2,00
rc108C5	TIME_LIMIT	126,54	10,64	3.600,24	3.066.050,00	0,92	2	0,001174	245,87	2,00	3,00
rc204C5	TIME_LIMIT	67,00	8,25	3.600,29	6.204.164,00	0,88	0	0,000580	172,03	1,00	2,00
rc208C5	TIME_LIMIT	66,52	8,38	3.600,27	4.712.370,00	0,87	1	0,000764	162,67	1,00	2,00
PROMEDIO	1	86,24	24,96	3.352,68	4.458.068,75	0,75	1,00	0,000938	184,78	1,33	2,33
c101C10	TIME_LIMIT	186,45	23,79	3.600,22	2.643.092,00	0,87	3	0,001362	375,60	3,00	3,00
c104C10	TIME_LIMIT	80,04	11,80	3.600,10	3.041.935,00	0,85	0	0,001183	234,22	1,00	6,00
c202C10	TIME_LIMIT	77,55	11,79	3.600,09	3.224.206,00	0,85	1	0,001117	282,44	1,00	4,00
c205C10	TIME_LIMIT	74,51	65,54	3.600,10	3.351.904,00	0,12	1	0,001074	271,31	1,00	3,00
r102C10	TIME_LIMIT	179,62	65,91	3.600,14	3.579.150,00	0,63	3	0,001006	241,14	3,00	3,00
r103C10	TIME_LIMIT	121,53	7,32	3.600,06	3.913.927,00	0,94	2	0,000920	195,89	2,00	2,00
r201C10	TIME_LIMIT	75,02	10,49	3.600,22	3.005.313,00	0,86	0	0,001198	232,64	1,00	4,00

r203C10	TIME_LIMIT	72,38	9,23	3.600,10	3.289.524,00	0,87	1	0,001094	229,23	1,00	3,00
rc102C10	TIME_LIMIT	189,41	45,01	3.600,15	2.327.802,00	0,76	3	0,001547	385,22	3,00	4,00
rc108C10	TIME_LIMIT	135,74	13,88	3.600,09	2.809.366,00	0,90	2	0,001281	329,79	2,00	5,00
rc201C10	TIME_LIMIT	88,57	15,63	3.600,14	2.878.098,00	0,82	1	0,001251	402,21	1,00	6,00
rc205C10	TIME_LIMIT	98,81	17,03	3.600,07	3.311.897,00	0,83	1	0,001087	506,48	1,00	8,00
PROMEDIO	0	114,97	24,78	3.600,12	3.114.684,50	0,78	1,50	0,001177	307,18	1,67	4,25