

2015-11

# FORMULACIÓN DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA PARA EL RUTEO DE VEHÍCULOS DE MANTENCIONES CORRECTIVAS EN EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

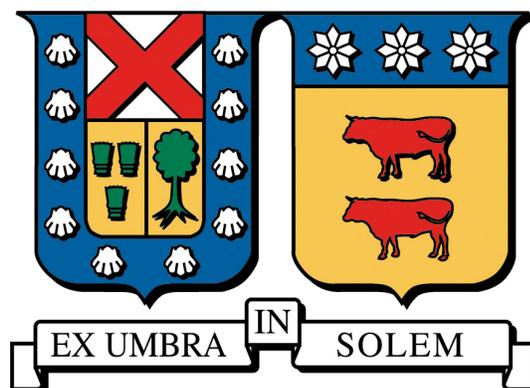
MORENO BOUR, PILAR IGNACIA

---

<https://hdl.handle.net/11673/49701>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS  
VALPARAÍSO - CHILE



**FORMULACIÓN DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA  
PARA EL RUTEO DE VEHÍCULOS DE MANTENCIONES CORRECTIVAS EN  
EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**

Memoria presentada por

**PILAR IGNACIA MORENO BOUR**

como requisito parcial para optar al título de  
**Ingeniero Civil Industrial**

PROFESOR GUÍA : PABLO ESCALONA R.  
PROFESOR CORREFERENTE : RAUL STEGMAIER B.

NOVIEMBRE, 2015



## AGRADECIMIENTOS

En estas líneas quiero agradecer a todos quienes me ayudaron y apoyaron durante este gran desafío, no sólo de esta tesis sino que también en el largo camino que significó sacar la carrera. En primer lugar, quiero agradecer a mis padres Maria Eugenia Bour y Marcelo Moreno, quienes han dado lo mejor de sí durante estos últimos 24 años para criarme e inculcarme valores, entregándome siempre su amor y apoyo incondicional. A mi hermana Renata, la mayor bendición que pudo suceder en mi vida y a todos aquellos miembros de mi familia que me han entregado un apoyo infinito, incluyendo a mis tías Jaqueline, Julia y mi tío Jorge Bour.

Otro pilar fundamental en mi vida han sido mis amigas: Jesu, Koty, Pame y Goshy que me han apoyado y acompañado en todos los buenos y malos momentos de mi vida. En especial, quiero agradecer a mi compañera de departamento y gran amiga Constanza Boccazzi por haber compartido junto a mí 6 años de esta linda etapa. También quiero agradecer a mis compañeros y amigos con quienes compartí mis años universitarios e hicieron que esta etapa sea memorable, llena de buenos recuerdos, risas y muchísimas anécdotas. Entre ellos quiero mencionar a Patoff, Fabi, Nico Pastene y todo el grupo Geografía PUCV.

Quisiera agradecer también a cada una de las personas que aportaron con un granito de arena en esta linda etapa, entre ellos a quien me ayudó siempre con la redacción de mis trabajos universitarios, a aquellos que fueron mis compañeros de estudio y quienes me apoyaron de alguna manera cuando los necesité.

En cuanto a aquellas personas que hicieron posible la realización de esta memoria quiero agradecer a Ismael Kauak y Simón Gómez por todo el tiempo y dedicación que me entregaron.

Además quiero agradecer a mi profesor guía Pablo Escalona, por toda su ayuda, orientación y apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, quiero agradecer a la empresa Chilquinta Energía S.A. por la oportunidad de realizar mi trabajo de memoria y la gran acogida que me entregaron durante mi estadia.

---

## RESUMEN EJECUTIVO

El área de Servicio Técnico de Chilquinta Energía S.A. desarrolla las mantenciones correctivas de la red de media y baja tensión a medida que son requeridas por los clientes. El Centro de Comando, unidad del Servicio Técnico, gestiona los recursos de atención en terreno que debe considerar, entre otros aspectos, las exigencias impuestas por la Superintendencia de Electricidad y Combustible de Chile, donde el tiempo límite de concurrencia es una condición relevante. El proceso de asignación y priorización de las órdenes que ingresan al sistema es desarrollada por el operador del Centro de Comando, quien apoya la toma de decisión a través de inspección visual, criterio personal y experiencia, provocando que el proceso sea susceptible a sesgos y errores humanos.

Para detectar las problemáticas asociadas al proceso descrito, se realiza un diagnóstico con el fin de determinar oportunidades de mejora. De esta manera, se propone una metodología que apoye la toma de decisiones, eliminando la subjetividad y estandarizando las acciones de los operadores. Dicha metodología considera la resolución del problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, el cual es formulado considerando una función multiobjetivo que minimiza la distancia total recorrida y las penalizaciones por los atrasos.

Para evaluar el desempeño del modelo propuesto se realizan 2 tipos de pruebas. La primera consiste en medir los tiempos CPU en función de la cantidad de nodos de la red, de esta medición se obtiene que el problema puede resolver hasta 12 órdenes en tiempos computacionales menores a 60 segundos mediante un método exacto. La segunda prueba consiste en medir el nivel de servicio entregado por el modelo en instancias reales correspondientes a turnos de operación del año 2014. Al comparar los resultados con el desempeño de la empresa en las mismas condiciones, se observa un 83 % de disminución en los tiempos de atraso, un aumento en el cumplimiento del tiempo de concurrencia de un 75 % a un 94 % y un 55 % de disminución en los tiempos de traslados. Por lo tanto, la metodología permite aumentar la capacidad de atención de los móviles y la productividad del área.

---

## ABSTRACT

Technical Services area of Chilquinta S.A. develops corrective maintenances of the medium and low voltage network when are required by customers. The Comand Center, a part of Technical Service, manages field attention resources to consider, among other aspects, the requirements imposed by Superintendencia de Electricidad y Combustible de Chile, where the limit concurrence time is a relevant condition. The process of allocation and prioritization of the orders that enter to system is performed by the Comand Center operator, who supports decision making through visual inspection, personal criteria and experience, which causes the process susceptible to human errors and biases. To detect problems associate with the process before described, a diagnostic is performed in order to determinate improvement opportunities. For this reason, a methodology that support decision making is proposed, eliminating the subjectivity and standardizing the actions of operators. This methodology considers the resolution of the vehicle routing problem with time windows, which is formulate considering a multiobjective function that minimizes total travelled distance and delay penalties. To evaluate the performance of the proposed model, two type of test are made. The first one is to measure the CPU time in function of the number of nodes in the network, this measure shows that the problem can solve up to 12 orders with computational times less than 60 seconds with an exact method. The second test consist in measure the service level given by the model in real instances considering the operational shifts of 2014. When comparing results with the company performance under the same conditions, 83 % of diminutions in delays times are observed, the compliance concurrence time increased from 75 % to 94 % and the travelled time decreases in 55 %. In conclusion, the proposed methodology allows to increase the vehicle attention capacity and the productivity of the area.

# Índice de Contenidos

<b>1. Antecedentes de la Empresa</b>	<b>1</b>
1.1. Empresa	1
1.1.1. Historia	3
1.1.2. Propiedad	4
1.1.3. Productos y Servicios	4
1.1.4. Cobertura	5
1.1.5. Estadísticas de Producción y Ventas	6
1.1.6. Estructura Organizacional	6
1.1.7. Dotación de Personal	7
1.1.8. Misión y Visión	7
1.2. Servicio Técnico	8
1.2.1. Descripción del área	8
1.2.2. Principales Cargos y Funciones	9
1.3. Proceso de Priorización y Asignación de fallas	11
1.3.1. Sistemas de información y TICS	12
1.3.2. Descripción del proceso	13
<b>2. Antecedentes Generales</b>	<b>17</b>
2.1. Diagnóstico	17
2.1.1. Entrevistas	18
2.1.2. Método SIPOC	18
2.1.3. Línea base de indicadores	22
2.1.4. Resultados Encuesta	28
2.1.5. Conclusiones diagnóstico	37
2.2. Contexto de la investigación	41
2.2.1. Problemática	41
2.2.2. Objetivos	43
2.2.3. Alcance	44
2.2.4. Metodología	44
<b>3. Marco Teórico</b>	<b>46</b>
3.1. Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)	46
3.1.1. Tipos de VRP	48
3.1.2. Problema de Ruteo con Ventanas de Tiempo (VRPTW)	50
3.2. Tipos de Formulación	54

3.2.1. Programación con Restricciones . . . . .	54
3.2.2. Programación lineal entera mixta . . . . .	54
3.3. Técnicas de Solución . . . . .	55
3.3.1. Métodos Exactos . . . . .	55
3.3.2. Heurísticas . . . . .	56
3.3.3. Metaheurísticas . . . . .	57
<b>4. Formulación del Problema</b> . . . . .	<b>58</b>
4.1. Contexto . . . . .	58
4.2. Formulación del Modelo . . . . .	60
<b>5. Estudio Computacional</b> . . . . .	<b>64</b>
5.1. Descripción de instancias . . . . .	65
5.2. Resultados . . . . .	67
<b>6. Conclusiones</b> . . . . .	<b>73</b>
<b>Bibliografía</b> . . . . .	<b>76</b>
<b>A. Información Empresa</b> . . . . .	<b>79</b>
<b>B. Instancia para tiempos computacionales</b> . . . . .	<b>80</b>
<b>C. Resultados tiempos CPU</b> . . . . .	<b>81</b>
<b>D. Instancia para comparación tiempos de espera</b> . . . . .	<b>82</b>
<b>E. Resultados prueba tiempos de espera, transporte y rutas</b> . . . . .	<b>93</b>

# Índice de Tablas

1.1. Accionistas Chilquinta Energía S.A. a diciembre 2014 . . . . .	4
1.2. Clientes y Ventas de Chilquinta Energía últimos 5 años . . . . .	6
1.3. Dotación de personal Chilquinta Energía S.A. a diciembre 2014 . . . . .	7
2.1. Tiempos promedio de Asignación y Concurrencia para órdenes urbanas y rurales . . . . .	24
2.2. Tiempos de asignación y Concurrencia según prioridad Power On . . . . .	28
2.3. Escala Likert . . . . .	29
5.1. Atrasos Chilquinta versus Modelo . . . . .	71
5.2. Add caption . . . . .	72
A.1. Vehículos disponibles por zona y por turno . . . . .	79
A.2. Coordenadas Depot por zona . . . . .	79
A.3. Ventanas de Tiempo según turno . . . . .	79
B.1. Prueba para tiempos CPU, turno 21 de mayo contingencia . . . . .	80
C.1. Resultados tiempos computacionales en segundos . . . . .	81
D.1. Prueba 1: Tarde Valparaíso . . . . .	82
D.2. Prueba 2: Mañana Valparaíso . . . . .	82
D.3. Prueba 3: Tarde Valparaíso . . . . .	83
D.4. Prueba 4: Tarde San Antonio . . . . .	83
D.5. Prueba 5: Mañana San Antonio . . . . .	83
D.6. Prueba 6: Mañana Los Andes . . . . .	84
D.7. Prueba 7: Tarde Los Andes . . . . .	84
D.8. Prueba 8: Tarde Valparaíso . . . . .	84
D.9. Prueba 9: Mañana Valparaíso . . . . .	85
D.10. Prueba 10: Tarde Valparaíso . . . . .	85
D.11. Prueba 11: Mañana Valparaíso . . . . .	85
D.12. Prueba 12: Tarde San Antonio . . . . .	86
D.13. Prueba 13: Mañana San Antonio (2 Móviles, caso excepcional) . . . . .	86
D.14. Prueba 14: Tarde San Antonio . . . . .	86
D.15. Prueba 15: Mañana San Antonio . . . . .	86
D.16. Prueba 16: Tarde San Antonio (2 Móviles, caso excepcional) . . . . .	87
D.17. Prueba 17: Mañana San Antonio . . . . .	87

D.18.Prueba 18: Mañana San Antonio . . . . .	87
D.19.Prueba 19: Mañana Los Andes . . . . .	88
D.20.Prueba 20: Mañana Los Andes . . . . .	88
D.21.Prueba 21: Tarde Los Andes . . . . .	88
D.22.Prueba 22, Tarde Los Andes . . . . .	89
D.23.Prueba 23: Mañana Los Andes . . . . .	89
D.24.Prueba 24: Mañana Los Andes . . . . .	89
D.25.Prueba 25: Mañana Los Andes . . . . .	90
D.26.Prueba 26: Mañana Los Andes . . . . .	90
D.27.Prueba 27: Tarde Valparaíso . . . . .	90
D.28.Prueba 28: Noche Valparaíso . . . . .	91
D.29.Prueba 29: Mañana Valpraíso . . . . .	91
D.30.Prueba 30: Tarde Valpraíso . . . . .	91
D.31.Prueba 31: Tarde Valparaíso . . . . .	91
D.32.Prueba 32: Tarde Valpraíso . . . . .	92
E.1. Resultados Beneficios Modelo . . . . .	94
E.2. Rutas Sugeridas Modelo . . . . .	95

# Índice de Figuras

1.1. Grupo Empresa Chilquinta Energía S.A. . . . . .	2
1.2. Área de Operación Empresa Chilquinta Energía S.A. . . . . .	5
1.3. Organigrama Chilquinta Energía S.A. . . . . .	6
1.4. Organigrama Servicio Técnico Chilquinta . . . . .	10
1.5. Diagrama de flujo Proceso de Generación y Asignación de fallas . . . . .	15
1.6. Proceso de Priorización y Asignación de Fallas Chilquinta . . . . .	16
2.1. SIPOC de Proceso de priorización y asignación de Órdenes Power On . . . . .	19
2.2. BPM real del proceso de priorización y asignación de fallas . . . . .	21
2.3. Atenciones Servicio Técnico 2014 . . . . .	22
2.4. Actividades promedio por turno . . . . .	23
2.5. Cumplimiento Tiempos de Concurrencia por zona . . . . .	24
2.6. Tiempo de Concurrencia por intervalo de tiempo según tipo de comuna . . . . .	25
2.7. Estado del indicador ETR para órdenes con más de 10 clientes . . . . .	26
2.8. Confirmación de ETR por trabajador . . . . .	27
2.9. Pregunta 1 Encuesta . . . . .	30
2.10. Pregunta 2 Encuesta . . . . .	31
2.11. Pregunta 3 Encuesta . . . . .	31
2.12. Pregunta 4 Encuesta . . . . .	32
2.13. Pregunta 5 Encuesta . . . . .	32
2.14. Pregunta 6 Encuesta . . . . .	33
2.15. Pregunta 7 Encuesta . . . . .	33
2.16. Pregunta 8 Encuesta . . . . .	34
2.17. Pregunta 9 Encuesta . . . . .	35
2.18. Pregunta 10 Encuesta . . . . .	36
2.19. Pregunta 11 Encuesta . . . . .	36
3.1. VRP Clásico . . . . .	48
3.2. Nodo crítico . . . . .	53
5.1. Prueba Tiempos CPU . . . . .	67
5.2. Instancia 23, zona Los Andes Chilquinta . . . . .	68
5.3. Instancia 11, zona Valparaíso Chilquinta . . . . .	69
5.4. Instancia 14, zona San Antonio Chilquinta . . . . .	70
5.5. Tiempos de Atraso Modelo versus Chilquinta . . . . .	71

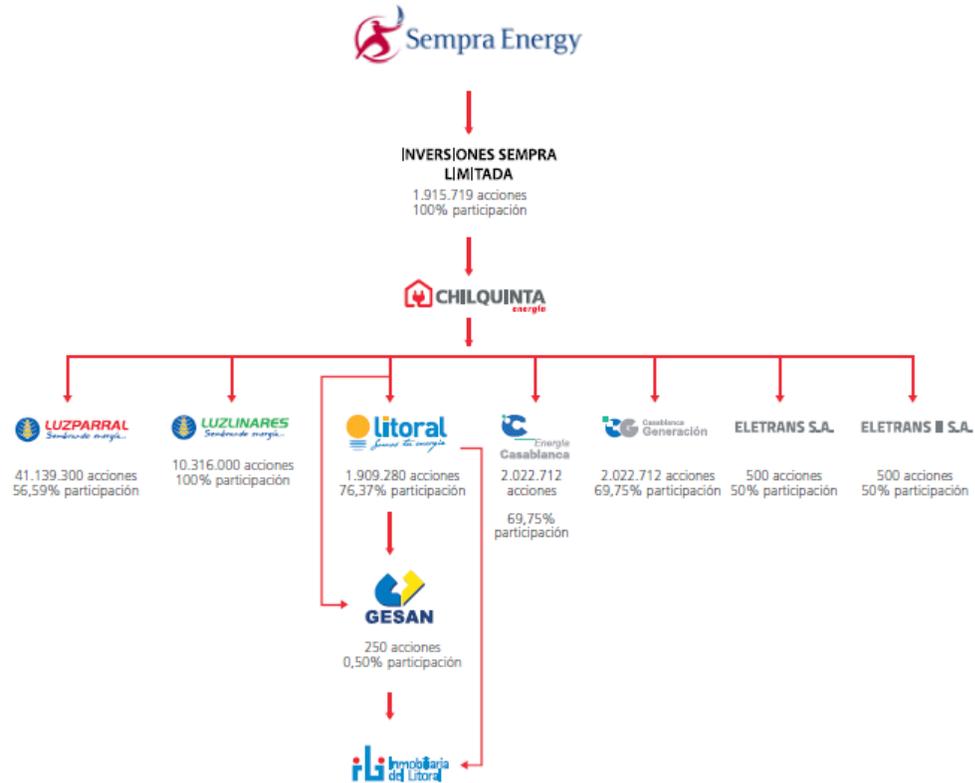
# Capítulo 1

## Antecedentes de la Empresa

### 1.1. Empresa

Chilquinta Energía S.A. (Chilquinta) es una empresa perteneciente al grupo Sempra Energy International (Sempra), su objeto principal es la distribución y suministro de energía eléctrica a todos los clientes pertenecientes a su área de concesión -regiones de Valparaíso, del Maule y Biobío- Esta operación es realizada en forma directa e indirecta a través de seis filiales: Compañía Eléctrica del Litoral S.A., Energía de Casablanca S.A., Casablanca Generación S.A., Luzlinares S.A., Luzparral S.A. y Eletrans.

A Continuación se muestra la estructura corporativa de Sempra, Chilquinta y sus filiales:



**Figura 1.1:** Grupo Empresa Chilquinta Energía S.A.

Actualmente la compañía atiende a más de 549 mil clientes en su zona de concesión, lo que la convierte en el tercer actor a nivel nacional en ventas de energía, y en el cuarto en términos de número de usuarios, abarcando el 9 % del mercado de distribución de energía eléctrica en Chile.

Chilquinta, al igual que el resto de las empresas de la industria, está expuesta a regulaciones externas como la fijación de sus tarifas, la cual es realizada por la Comisión Nacional de Energía (CNE). También está sujeta a regulaciones que aseguran la calidad del servicio realizadas por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

El negocio eléctrico de Chilquinta, se basa principalmente en la distribución de energía dentro de un área geográfica concesionada, lo que produce un monopolio natural, es decir no sujeta a competencia económicamente factible en lo relativo a los clientes regulados, que componen la mayor parte de su base de clientes (aproximadamente 83 % de los ingresos). Estas concesiones son de carácter indefinidas, lo que otorga una alta seguridad a la continuidad de operaciones de la empresa.

### 1.1.1. Historia

La Compañía Chilena de Electricidad Ltda. surgió en 1921, de la fusión de dos empresas: la sociedad Chilean Electric Tramway and Light Co. (1889) y la Compañía Nacional de Fuerza Eléctrica (1919). Conocida como Chilectra Ltda. operó durante 60 años, para en 1981 adoptar la estructura de holding, compuesto por una casa matriz y tres filiales, una de las cuales fue Chilectra Quinta Región S.A., que más adelante tomó el nombre de Chilquinta S.A. En 1986 comenzó el proceso de privatización por medio de la venta de acciones. En 1987, la Compañía experimentó transformaciones que le permitieron diversificar sus inversiones, principalmente hacia el área de servicios básicos. Más adelante, en 1992, en asociación con Gener S.A., adquirió el control del principal generador termoeléctrico de Argentina, Central Puerto S.A. y, en 1994, Luz del Sur S.A., empresa de distribución eléctrica de la ciudad de Lima, Perú. Con el fin de optimizar la gestión, Chilquinta S.A. comenzó en 1995 un proceso de filiación el que concluyó con la creación de Chilquinta Energía S.A., inscrita en las bolsas de valores con el nombre de Enerquinta, a la que Chilquinta S.A. traspasó la totalidad de sus activos eléctricos y zona de concesión. El proceso de expansión continuó en 1996, cuando la Empresa adquirió el control de las empresas eléctricas Energía de Casablanca S.A., Compañía Eléctrica del Litoral S.A., Luzparral S.A. y Luzlinares S.A., ampliando su zona de cobertura hacia las regiones del Maule y del Bío Bío. Asimismo, en 1998 comenzó la distribución de gas natural en la Región de Valparaíso creando la empresa filial Energas S.A. En 1999, Chilquinta Energía S.A. fue transferida, por su matriz Chilquinta S.A., a la Sociedad de Inversiones SEMPRA-PSEG Chile Ltda, consorcio, formado por las empresas estadounidenses Sempra Energy International y PSEG Global, de amplia experiencia mundial en servicios de distribución eléctrica y de gas natural. Más adelante, en 2007, PSEG Global transfirió el 100 % de su participación en PSEG Americas –poseedor del 50 % del capital accionario de Chilquinta Energía S.A.– a la sociedad AEI Chile Holding Ltd., con lo que, indirectamente, esta última adquirió el 50 % de las acciones de Chilquinta Energía S.A. En 2011, el Grupo Sempra Energy adquirió a AEI la totalidad de las acciones de la Empresa, lo cual lo convirtió en único dueño y controlador de Chilquinta Energía S.A. Con fecha 27 de noviembre de 2012, Chilquinta Energía S.A. adquirió de Luzagro S.A. la cantidad de 1.547.399 acciones de la

sociedad Luzlinares S.A., operación en virtud de la cual Chilquinta Energía S.A. quedó con el 100 % de las acciones de su filial Luzlinares S.A. Durante el año 2014, Chilquinta Energía S.A. adquirió 19.105 acciones de la sociedad Compañía Eléctrica del Litoral S.A., totalizando 1.909.280 acciones, que representa el 76,37 % del capital accionario de dicha empresa.

### 1.1.2. Propiedad

Al 31 de diciembre de 2014 la propiedad de Chilquinta, se distribuía de la siguiente manera:

**Tabla 1.1:** Accionistas Chilquinta Energía S.A. a diciembre 2014

Nómina de Accionistas	RUT	Nº de Acciones	Porcentaje Propiedad
Inversiones Sempra Limitada	77.811.200-0	1.915.719	99,99995 %
Sempra Chilean Equity Ltd.	59.078.040-5	1	0,00005 %
Total		1.915.720	100 %

Sempra Energy es un grupo empresarial creado en 1998, con enfoque en el sector eléctrico, a través de generación y distribución eléctrica, servicios de transporte, almacenamiento y distribución de gas natural, atendiendo a más de 31 millones de clientes a nivel mundial.

En América Latina, además de Chile, cuenta con operaciones de distribución de gas natural en México, y de distribución eléctrica en Perú.

### 1.1.3. Productos y Servicios

El principal rubro en el que se desarrolla Chilquinta, es la distribución y transporte de energía eléctrica por medio de su red de medio y bajo voltaje. Encargada de suministrar energía a los consumidores residenciales, comerciales e industriales pertenecientes a su área de concesión, además entrega prestaciones de servicios ligados al suministro y funcionamiento eléctrico.

Para complementar el servicio entregado, Chilquinta ofrece diversos productos relacionados con aspectos comerciales, tales como; seguro de desempleo e incapacidad temporal, tarjeta

de crédito Chilquinta, servicio de asistencia y protección familiar, venta de electrodomésticos en las oficinas comerciales, entre otros.

#### 1.1.4. Cobertura

Chilquinta Energía S.A. distribuye energía eléctrica mayoritariamente a las provincias de: Valparaíso, Marga Marga, Quillota, San Felipe, Los Andes y San Antonio. Comprendiendo 11.496 km<sup>2</sup> en la Región de Valparaíso.

Durante el 2014, la Compañía alcanzó un crecimiento de 2,5 % con respecto al período anterior, cerrando el año con 549.194 clientes. En lo que respecta a las filiales de Chilquinta, éstas distribuyen energía eléctrica a más de 107 mil clientes en las regiones de Valparaíso, del Maule y del Bío-Bío. A continuación se muestra de manera gráfica el área de operación que posee Chilquinta en la V región:



**Figura 1.2:** Área de Operación V Región Empresa Chilquinta Energía S.A.

Para la atención de sus clientes, Chilquinta cuenta con una red de oficinas y sucursales distribuidas en las ciudades de: Valparaíso, Viña del Mar, Concón, Quintero, Quilpué, Villa Alemana, Limache, Quillota, La Calera, San Felipe, Los Andes, Llay Llay y San Antonio.

### 1.1.5. Estadísticas de Producción y Ventas

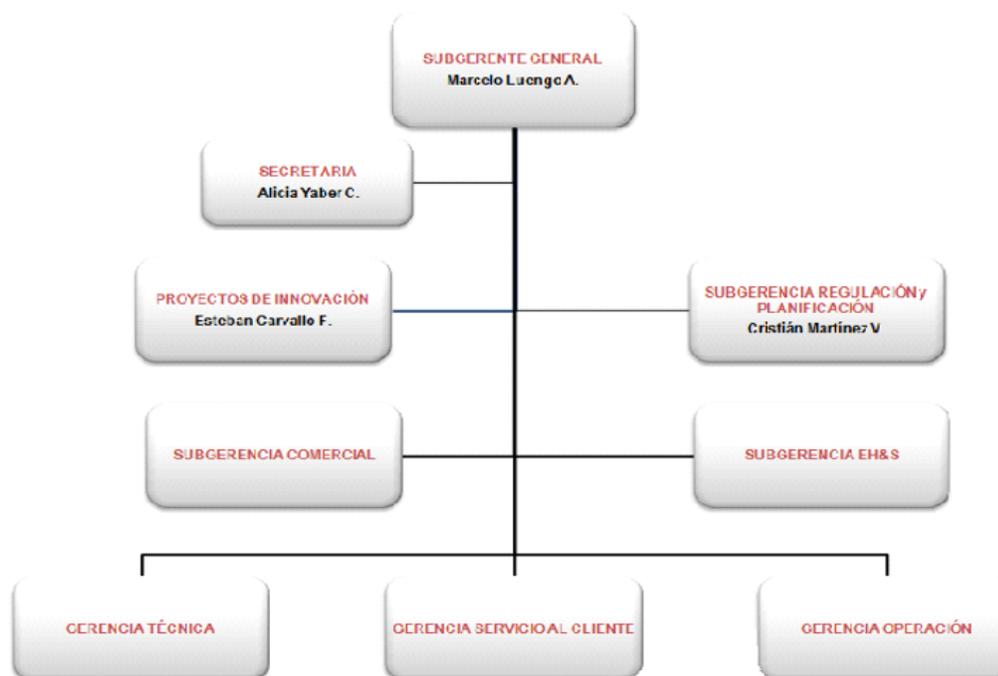
La venta de energía durante el período 2014, se realizó a clientes de los sectores Residencial (36,6 %), Industrial (17,1 %), Comercial (23,0 %) y otros (23,3 %), obteniendo los siguientes valores en los últimos 5 años:

**Tabla 1.2:** Clientes y Ventas de Chilquinta Energía últimos 5 años

Año	Número de Clientes	Crecimiento (%)	Energía (GWh)	Crecimiento (%)
2010	499.325	2,7	2.158,5	-5,4
2011	512.430	2,6	2.285,7	5,9
2012	523.634	2,2	2.432,3	6,4
2013	535.707	2,3	2.561,8	5,3
2014	549.194	2,5	2.618,7	2,2

### 1.1.6. Estructura Organizacional

La responsabilidad de la administración de la empresa y las áreas que la componen se muestra en la Figura 1.3, que corresponde al organigrama de la empresa.



**Figura 1.3:** Organigrama Chilquinta Energía S.A.

El trabajo desarrollado, se realiza en la Gerencia de Operaciones, dirigida por el señor

Luis Contreras, departamento que se ocupa del diseño, la operación, el mejoramiento y mantención de las instalaciones de la empresa.

### 1.1.7. Dotación de Personal

Chilquinta se compone de 5 niveles jerárquicos, en la tabla que se muestra a continuación se mencionan los cargos y sus respectivos número de trabajadores:

**Tabla 1.3:** Dotación de personal Chilquinta Energía S.A. a diciembre 2014

Cargo	Número de Trabajadores
Gerentes/Subgerentes	22
Supervisores/Jefes	101
Profesionales	123
Administrativos	92
Técnicos	166

### 1.1.8. Misión y Visión

Durante estos años, Chilquinta Energía S.A. ha puesto todos sus esfuerzos en caracterizarse por ser una empresa comprometida con el desarrollo de la comunidad que la acoge, siendo respetuosa con el medio ambiente y buscando siempre ser líder en calidad de servicio y atención a sus clientes.

- *Misión:* Brindar excelencia en la calidad de distribución, transmisión y generación de energía eléctrica, así como en la totalidad de sus productos asociados, con el propósito de contribuir al crecimiento conjunto de las personas, la sociedad y la Empresa.
- *Visión:* Ser la mejor empresa del país en todos los rubros en los que participamos, líderes en servicio y cercanía con nuestros Clientes.

## 1.2. Servicio Técnico

El trabajo aquí desarrollado tiene como objeto de estudio el proceso de asignación de fallas ejecutado por el Servicio Técnico de la empresa. Para la realización del trabajo, es necesario indagar en ciertos aspectos del área tales como: labores, forma de operación, principales participantes y clientes internos y externos, para poder entregar un contexto en el cual se desarrollará el modelo de asignación propuesto en este trabajo.

### 1.2.1. Descripción del área

El Servicio Técnico al igual que el área de Mantenimiento y Proyectos de Clientes, pertenece a la Gerencia de Operaciones de Chilquinta, ubicada en Cerro el Plomo 3919, Placilla de Peñuelas, Valparaíso.

Sus funciones, están orientadas a mantener la continuidad y calidad del servicio de las redes eléctricas de Media y Baja Tensión, dentro de sus labores se pueden mencionar las siguientes:

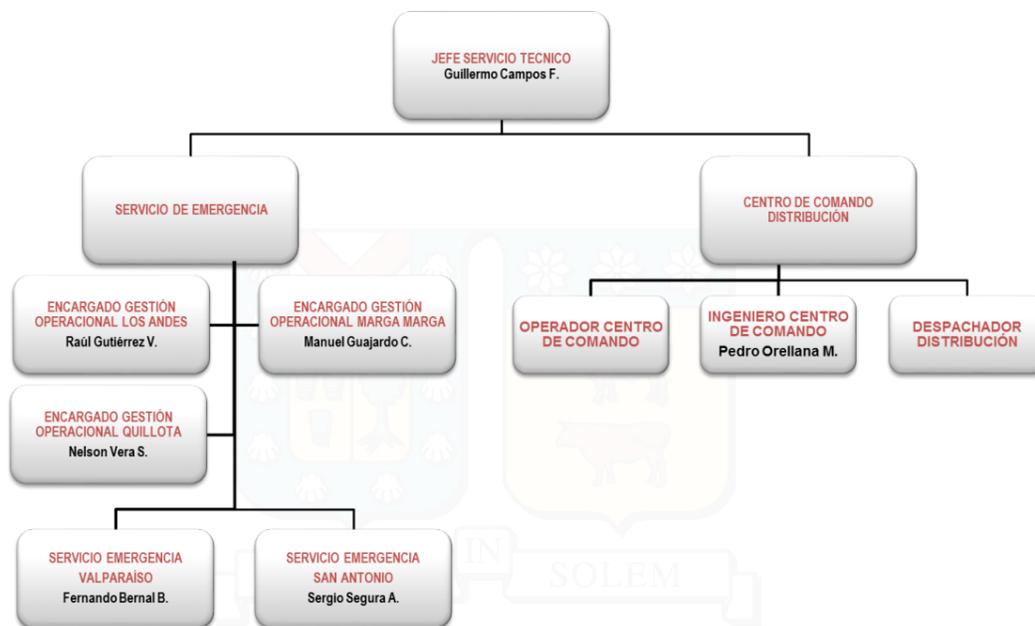
- Gestionar y realizar las mantenciones correctivas del sistema, esto cuando existe interrupción en el servicio, es decir, cuando se encuentra uno o más clientes sin energía.
- Gestionar y realizar la desenergización de sectores, para que posteriormente que el Departamento de Mantenimiento realice mejoras al sistema. Así mismo, al finalizar el mantenimiento el Servicio Técnico se encarga de energizar nuevamente.
- Labores de inspección, con el fin de detectar condiciones anormales en las instalaciones de la empresa.
- Labores de mantenimiento no programadas, estas labores son realizadas a partir del año 2015 y se realizan cuando en las inspecciones se detecta un riesgo inminente de falla o para la seguridad de las personas, y siempre que se disponga de las herramientas y equipo necesario.

Esta área posee una importancia vital para la empresa, ya que se encuentra ligada de forma directa e indirecta con muchas reparticiones dentro de la compañía, y además, la eficiencia que se logre generar en esta área, impacta directamente en la satisfacción del cliente y el desempeño global de la empresa.

Así, al ser un servicio que atiende emergencias, funciona las 24 horas del día, todos los días del año. Para ello se tienen definidos 3 turnos de 8 horas cada uno. En términos operacionales, la cobertura de Chilquinta se divide internamente en 6 zonas de despacho, para las cuales se cuenta con un número establecido de móviles por turno. Estas zonas son; Valparaíso, San Antonio, Costa, Marga Marga, Quillota y Los Andes. Cabe destacar que no existe intercambio de recursos entre las zonas por lo que, para este trabajo cada zona será considerada como un problema de asignación por separado.

### **1.2.2. Principales Cargos y Funciones**

El Servicio Técnico para su funcionamiento se divide en dos áreas, el Centro de Comando y el Servicio de Atención en Terreno (SAT). Como este trabajo está enfocado a la optimización del proceso de asignación de móviles, se mencionan los principales participantes en este proceso:



**Figura 1.4:** Organigrama Servicio Técnico Chilquinta

El Centro de Comando es el área encargada de la operación y coordinación de los recursos del Servicio de Atención en Terreno (SAT). El objetivo principal que se persigue cuando se presenta una falla es minimizar el tiempo de interrupción del servicio y los KVA afectados. El principal protagonista de este trabajo es el Operador del Centro de Comando, quien realiza las labores diarias, actualmente son 18 funcionarios y sus principales funciones se detallan a continuación:

- *Operador Centro de Comando:* encargado de supervisar y manejar en forma eficiente y efectiva los recursos humanos y técnicos bajo su responsabilidad, aplicando y haciendo cumplir los requerimientos de los reglamentos internos y externos a la compañía.

El Servicio de Atención en Terreno, mencionado en la figura 1.4 como "Servicio de Emergencia", está compuesto por 5 jefes de zona y un número de técnicos proporcional a la extensión del área que cubren, las principales labores de este último se describen a continuación:

- *Técnico SAT:* Ejecutar las labores ordenadas por el Operador del Centro de Comando para operar, normalizar y mantener en servicio las redes y equipos de distribución

de Media y Baja Tensión. Ejecutar reparación de falla y/o trabajos programados, cumpliendo con la normativa del Reglamento de Operaciones de Chilquinta y con los programas de Prevención de Riesgos y Medio Ambiente que exige la normativa vigente.

Los Operadores del Centro de Comando se encuentran todos ubicados en el centro de despacho en la Gerencia de Operaciones, desde donde administran los móviles de todas las zonas de la compañía, no así los móviles SAT, quienes poseen diferentes bases dependiendo de la zona que deben cubrir. Otro aspecto importante es que 5 de las 6 zonas que tiene la empresa poseen móviles subcontractados, siendo Valparaíso la única zona que posee personal compañía dentro de sus técnicos. A pesar de esto es necesario mencionar que todas las camionetas poseen el mismo equipamiento, por lo que se puede asumir como una flota homogénea para toda la empresa.

### **1.3. Proceso de Priorización y Asignación de fallas**

Cuando un cliente se encuentra sin energía, es labor del Servicio Técnico realizar las reparaciones necesarias para normalizar el servicio, para ello se dispone de una serie de software que apoyan las labores del Operador del Centro de Comando. Sin embargo, la labor de priorizar y asignar un móvil a las fallas presentadas, es realizada de forma manual por el operador que se encuentre a cargo de la zona en ese momento. Éste mediante una serie de antecedentes entregados por el área de Masa de Atención al Cliente (MAC), debe decidir cuál falla es prioritaria y asignar un técnico para que realice la visita correspondiente.

El principal indicador de desempeño para este proceso es el cumplimiento del Tiempo de Concurrencia, definido como el tiempo que transcurre desde que la empresa toma conocimiento de la falla, hasta que un técnico de la empresa llega al domicilio del cliente o el punto de falla en la red. Este indicador está sujeto a exigencias impuestas por los organismos reguladores, en este caso es la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC), quien establece un límite superior para el Tiempo de Concurrencia, siendo de 2 horas para todos aquellos reclamos realizados en zonas urbanas y 4 horas para las zonas

rurales. En caso de no cumplirse estos tiempos la empresa se expone a multas.

Otro indicador relevante en este proceso es el Tiempo Estimado de Reposición (ETR), el cual corresponde a un compromiso que adquiere la empresa con el cliente que se oficializa mediante un mensaje de texto al momento de confirmar la estimación con el técnico en terreno. Esto es, para aquellas órdenes que poseen más de 10 clientes afectados.

### 1.3.1. Sistemas de información y TICS

En esta sección se detallan los diferentes sistemas informáticos disponibles en el Centro de Comando que se relacionan con el proceso de asignación de fallas, éstos son:

- *Sistema de Información Comercial(SINCO)*: software mediante el cual el área de Mesa de Atención al Cliente, genera incidencias ante reclamos efectuados telefonicamente o vía redes sociales por el cliente. El registro en este software genera una Orden de Atención en Terreno que es recibida por los Operadores de Centro de Comando en el sistema Power On.

- *Sistema de POWER ON*: Software que contiene información geográfica de la red eléctrica de la empresa, mediante el cual el Centro de comando dirige, ordena y supervisa las operaciones en la redes de distribución de media y baja tensión. Es el software receptor de las órdenes generadas en SINCO y contiene toda la información relacionada al reclamo, como: georeferenciación del punto de falla, tiempos transcurridos, causas, y estados de las órdenes. Es importante destacar que este software maneja información en tiempo real.

- *Sistema SCADA (Supervisory, control and Data Acquisition)*:, Sistema de supervisión, control y medida a distancia, compuesto por una unidad central en despacho de distribución y unidades remotas instaladas en las redes de media tensión. Se utiliza para monitorear en vivo los niveles de tensión y corriente de los alimentadores, genera alarmas cuando los niveles caen por debajo de lo que establece la norma y además permite realizar maniobras a distancia para desenergizar y energizar tramos de la red.

- *Excel*: Programa de plantillas muy utilizado para distintas labores, por ejemplo: llevar

registros de datos, calcular y obtener información estadística del proceso y estructura de hojas de llenados como en el caso de LIBRO DE NOVEDADES, LIBRO DE PERMISOS, etc.

- *Plataforma de Control de Flota (GPS)*: Actualmente se tiene equipado a los móviles con dispositivos GPS, los cuales permiten obtener la ubicación de éstos en todo momento. Sin embargo no se ha implementado en el centro de despacho, de modo que no se está aprovechando el potencial que tiene y las ventajas que podría brindar al servicio.

### 1.3.2. Descripción del proceso

El proceso estudiado en esta tesis corresponde al de generación y asignación de orden Power On. La generación de órdenes en PO proviene principalmente de reclamos realizados por clientes como pueden ser: sin energía, variaciones de voltaje, inspección de transformadores o cualquier condición subestándar en la red. También por actividades derivadas de desconexiones programadas, de manera de registrar en sistema las maniobras realizadas por los Técnicos Operadores de Atención en Terreno o contratista de redes de distribución.

El ciclo comienza con la llamada de algún cliente que se contacta con la Mesa de Atención al Cliente reportando la interrupción del servicio, este reclamo se ingresa al Sistema Comercial (SINCO), lo que genera automáticamente una orden Power On.

Cuando la orden es creada, el software Power On asociada una serie de datos a ella, tales como: coordenadas del punto de falla, tiempo transcurrido desde que se creó la orden, cantidad de clientes afectados, datos personales de los clientes afectados (Nombres, teléfonos, Números de identificación) y la prioridad otorgada por el software a la orden, la que depende netamente de la causa con la que se ingresó el reclamo. Nótese que la prioridad entregada por este software es sólo uno de los factores considerador por el despachador al momento de realizar la priorización y asignación. Luego con estos datos, el Operador del Centro de Comando debe realizar un ranking de prioridad de las órdenes, el cual actualmente es basado en la experiencia y expertiz de cada trabajador. Según lo establecido en los procedimientos internos de la compañía se deben considerar 3 factores: prioridad entregada por el software Power On, tiempo transcurrido desde la creación de la orden y número de clientes afectados.

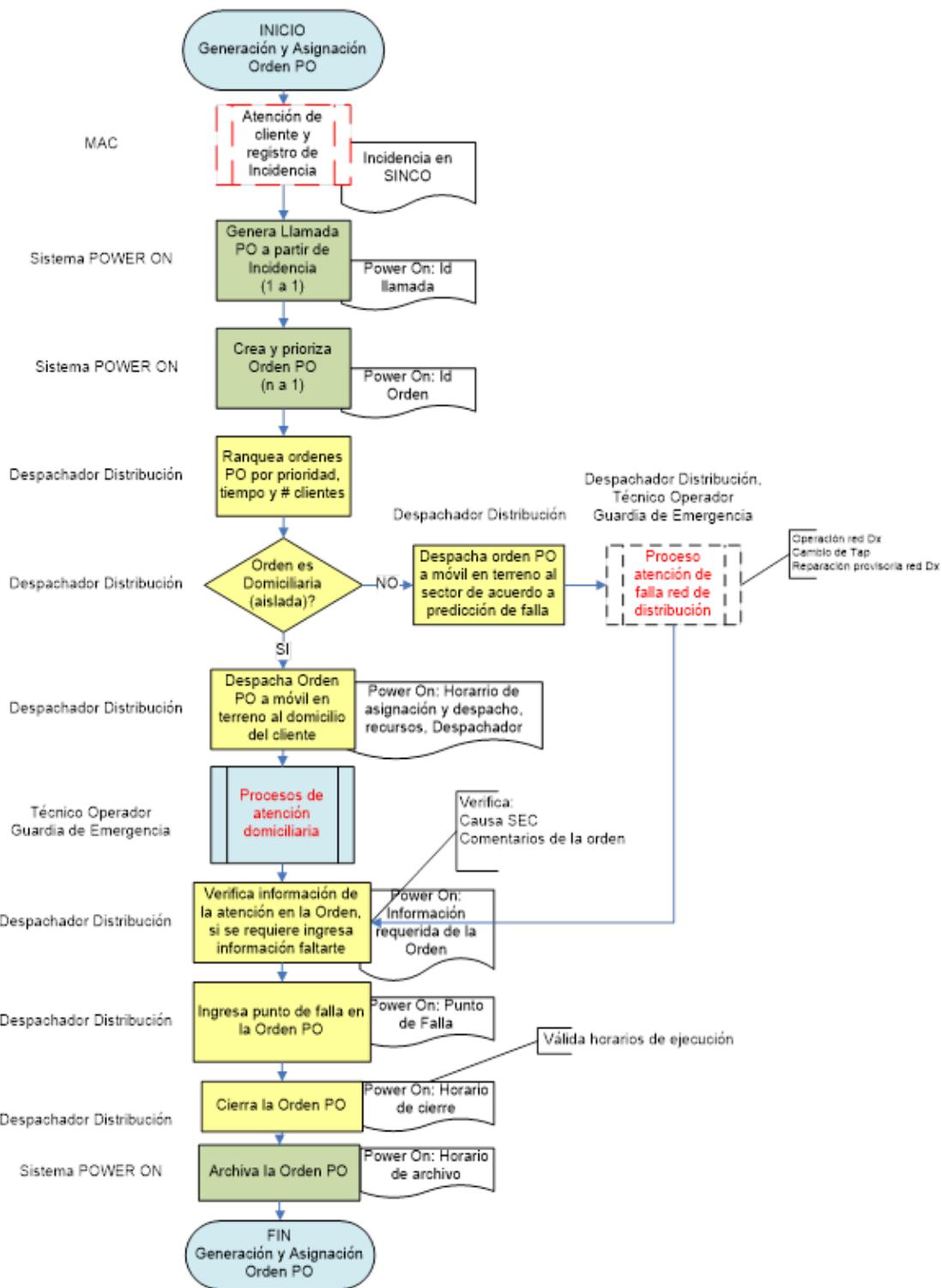
Posterior a esto, la orden más prioritaria se encuentra lista para que se le asigne un móvil, generalmente es asignada al móvil desocupado que se encuentre a menor distancia de la orden y se realiza mediante comunicación radial con el técnico que anda en terreno. En este punto el software toma un registro de la hora de asignación y cambia el estado de la orden a “En camino”. Dependiendo de la cantidad de clientes afectados la falla se cataloga como domiciliaria o falla de red, en ambos casos se asigna un móvil pero para efectos de administración se tratan con diferente prioridad.

Cuando el Técnico SAT llega al lugar, se contacta con el Operador del Centro de Comando, se registra la hora de llegada y se informa una estimación de lo que tardará la reparación, es decir el indicador ETR.

Al momento de terminar la reparación el técnico se comunica con el Operador del Centro de Comando para verificar que la información ingresada es la correcta y se registra la reparación realizada en el sistema Power On.

El proceso termina cuando el técnico se retira del lugar y el Operador del Centro de Comando cierra la orden, dejando un registro de la hora de término y archivamiento.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de proceso que ilustra lo explicado anteriormente.



**Figura 1.5:** Diagrama de flujo Proceso de Generación y Asignación de fallas. Fuente: Chilquinta

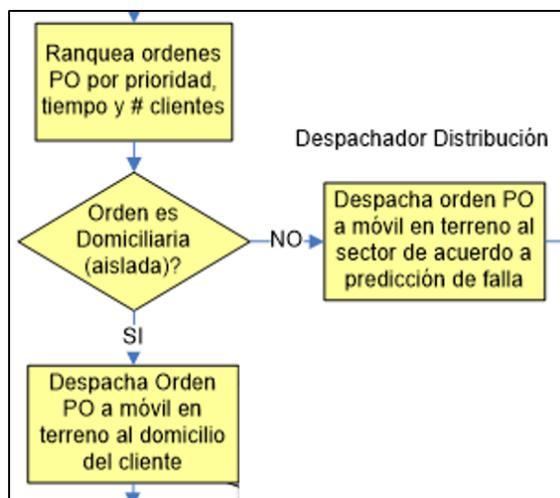
Un detalle importante es que las órdenes atendidas por el Servicio Técnico no necesariamente provienen de un reclamo de un cliente, sino que también pueden ser solicitudes

de desconexión hechas por otras áreas de la empresa y labores extraordinarias de mantenimiento. De todas maneras todas las actividades realizadas por el Servicio de Atención en Terreno tienen asociado un número de orden Power On y proceden de la forma descrita anteriormente.

Además, como se mencionó en la sección 1.2.2 todas las camionetas del Servicio Técnico poseen el mismo equipamiento (herramientas, repuestos, etc) y todos los técnicos poseen las capacitaciones necesarias para realizar las reparaciones que el área ofrece.

Otro aspecto a considerar, es que cuando ocurren catástrofes naturales o interrupciones masivas en el sistema, se declaran estados de contingencia. Para estos casos la empresa posee otros procedimientos que son especiales para cada emergencia, se cuenta con un número mayor de móviles y en algunos casos se zonifica de acuerdo a las necesidades del sistema, dejando de lado las zonas predeterminadas por la compañía.

Luego de describir el proceso completo desde la generación hasta el cierre de una orden es necesario enfatizar en que el objetivo de este trabajo es la optimización del proceso de priorización y asignación de fallas. A continuación se ilustra el alcance de este proceso.



**Figura 1.6:** Proceso de Priorización y Asignación de Fallas Chilquinta

## Capítulo 2

# Antecedentes Generales

### 2.1. Diagnóstico

El principal objetivo de este trabajo es realizar una mejora en el proceso de asignación desarrollado por la empresa, para lograr esto es necesario realizar un diagnóstico al proceso de Priorización y Asignación de Fallas realizado por el Centro de Comando de la empresa. Éste tiene como objetivo detectar aquellas actividades o prácticas que no agregan valor y representan oportunidades de mejora que permitan minimizar los tiempos de respuesta del servicio entregado y aumentar la productividad del área.

Para la realización del diagnóstico, se realizaron diversas acciones, la primera de ellas fue realizar el levantamiento de información, esto con el fin de instruirse sobre los procedimientos internos recopilando los documentos oficiales con los procedimientos del área y realizando entrevistas a los Operadores del Centro de Comando.

Se implementó la herramienta SIPOC, con el fin de determinar el alcance del proceso y se establece la línea base de los indicadores actuales del área, para ello se consideraron todas las operaciones realizadas el año 2014 registradas en el sistema Power On.

Por último, para confirmar algunos hallazgos encontrados previamente se realizó una encuesta a 16 de los 18 Operadores del Centro de Comando, encuestas realizadas con la finalidad de indagar en los criterios de operación personal de cada trabajador y cuantificar la dispersión en cuanto a los procedimientos establecidos.

### 2.1.1. Entrevistas

El primer paso para realizar el diagnóstico es conocer el área y la forma de operación del proceso que se busca mejorar, para esto se realizaron entrevistas a los Operadores del Centro de Comando prestando atención a su forma de proceder ante diversas situaciones, criterios utilizados y apreciaciones personales del sistema. En resumen, las entrevistas son utilizadas para orientar la búsqueda de problemáticas y para clarificar cuáles son los factores y limitantes del proceso.

Se entrevistó a 9 de los 19 Operadores del Centro de Comando, los rangos de edad de las personas entrevistadas van desde los 30 hasta los 60 años, siendo trabajadores con diversas antigüedad en la empresa, desde 2 hasta 14 años en el puesto de trabajo. Las condiciones en que se realizaron las entrevistas fue a lo largo de la semana del 23/03/2015 al 07/03/2015, semana en la que el sistema se encontraban en estado de contingencia por condiciones atmosféricas. La metodología de la entrevista no fue estructurada, la duración fue entre de media jornada laboral con cada Operador (4 horas aproximadamente), la duración está justificada en que gran parte de lo que se buscaba se obtiene mediante observación. Dentro de éstas se consultó por diversas situaciones y se entregó el espacio para que entreguen su opinión respecto a sus apreciaciones del sistema considerando deficiencias del sistema o fortalezas del mismo. Otro aspecto relevante es descubrir el criterio utilizado para priorizar y asignar los móviles a las órdenes de fallas de manera más profunda y detallada.

### 2.1.2. Método SIPOC

El método SIPOC (Supplier- Input- Process - Output - Customer) es una herramienta de la metodología de mejora de procesos seis sigma (Hammer, 2002). Este modelo corresponde a la representación gráfica de un proceso de gestión y permite visualizarlo de manera sencilla identificando a las partes implicadas, la información requerida por el proceso y la generada por éste.

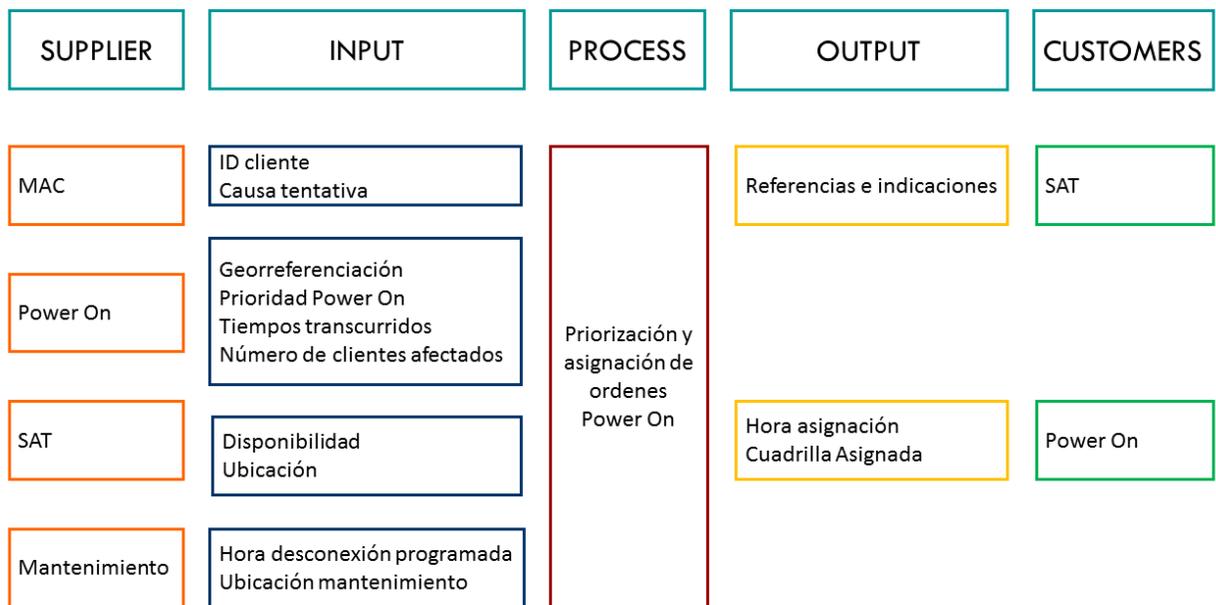
Las componentes del método SIPOC son:

- Proveedor (Supplier): persona o sistema que aporta recursos al proceso.

- Recursos (Inputs): todo lo que se requiere para llevar a cabo el proceso. Se considera recursos a la información, materiales e incluso, personas.
- Proceso (Process): conjunto de actividades que transforman las entradas en salidas, dándoles un valor añadido.
- Cliente (Customer): la persona o sistema que recibe el resultado del proceso.
- Salidas (Output): resultados del proceso (productos, indicadores, etc.)

El proceso analizado corresponde al de Priorización y Asignación de órdenes Power On, proceso descrito en la sección 1.3, y su diagrama de flujo corresponde a la figura 1.6.

La aplicación de esta herramienta permite definir el alcance que tiene el proceso y la interacción con otras área internas y externas de la empresa. Además, busca determinar la información de entrada que se utiliza para la toma de desiciones para posteriormente determinar los parámetros que considerará el modelo propuesto en este trabajo, pudiendo agregarse antecedentes que actualmente no se consideran o quitando aquellos que no proporcionan información relevante al proceso. A continuación se ilustra el SIPOC correspondiente al proceso:



**Figura 2.1:** SIPOC de Proceso de priorización y asignación de Órdenes Power On

Dentro de los proveedores se tiene la Mesa de Atención al Cliente, la información que provee al proceso es la identificación del cliente y una probable causa de falla, éstas permiten que al sistema Power On georreferenciar la falla y entregar un valor de prioridad que será considerado por el operador al momento de ranquear las órdenes. La información ingresada por esta área es de gran importancia para el correcto desempeño del proceso.

El sistema Power On es otro proveedor del proceso analizado, éste entrega información relevante al proceso, como es la georreferenciación del cliente y los equipos eléctricos asociados a éste, además entrega una categorización de prioridad que se basa en la causa ingresada por la Mesa de Atención al Cliente. Del sistema Power On se espera que entregue la información en tiempo real con bajos tiempos de respuesta.

El área de mantenimiento también provee al área de Servicio Técnico, esto lo hace mediante las desconexiones programadas que deben ser iniciadas y finalizadas por personal SAT. La información entregada al proceso que se analiza es la hora respectiva de desconexión y la ubicación del equipo a intervenir, estas desconexiones pasan por un proceso de validación antes de ser creadas como órdenes.

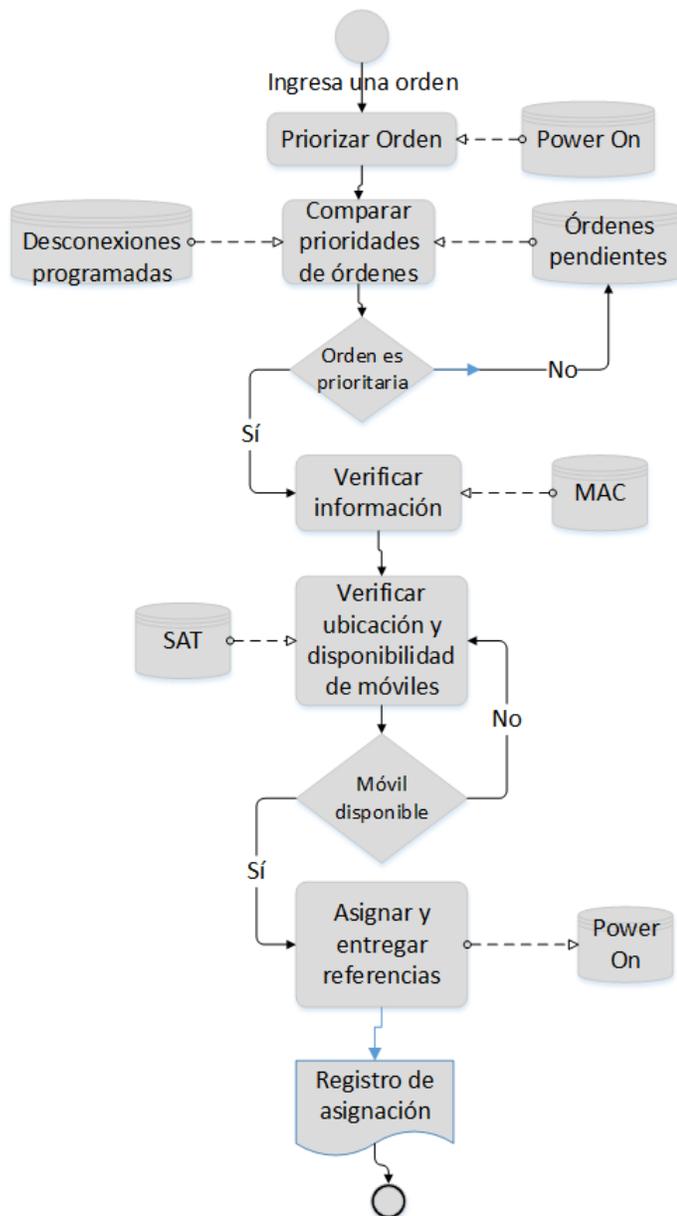
Por último está el Servicio de Atención en Terreno que proporciona la información relacionada con su disponibilidad y ubicación actual, dentro de las cosas que se esperan de este proveedor es información real y oportuna, además de un rendimiento óptimo en términos de tiempos de trabajo. El principal canal de comunicación en la actualidad es la radio, teniendo dentro de los planes futuros implementar sistemas electrónicos que faciliten la comunicación dentro del Servicio Técnico.

En lo que respecta a los clientes del área relevantes para el proceso se tiene el sistema Power On, en donde se deja registro de la información relevante a la asignación y la cuadrilla asignada, información que posteriormente es archivada. Otro cliente son los técnicos SAT, a quien se le entrega la información para que sirva la orden, como es la identificación del cliente y su ubicación. Dentro de los requerimientos de los técnicos se tiene que la información sea clara y precisa.

Cabe destacar que el identificar los actores en el proceso permite encontrar de manera más expedita las posibles problemáticas que pueda tener y los responsables de éstas.

Una vez realizado el SIPOC y en conjunto con otras acciones realizadas, se detecta que

el diagrama de flujo del proceso omite información y no representa el proceso real realizado por los Operadores del Centro de Comando, por esto se realiza el BPM que representa de manera adecuada el proceso.



**Figura 2.2:** BPM real del proceso de priorización y asignación de fallas

### 2.1.3. Línea base de indicadores

Habiendo ilustrado el proceso, sus participantes y sus flujos de información, se procede a caracterizar la situación actual del proceso y el área, esto se realiza mediante el cálculo de indicadores que permitan dimensionar el área y sus condiciones actuales de operación. En cuanto al proceso se calculan tiempos promedios y los indicadores de cumplimiento y rendimiento respectivos.

Se extrajeron del sistema Power On los registros correspondientes a todas las órdenes atendidas durante el año 2014 y los resultados se muestran a continuación:

#### 2.1.3.1. Atenciones

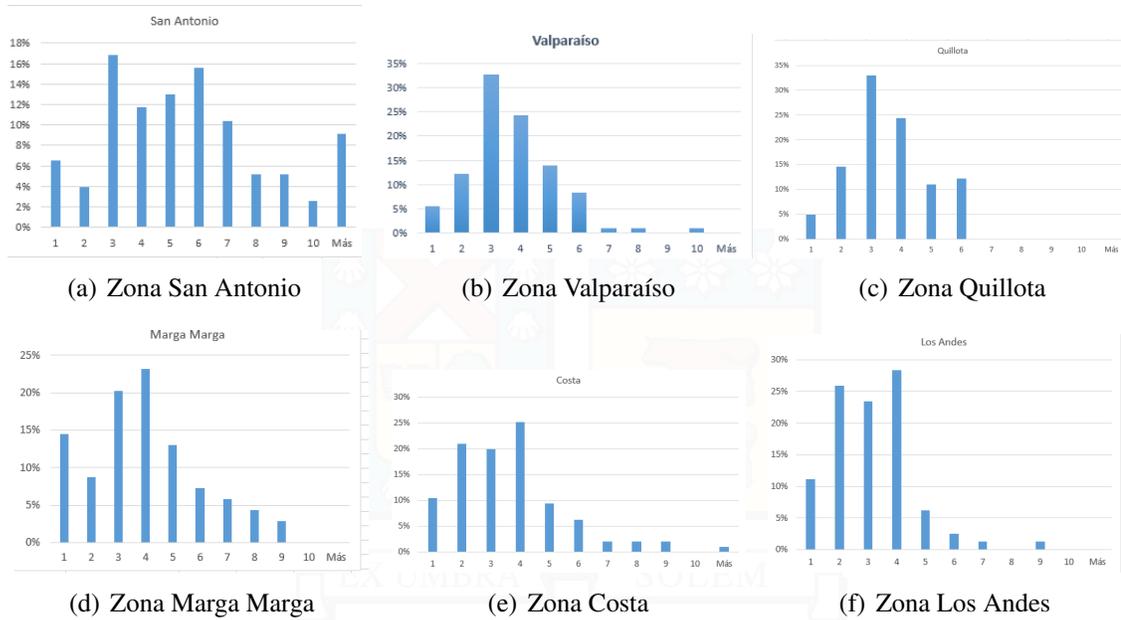
Durante el año 2014 el Servicio Técnico realizó un total de 61.068 atenciones; 43.358 interrupciones domiciliarias, 12.824 interrupciones de red y 4.885 desconexiones programadas. Cabe destacar que durante el 2014 no estaba implementada la política de realizar mantenimientos extraordinarios con los móviles SAT.



**Figura 2.3:** Atenciones Servicio Técnico 2014

En cuanto a la capacidad de atención por zona, se calculó las atenciones de un turno realizadas por un móvil cuando la cantidad de órdenes ingresadas es mayor que las atendidas en el turno, los resultados se muestran a continuación:

De los gráficos se desprenden las siguientes conclusiones: San Antonio es la zona que presenta el mejor rendimiento, realizando un 87 % de los turnos al menos 3 actividades por móvil y teniendo el valor más alto en número de atenciones con un 32 % del tiempo



**Figura 2.4:** Actividades promedio por turno

atendiendo 7 o más órdenes por móvil. Marga Marga es la segunda zona con mejor rendimiento, con un 20 % de los turnos sobre 5 órdenes y un 62 % de los turnos atendiendo mínimo 3 fallas. Para la zona de Valparaíso el 50 % de los turnos se atiende 3 o menos fallas y un 47 % entre 4 y 6 fallas. Quillota no posee registros de atender más de 6 fallas, exceptuando las situaciones de contingencia y su desempeño es comparable al de Valparaíso. Por último las zonas con peor rendimiento son Zona Costa y Zona Los Andes, con un 77 % y 90 % de los turnos atendiendo 4 o menos órdenes por móvil, respectivamente.

### 2.1.3.2. Tiempo de Concurrencia

El indicador Tiempo de Concurrencia, como se mencionó anteriormente, es aquel que cuenta desde que se crea la orden hasta que el móvil llega al lugar de la falla. Es necesario recordar también que de acuerdo a la normativa SEC se dispone de 2 horas para concurrir a zonas urbanas y 4 horas para zonas rurales. En la atención de Chilquinta un 72 % de las interrupciones corresponden a zonas urbanas y el 28 % restante corresponde a zonas rurales. Los tiempos promedio de asignación y concurrencia se muestran en la tabla a continuación:

Aproximadamente un 75 % del tiempo de concurrencia corresponde al tiempo que tarda

**Tabla 2.1:** Tiempos promedio de Asignación y Concurrencia para órdenes urbanas y rurales

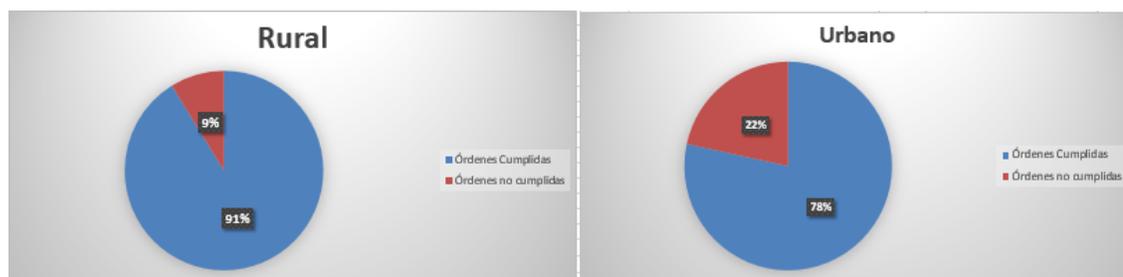
Zona	Número de órdenes 2014	Promedio Tiempo en Cola	Promedio Tiempo Concurrencia
Urbano	40.723	01:30:33	02:03:24
Rural	15.459	01:35:30	02:09:40

el operador en asignar la falla a un móvil (tiempo en cola), por lo que si se busca mejorar los tiempos de respuesta del servicio entregado por el Centro de Comando es de gran importancia el proceso de priorizar y asignar órdenes, cabe mencionar que la correlación que existe entre estos tiempos es de un 97 %, lo que quiere decir que están directamente relacionados y si se optimiza el tiempo de asignación se logrará impacto en los tiempos de concurrencia totales.

Al comparar el tiempo de concurrencia de comunas Urbanas y Rurales, se aprecia que el tiempo de concurrencia promedio para comunas rurales es muy similar al de las comunas urbanas, a pesar que por normativa se cuenta con el doble de tiempo para concurrir al lugar.

Un indicador de desempeño que tiene el área actualmente es el cumplimiento del tiempo de concurrencia, éste se calcula con el número de órdenes que estuvieron dentro de los límites legales sobre la totalidad de órdenes. Considerando que al no cumplirse el tiempo legal la empresa se arriesga a tener que pagar multas a la SEC y compensaciones para sus clientes, se espera que este indicador tenga el valor lo más cercano a 100 %.

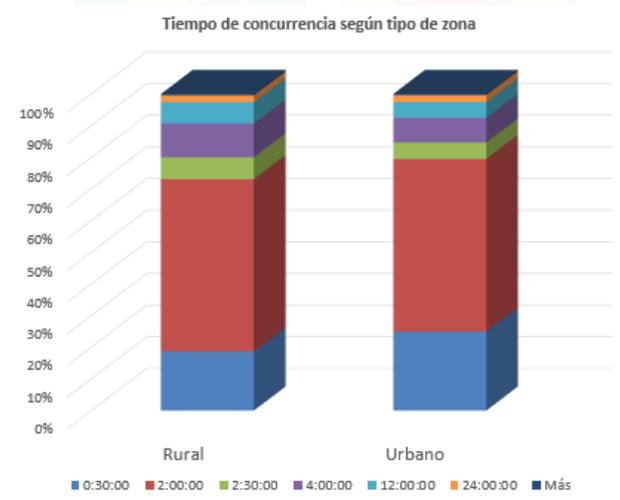
A continuación se presenta el porcentaje de cumplimiento según área Rural o Urbana:

**Figura 2.5:** Cumplimiento Tiempos de Concurrencia por zona

El cumplimiento general de la empresa para el año 2014 fue de un 81,3 %. Si bien el flujo de órdenes para comunas rurales es un tercio que para las urbanas, existe una brecha muy amplia en cuanto a los cumplimientos.

Una posible explicación podría basarse en el hecho que los Operadores del Centro

de Comando no discriminan por tipo de comuna dentro de los factores que utilizan para priorizar y asignar las fallas. Esto podría estar afectando el cumplimiento total de la empresa ya que la holgura de tiempos puede permitir una mejor administración de recursos. Para profundizar más se analizan los tiempos de concurrencia separando por intervalos de tiempo para detectar si efectivamente existe un comportamiento similar en ambos tipos de comunas.



**Figura 2.6:** Tiempo de Concurrencia por intervalo de tiempo según tipo de comuna

Del gráfico anterior se desprende que existe un comportamiento similar en los tiempos de concurrencia para las comunas urbanas y rurales, esto demuestra que a pesar de tener permitido un mayor tiempo por norma, los Operadores de Centro de Comando no aprovechan de manera óptima los recursos. En este aspecto existe una posible mejora al distribuir mejor los recursos enfocando los esfuerzos en aumentar el cumplimiento total de los tiempos de concurrencia.

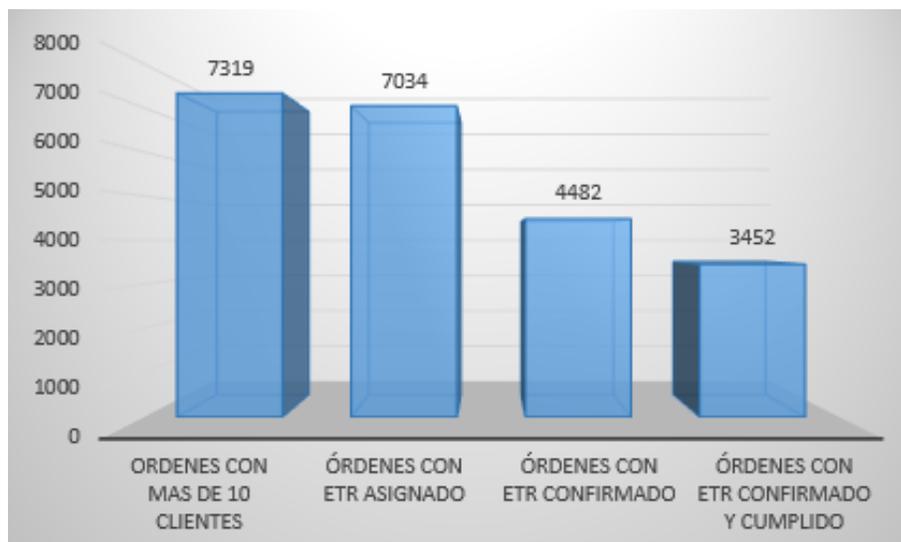
### 2.1.3.3. Tiempo Estimado de Reposición

El ETR (*Estimated Time of Restoration*) es un indicador interno de la empresa y corresponde a la información que entrega el Técnico SAT sobre la estimación del momento en que se realizará la restauración del servicio. A pesar que las incidencias domiciliarias representan la mayor parte del trabajo realizada por en Servicio Técnico este indicador se ingresa solamente para aquellas fallas que afectan a 10 o más clientes.

En primera instancia el sistema Power On asigna un ETR por defecto, el cual debe ser modificado o confirmado por el despachador. La confirmación de un ETR trae como consecuencia el envío de SMS a los clientes afectados que estén registrados en el sistema comercial e informa al cliente que la empresa tiene conocimiento del corte de luz y la hora estimada a la que se normalizará el servicio (ETR). Posterior a la confirmación se debe ir realizando un monitoreo continuo a este indicador para procurar que se cumpla el compromiso adquirido por el cliente.

Actualmente no existe una meta sobre el cumplimiento o la confirmación del ETR, sin embargo el correcto ingreso facilita la planificación de recursos en terreno y permite optimizar la asignación ya que se puede considerar a aquellos móviles que se encuentren ocupados pero próximo a cumplir con la reparación.

A continuación se presentan el total de órdenes con más de 10 clientes, órdenes con ETR asignado por el sistema Power On, órdenes con ETR confirmado y órdenes para las cuales se cumplió con la estimación:

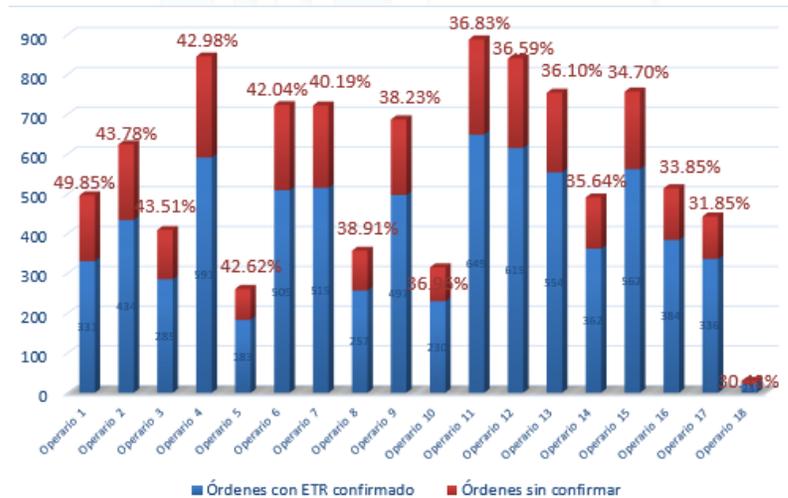


**Figura 2.7:** Estado del indicador ETR para órdenes con más de 10 clientes

El porcentaje de órdenes con ETR confirmado es de un 61 % de las cuales solo un 77 % cumplen con lo informado al cliente. Esto implica que la efectividad actual del ETR es de un 47 %. A pesar que un 77 % de cumplimiento es bueno, quiere decir que un 23 % de las veces se les informa a los clientes que se le repondrá el servicio y no se cumple con

el compromiso adquirido. Para este caso la responsabilidad cae en la persona que estima el ETR o en el hecho de no reprogramar cuando se sabe no será factible reponer a la hora presupuestada.

Un factor importante para la realización de un buen servicio es el correcto ingreso de información por parte de los trabajadores, a continuación se presenta un gráfico que resume el porcentaje de órdenes a las cuales se les ingresa y confirma el ETR por cada Operador del Centro de Comando.



**Figura 2.8:** Confirmación de ETR por trabajador

En promedio los despachadores tienen un 39 % de las órdenes con mala calidad de información. El rango de porcentaje de órdenes sin confirmación de ETR es de un 20 %. También se observa que el porcentaje de órdenes sin ETR no depende del flujo que maneje el despachador.

Es importante mencionar que para brindar un servicio de excelencia es necesario manejar la mayor cantidad de información posible, por lo que el ingreso de ETR para órdenes domiciliarias se hace necesario ya que puede significar un gran cambio en el desempeño del proceso de asignación desarrollado por los Operadores del Centro de Comando. Para ello es necesario comenzar mejorando la calidad de información ingresada y posteriormente ampliar el alcance del ETR.

#### 2.1.3.4. Prioridad Power On

El operador al momento de priorizar una orden debe considerar 3 factores: el tiempo transcurrido, el número de clientes afectados y la Prioridad entregada por Power On. Este último, es calculado por el software en base a una lista de más de 100 posibles causas categorizadas de 1 a 9 según grado de urgencia, siendo 1 aquellas órdenes que requieren atención inmediata porque presentan un riesgo para la seguridad y 9 aquellas que no son prioritarias por tratarse de fallas externas a la empresa o clientes con energía que presentan variaciones de voltaje.

Los tiempos de asignación y concurrencia según Prioridad Power On son los siguientes:

**Tabla 2.2:** Tiempos de asignación y Concurrencia según prioridad Power On

Prioridad Power On	Promedio Tiempo en cola	Promedio Tiempo Concurrencia
1	01:25:19	02:26:06
2	01:37:04	02:08:23
3	01:45:55	02:20:26
4	01:36:33	02:10:46
5	00:21:42	00:40:23
6	01:14:54	01:42:08
7	01:46:18	02:20:05
8	02:33:17	03:04:53
9	03:49:38	04:47:48

De la tabla anterior se desprende que la prioridades Power On no son representativas y no constituyen un aporte al proceso de asignación realizado por el Centro de Comando. La categorización de causas para las prioridades fue realizada al momento de implementar el software el año 2008 y consiste en una lista de más de 120 posibles causas. Se recomienda una actualización de éstas evaluando aquellas causas que sí representen el proceso de manera realista, de manera que signifique un real aporte para la toma de decisiones.

#### 2.1.4. Resultados Encuesta

La realización de las entrevistas permitió indagar e investigar previamente las características del proceso para formular preguntas que permitan detectar posibles problemáticas que afecten al proceso actual, sea éste cualquier componente del proceso como: flujos de información, labores específicas que no se realizan de manera óptima, interacción entre

áreas, etc. Para seguir con el diagnóstico se realiza una encuesta a 16 de los 18 operadores del Centro de Comando, el principal objetivo de la encuesta es validar algunos supuestos como resultados de las entrevistas e indagar en aspectos confusos o problemáticos para el proceso. La encuesta realiza la medición de diversos elementos importantes para el área, dentro de ellos se tiene aspectos de motivación y satisfacción, aspectos operacionales, opiniones, etc. Lo que se pretende es conocer los estados de opinión de los trabajadores y sus ideas para recibir retroalimentación para la mejora del proceso.

Como el proceso analizado en este trabajo se basa principalmente en criterios y decisiones, es necesario conocer cuáles son esos criterios que utilizan los operadores para realizar la priorización y la asignación de las órdenes de fallas. Además, uno de los hallazgos más relevante en las entrevistas, es que podría no existir un criterio único para realizar la labor de priorizar y asignar los recursos en terreno, es por ello que dentro de la encuesta se incorporan ítem correspondientes a la forma de operación del proceso con el fin de medir la variabilidad en las decisiones tomadas por los operadores.

La encuesta es de tipo descriptiva y fue realizada al 85 % de los trabajadores que desempeñan la labor de Operador del Centro de Comando.

El tipo de preguntas realizadas fue en su mayoría de respuesta cerrada en donde se presenta un listado de opciones dentro de las cuales debe elegir el encuestado, y en un menor porcentaje respuestas abiertas sobre el por qué de las respuestas realizadas o sugerencias a realizar por el operador.

Se utiliza la escala de Likert y se mide la Desviación Estándar  $\sigma$ , la cual representa el consenso general respecto a la respuesta promedio y se considera que cuando supera el valor de 1 no hay un consenso en la opinión de los encuestados.

**Tabla 2.3:** Escala Likert

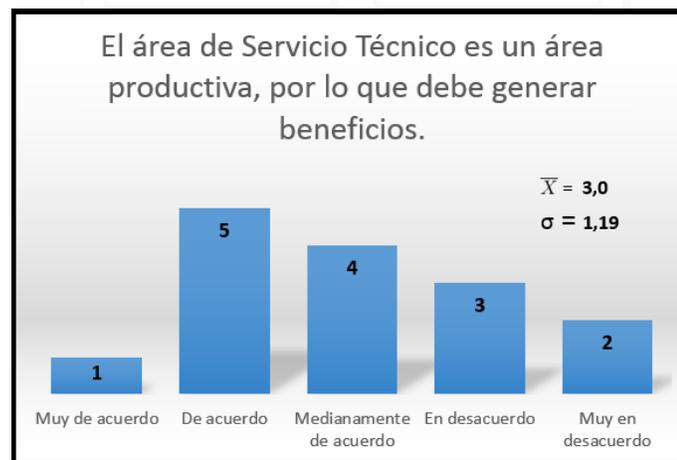
Escala	Valor entregado
Muy de acuerdo	1
De acuerdo	2
Medianamente de acuerdo	3
En desacuerdo	4
Muy en desacuerdo	5

Una vez terminada la formulación de la encuesta se realiza un pretest (prueba del

cuestionario antes de su lanzamiento definitivo) a dos operadores, éste tiene por objeto ver si se entienden las preguntas, si hay problemas en la redacción o uso de lenguaje idóneo.

Para aplicar la encuesta se abarcaron los 3 turnos de un día en el Centro de Comando y se realizó en papel de forma personal y anónima a cada trabajador.

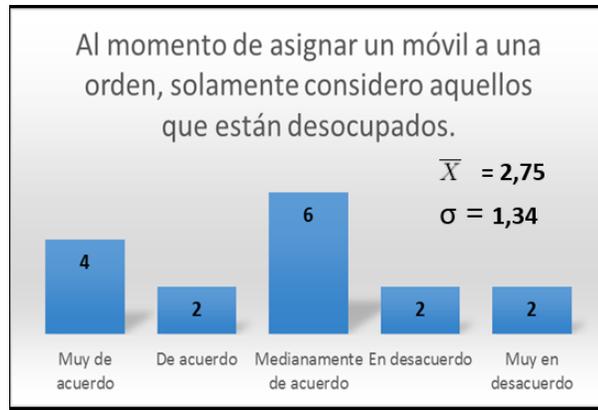
Para comenzar es necesario determinar si el quehacer de los operadores se encuentra orientado con los objetivos del área. De acuerdo a lo establecido en entrevistas con los supervisores el área corresponde a un área productiva que debe velar por tener la menor cantidad de tiempos disponibles. Esto ya que subarrienda sus móviles lo que significa un costo hundido que debe ser aprovechado al máximo. A continuación se presenta el resultado de la pregunta realizada en la encuesta:



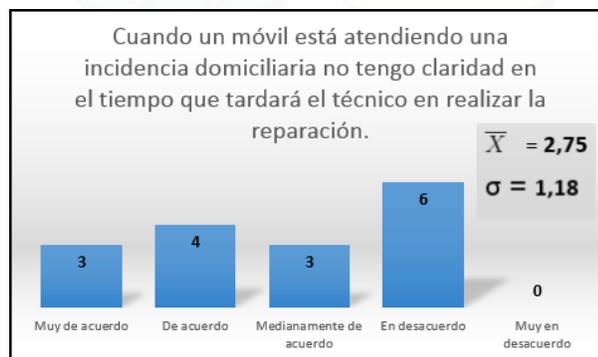
**Figura 2.9:** Pregunta 1 Encuesta

Queda en evidencia que no existe un lineamiento claro en la misión de los Operadores, estando en un 40 % de los encuestados en desacuerdo con que el Servicio Técnico es un área productiva lo que genera que no exista consenso en lo que respecta a la apreciación que tienen del área.

Las siguiente pregunta pretende revelar si existe una planificación en cuanto a los recursos o si solamente se trabaja de forma reactiva a la situación bajo una lógica de móvil disponible, es decir, no planifican ni evalúan posibles combinaciones, sólo asignan de acuerdo a grado de urgencia y disponibilidad. Se observa que ambas preguntas poseen un dispersión muy alta lo que implica que existen diferentes maneras de realizar las labores dentro del Centro de Comando, aproximadamente la mitad de los operadores no consideran



**Figura 2.10:** Pregunta 2 Encuesta



**Figura 2.11:** Pregunta 3 Encuesta

los tiempos de trabajo restantes para una planificación de recursos en terreno siendo que la información que recibe el operador del móvil depende exclusivamente de la comunicación que mantenga con el técnico.

Una forma de mejorar el sistema es contar siempre con una planificación de los recursos a corto plazo, para esto es necesario disponer de la mayor cantidad de información posible. Actualmente a las órdenes de tipo domiciliarias no se les ingresa un ETR en el sistema, considerando que estas órdenes representan el 72 % de las fallas y sumado al hecho que no se ha implementado el monitoreo de los móviles por GPS a pesar de contar con el equipo necesario revela que existe una deficiencia en los equipos de control y comunicación entre el despacho y los móviles SAT. Cabe mencionar que el hecho de disponer con mayor información no implica necesariamente mejorar el servicio, ya que depende también si la forma de manejar esa información es la adecuada o no, es por ello que de acuerdo al análisis de las preguntas anteriores se establece que es necesario unificar la forma de operar

y aplicar la misma lógica de asignación para todo el Centro de Comando, asegurándose que sea la adecuada.

En base a lo anterior se pregunta a los encuestados si consideran una buena medida llevar un control del tiempo que el técnico tardará en realizar las reparaciones para órdenes domiciliarias y la implementación de GPS en el Centro de Comando.

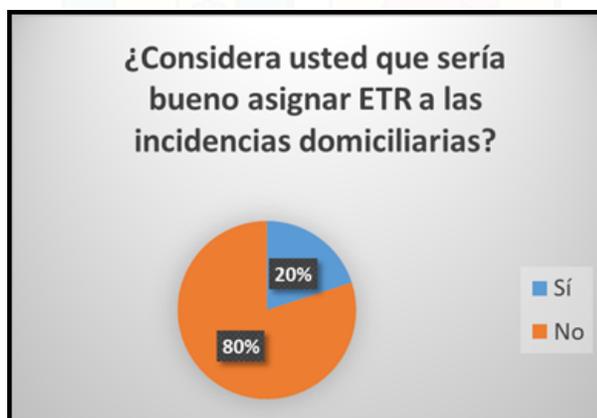


Figura 2.12: Pregunta 4 Encuesta

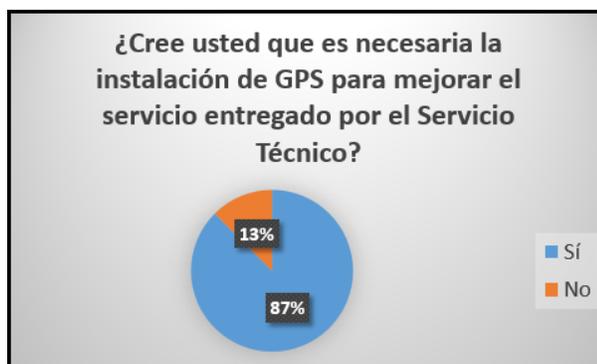
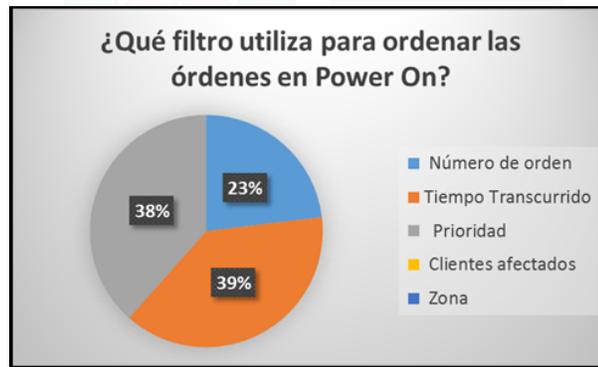


Figura 2.13: Pregunta 5 Encuesta

El 80 % de los encuestados se encuentra en desacuerdo con la asignación de ETR a fallas domiciliarias, dentro de las justificaciones se encuentra que aumentaría la carga de trabajo y no sería un indicador confiable por el gran número de órdenes domiciliarias que manejan. En cuanto al GPS 87 % del total está de acuerdo con la implementación de este sistema y creen que permitiría tener control sobre los desplazamientos del móvil, mejor la gestión del mismo y asegurar una correcta atención al cliente. En general, los resultados

están orientados en facilitar el trabajo que realizan los operadores ya que se trata de un trabajo exigente que requiere de un alto nivel de concentración.

Para evaluar si los criterios de priorización son similares entre los operadores, se busca encontrar el factor que determina un orden para él, para ello se preguntó cuál es el filtro que utilizan para ordenar las órdenes en el sistema Power On.



**Figura 2.14:** Pregunta 6 Encuesta

De lo anterior se desprende que no existe una forma única de organizar las órdenes ya que la muestra se encuentra dividida en los 3 factores, obteniendo similar porcentaje (40 % app) el ordenar por prioridad Power On y por tiempos transcurrido desde la creación de la orden. De acá se desprende que cada operador posee una forma personal de realizar su trabajo y no está necesariamente alineado con el de sus compañeros de trabajo.

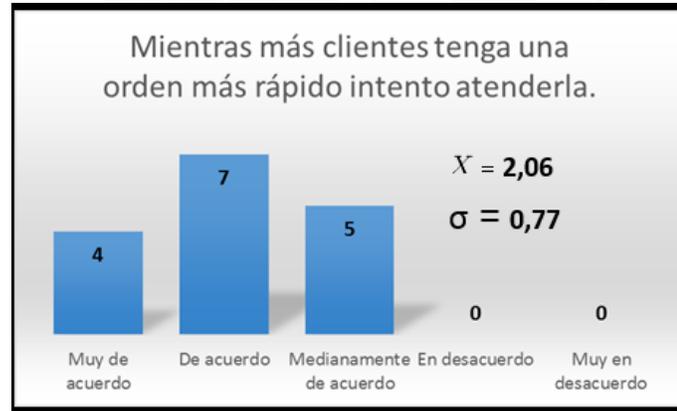
Siguiendo en lo que respecta a la priorización de órdenes y basado en los hallazgos en la sección 2.1.3.2 se indaga si efectivamente existe o no discriminación a la hora de priorizar de acuerdo a si la comuna en la que se presenta la falla es de carácter rural o urbana:



**Figura 2.15:** Pregunta 7 Encuesta

De la figura 2.15 se puede interpretar que más de la mitad de los encuestados no discrimina la cercanía de la comuna al momento de priorizar las fallas, lo que releva un mal aprovechamiento los recursos, en especial de los tiempos.

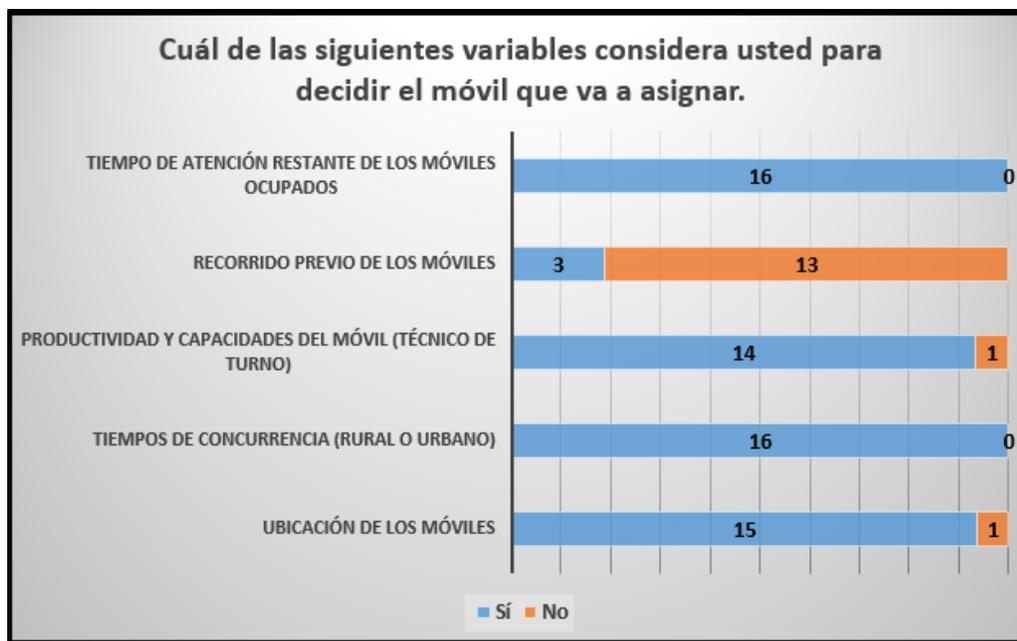
Siguiendo dentro del contexto de priorización de órdenes se quiere establecer si existe relación entre el número de clientes afectados por una falla y la urgencia que le entrega el Operador del Centro de Comando a ésta.



**Figura 2.16:** Pregunta 8 Encuesta

En este ítem se observa una muy baja dispersión y que en promedio los encuestados están de acuerdo con que el número de clientes es un factor proporcional al nivel de urgencia que se le entrega a una orden.

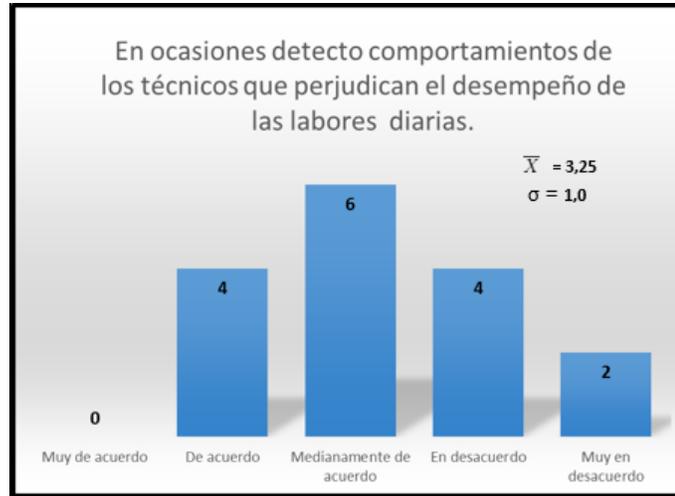
Una vez realizada la priorización de las órdenes pendientes de atención, es necesario asignar los móviles a aquellas fallas que tengan mayor prioridad. Para ello con la encuesta se busca esclarecer cuáles variables son consideradas por el operador al momento de asignar un móvil.



**Figura 2.17:** Pregunta 9 Encuesta

En esta pregunta se evidencia que los operadores de centro de comando consideran variables que son subjetivas y dependen del criterio y la experiencia de cada uno, sean ejemplos de éstas las capacidades de los técnicos de turno, que de acuerdo a las exigencias de la empresa se encuentran capacitados de igual manera. De las entrevistas se desprende que en general los operadores suelen entregarle una mayor carga de trabajo a aquellos técnicos que consideran mejores o más eficientes, esto genera desbalances que repercuten en el desempeño total del área.

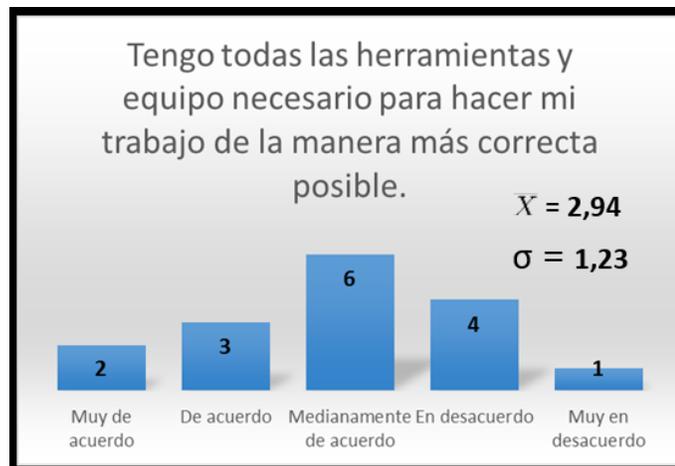
Por último, y en base a las razones entregadas para justificar la implementación de GPS se quiere indagar si para ojos del despachador el desempeño de los técnicos es el adecuado o requieren mayor control para que funcionen.



**Figura 2.18:** Pregunta 10 Encuesta

No se puede establecer una tendencia clara ya que existe una alta desviación en las respuestas, lo que sí se puede establecer que hay opiniones divididas habiendo un 62 % de la muestra al menos medianamente de acuerdo con que el comportamiento de los técnicos en ocasiones influye perjudicando el servicio.

En cuanto a la estructura del área se evalúa la percepción de los trabajadores respecto a los sistemas actuales y las herramientas disponibles, como son los medios de comunicación, los software y equipos involucrados en el proceso.



**Figura 2.19:** Pregunta 11 Encuesta

Acá se aprecia en general mediana conformidad con las herramientas disponibles, para ellos se entrega la instancia de detallar aquellas sugerencias para mejorar el sistema, se toma

en cuenta aquellas relacionadas con el proceso de priorización y asignación de órdenes que corresponden a:

- Instalación de PDA, tablet o notebook en móviles SAT.
- Instalación de GPS en los móviles
- Mejorar tiempo respuesta P.O.
- Mejorar equipos de comunicación, como es la radio y la utilización de Smartphone.
- Robustez de los sistemas existentes.

### **2.1.5. Conclusiones diagnóstico**

Una vez analizada la información descrita anteriormente se procede a concluir el diagnóstico, para ello se agruparon 4 problemáticas u oportunidades de mejora para el proceso actual de priorización y asignación de fallas.

#### **2.1.5.1. Información de entrada poco confiable**

La principal fuente de órdenes de atención que llegan al Servicio Técnico es proveniente de los reclamos efectuados por los clientes a la Mesa de Atención al Cliente. Para que el Centro de Comando pueda realizar la labor de asignación de órdenes de forma óptima es esencial que la información ingresada sea verídica y lo más completa posible, ya que en caso contrario la decisión tomada por el despachador es poco eficiente y puede generar errores que generen grandes pérdidas de tiempo y recursos. La primera de las problemáticas detectadas en el diagnóstico, principalmente con las entrevistas realizadas a los trabajadores del área, es que la calidad de la información ingresada por la Mesa de Atención al Cliente es deficiente, generando que los Operadores del Centro de Comando interioricen dentro de sus labores diarias el revisar y corregir aquellas órdenes con información deficiente o incorrecta. Esto genera desperdicio de horas hombre al realizar una labor que no agrega valor al proceso y pérdida de tiempo de los móviles SAT cuando se les asigna una orden con errores de información, dentro de los ejemplos entregados se encuentran; en ocasiones no

existe o no se encuentra la dirección en terreno, se realizan dos visitas a un mismo cliente o se concurre al lugar y el reclamo correspondía a temas comerciales que no requieren atención en terreno.

De acuerdo a lo conversado con el personal y los jefes del área, este problema proviene de varios años atrás y se ha intentado tomar medidas, el único inconveniente es que el Mesa de Atención al Cliente es una empresa contratista y presenta una alta rotación de personal, ésto genera se deban estar haciendo constantes capacitaciones, perdiendo tiempo en el adiestramiento y la adaptación de los empleados.

Dentro de las formas de solucionar esto se tiene el definir y estandarizar la forma de ingreso de la información, siendo más exigentes y rigurosos al momento de crear una orden, también es necesario realizar capacitaciones personalizadas a los trabajadores de la Mesa de Atención al Cliente, añadiendo contenidos eléctricos que permitan que el ingreso de la causa tentativa sea más confiable y facilite las labores del operador del Centro de Comando.

#### **2.1.5.2. Falta de información para la toma de decisiones y control SAT**

Un elemento sumamente importante a la hora de asignar un móvil es conocer su ubicación, actualmente el Centro de Comando tiene una noción sobre el sector donde se encuentra el móvil pero no posee un sistema georreferenciado para el control de su flota, es por esto que la información referente a la ubicación y tiempos de trabajo restantes es proporcionada por el técnico notifica al operador cuando concurre al lugar y una vez que finalizado el trabajo, la comunicación como se ha descrito anteriormente es vía radial.

El hecho que actualmente el técnico sea quien informe al operador sobre su ubicación y los tiempos restantes de trabajo permite que se generen situaciones en las que se les entrega mucha libertad al técnico y éste se aproveche de aquello. Principalmente esto trae como consecuencias que los móviles demoren más de lo presupuestado en llegar al lugar debido a la falta de control y supervisión que posee las personas en terreno.

Así mismo al entregar tanta libertad al técnico el desempeño de éste depende netamente de su eficiencia y proactividad, lo anterior genera que el operador del Centro de Comando diferencie entre aquellos técnicos con los que tiene mayor afinidad al momento de asignar y les entregue una mayor carga de trabajo. Esto afecta directamente a la eficiencia del

proceso, ya que se están tomando decisiones con el criterio personal y no necesariamente por lo que es óptimo para la atención del cliente. A modo de ejemplo los despachadores han detectado situaciones irregulares como sería la demora excesiva en trayectos o en la realización de los trabajos.

Teniendo en cuenta que la ubicación de los móviles es fundamental para realizar una buena gestión de recursos, se propone tener un mejor control de la ubicación mediante la implementación de la plataforma de control de flota y además, incorporar como requisito el hecho que el técnico deba realizar una estimación del tiempo que tardará para todo tipo de fallas, incluidas las domiciliarias.

Además se requiere que la información sea útil para la toma de decisiones. Uno de los 3 factores que deben considerar los despachadores para priorizar una falla es la urgencia que ésta presenta, para ello actualmente se tiene el indicador de prioridad proveniente del sistema Power On, el cual como se mencionó anteriormente no es representativo por lo que no agrega valor al proceso sino que lo entorpece. Para ésto se recomienda realizar una actualización de las prioridades en el sistema Power On que considere solamente aquellas causas que sí son representativas y definiendo la urgencia de éstas de acuerdo a un criterio único definido por los mismos usuarios de Power On.

### **2.1.5.3. Unificar visión del área y estandarizar el proceso del Centro de Comando**

El factor humano es de suma importancia para el buen rendimiento de la empresa y en este caso del Servicio Técnico, es por ello que es fundamental que la misión y visión de los trabajadores esté alineada con la de la empresa y más específicamente del área. Dentro de las problemáticas más importantes se tiene que los trabajadores no tienen claridad sobre la visión del área y los objetivos que ésta tiene, principalmente se detectan dos orientaciones dentro de los trabajadores del Centro de Comando, la primera corresponde a una visión que se orienta a la solución de la falla más urgente y la otra corresponde a una visión más productiva que distribuye los recursos de acuerdo a una planificación y con el objetivo de realizar la mayor cantidad de atenciones posibles en el turno. Esto genera que en el Centro de Comando existan diferentes metodologías para realizar la misma labor.

De acuerdo a la establecido en los procedimientos internos del área, el operador de

Centro de Comando debe priorizar las fallas antes de asignar los móviles, para esto se consideran 3 factores sin determinar la importancia o ponderación de cada uno, dejando a expertiz de operador el criterio de priorización. Además en la asignación de recursos en terreno también se observan maneras poco estándar de proceder y una serie de sesgos por parte del operador.

En conclusión, gran parte del trabajo que realizan los despachadores es por criterio propio y depende mucho de la visión del área que tienen lo que genera grandes ineficiencias para la gestión del área, ya que no se utilizan los recursos de manera óptima al tener una gran dispersión y poco control en la labor de administrar los recursos en terreno.

Mantener motivados a sus trabajadores para que realicen sus actividades de la mejor manera posible es de suma importancia dentro de la empresa y para ellos es necesario unificar los procesos, la visión y motivación de los trabajadores. En este trabajo se realiza una propuesta de mejora para el sistema actual de asignación de móviles, para ello se desarrolla la formulación de un modelo de programación matemática para el ruteo de vehículos que sirven este proceso, éste debe considerar diversos elementos propios de este proceso en esta empresa, tales como; prioridad de las órdenes, tiempos de concurrencia exigidos por ley, traslados, etc.

#### **2.1.5.4. Incorporación de tecnologías**

Como a quedado en evidencia el trabajo que realiza el Operador del Centro de Comando es sumamente exigente y gran parte de éste depende de su memoria y agilidad para cambiar de escenario de manera dinámica. Además, se debe considerar que realizan múltiples labores dentro de las cuales se puede mencionar; comunicarse con el Servicio SAT y Mesa de Atención al Cliente, controlar el trabajo realizado por el técnico en terreno mediante la entrega de indicaciones y permisos de trabajo, monitorear el estado del sistema eléctrico de la empresa con el sistema SCADA, contestar el teléfono, etc. En base a esto es que en ocasiones el Centro de Comando y el Servicio Técnico se ven sobrepasados, lo que genera que no se realicen todas las labores de manera óptima provocando ineficiencias en el sistema.

Para facilitar el trabajo del operador del Centro de Comando es fundamental la in-

corporación de nuevas tecnologías al sistema, dentro de ellas se sugiere implementar el monitoreo de los GPS en el Centro de Comando, de esta manera de sacar provecho a estos dispositivos. Además, es necesaria la implementación de herramientas de comunicación más eficientes que faciliten la comunicación y el traspaso de información entre el Centro de Comando y el SAT, así se aprovecharía tiempo que actualmente se utiliza en entregar indicaciones de la falla y podría incluso facilitar los traslados de las personas en terreno.

## **2.2. Contexto de la investigación**

### **2.2.1. Problemática**

El Centro de Comando de la empresa Chilquinta Energía S.A. es el área encargada de la administración todos los recursos en terreno que posee la empresa para la reparación de las fallas que generan interrupciones del servicio eléctrico a los clientes pertenecientes a toda el área de concesión de la empresa. Como se describe anteriormente el Operador del Centro de Comando recibe los requerimientos de los clientes en tiempo real, operando las 24 horas del día. Una de las labores que desempeña este actor es priorizar las fallas de acuerdo al riesgo y las consecuencias que puede generar para posteriormente asignar un móvil para que realice la reparación en terreno, en base a esto, con el ingreso de un nuevo requerimiento el operador debe ser capaz de entregar una respuesta rápida en orden de responder en tiempo real a las nuevas condiciones de operación. Como se menciona anteriormente, la principal característica y complejidad de este proceso es el hecho de ser dinámico, ya que a medida que un cliente realiza un reclamo se incorpora de forma inmediata a las órdenes pendientes y puede cambiar las prioridades y el orden de atención que se tenía programado.

Actualmente las rutas son construidas por medio de la inspección visual del problema y de acuerdo a lo establecido en el diagnóstico, el sistema posee deficiencias que repercuten en el rendimiento del proceso. Principalmente, el procedimiento documentado por el área no define una forma estándar de proceder, en éstos no se especifica los criterios y variables que deben ser utilizados al momento de priorizar y asignar las órdenes, por lo que la

información que considera cada operador para la toma de decisiones es de criterio personal y depende netamente de la expertiz que éste tenga. Dentro de las problemáticas detectadas se tiene que dentro del Centro de Comando existen variadas metodologías para realizar la asignación de recursos. Además debido al empoderamiento que tienen los trabajadores en sus tareas existen diversos sesgos que perjudican la eficiencia del proceso. Si bien el operador tiene apoyo de algunos softwares para la realización de sus tareas, la labor de priorizar y asignar órdenes es realizada mentalmente, este método posee diversas limitantes si consideramos las múltiples labores que desarrolla el operador en el Centro de Comando, una limitante es el hecho que son diversos los factores que debe considerar al momento de evaluar qué móvil es el más adecuado para asignar a una orden. En consecuencia, gran parte del trabajo depende de la memoria y concentración que se posea en el momento por lo que las decisiones son susceptibles a errores humanos. De acuerdo a lo anterior, la metodología actual de asignación de móviles genera sólo una solución factible, que puede ser mejor o peor, pero no producto del desarrollo de alguna metodología analítica que use algún criterio de decisión establecido.

Una de las razones que justifican la utilización de esta metodología podría estar en el desconocimiento de las herramientas que se han desarrollado en los últimos años para el problema de ruteo de vehículos (*Vehicle Routing Problem*, VRP), en la poca credibilidad en los beneficios que estas pueden traer, la complejidad de su implementación y el alto requerimiento de customización que requiere. Otra razón podría estar en la falta de oferta de herramientas destinadas a resolver este problema.

La ineficiencia del sistema no presenta costos de manera directa ya que los costos de transporte y de personal están abarcado dentro de los contratos que se tiene con las empresas externas que prestan ese servicio a Chilquinta, sin embargo, afecta directamente a la productividad del área y la percepción que posee el cliente del servicio entregado. En conclusión, una mejor gestión y organización de recursos en terreno permite aumentar las atenciones diarias realizadas por el área, aumentar la calidad del servicio entregado y disminuir los tiempos de espera de los clientes. Para ello, es necesario conocer y definir un forma estándar de proceder para priorizar y asignar los recursos en terreno. En este trabajo se realiza la formulación de un modelo de programación matemática que sea capaz de

planificar de manera óptima los recursos considerando todas las características de operación, los requerimientos técnicos y legales, con el objetivo de facilitar y estandarizar la toma de decisiones efectuada por los Operadores del Centro de Comando.

### **2.2.2. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Proponer un esquema operacional para la asignación y ruteo de móviles que realizan las mantenciones correctivas en Chilquinta Energía S.A. Mediante la formulación de un modelo de programación matemática que permita optimizar el proceso, mejorar el rendimiento del área y su productividad.

#### **Objetivos específicos**

- Realizar un análisis crítico al proceso de priorización y asignación de recursos en terreno.
- Conocer y caracterizar los factores determinantes en las decisiones de despacho de las camionetas que realizan las mantenciones correctivas.
- Encontrar otras oportunidades de mejora en el proceso para contribuir a la calidad del servicio entregado por el área.
- Proponer un esquema operacional que permita optimizar el uso de recursos disponibles con tal de minimizar los tiempos de respuesta y satisfacer todos los requerimientos de clientes cumpliendo la normativa vigente.
- Validar el modelo de manera que entregue soluciones factibles y considere el funcionamiento real del Centro de Comando.
- Evaluar la herramienta propuesta en contraste con la el sistema actual en términos de tiempos de respuesta y beneficios para la empresa y los clientes.

### 2.2.3. Alcance

Este trabajo se enfoca en realizar un estudio de tipo determinístico para describir y explicar la situación actual en el Centro de Comando perteneciente a la Gerencia de Operaciones de la empresa Chilquinta Energía S.A. Para el estudio se considerarán toda el área de operación que posee la empresa.

En el trabajo contemplado se tiene el desarrollar un modelo que permita a la empresa realizar una asignación óptima de los vehículos que realizan mantenciones correctivas en los diferentes sectores que abastecen, considerando los recursos disponibles por zona, tiempos de traslado, tiempos de servicio y las exigencia de la normativa vigente. Cabe destacar que los tiempos de traslado y atención de los clientes se consideran determinísticos, es decir, no considera ningún tipo de variación o aleatoriedad. Además el modelo considerará la situación en condiciones normales de la empresa, es decir no considera imprevistos o situaciones de contingencia.

Actualmente en la empresa existe una serie de proyectos en curso que podrían modificar las condiciones del modelo, en este sentido se considerará el proyecto más reciente ya implementado dejando fuera los proyectos pendientes de los cuales no existe certeza que vayan a aplicarse o si obtendrán un resultado exitoso.

El modelo de programación matemática es desarrollado en el software AMPL y resuelto por CPLEX. Dada la complejidad de los VRP con ventanas de tiempo, en esta tesis se determinará el tamaño de las instancias que se pueden resolver a optimabilidad en tiempos computacionales acordes a los requerimientos de Chilquinta, es decir, se determinará el número máximo de órdenes que puede considerar el problema para ser resuelto en tiempos computacionales aceptables para una gestión en tiempo real. Por último, se busca comparar el sistema de asignación actual con el modelo propuesto, evidenciando los beneficios que implicaría la implementación de éste.

### 2.2.4. Metodología

Para este trabajo se utiliza programación matemática en la formulación del problema. Las fases de este proyecto son:

1. Análisis e interpretación de la organización como un sistema: Consiste en examinar el sistema que se está estudiando, identificando componentes internas y externas y las interacciones de éstas. El sistema de estudio es el Servicio Técnico de la empresa Chilquinta.
2. Formulación de los problemas de la organización: Etapa correspondiente a la conclusión del diagnóstico del proceso en estudio, se identifican aquellos componentes o interacciones que no están funcionando de manera óptima o adecuada dentro del sistema o subsistema en el cual se centra el estudio. En esta etapa se responde el qué y cómo se procederá a optimizar el proceso de priorización y asignación de móviles, se debe justificar por qué se hace interesante el desarrollo de una herramienta de programación lineal en esta área.
3. Construcción del modelo: Con las etapas anteriores se establece la información disponible para la ejecución del proceso, es decir los parámetros del modelo. Además se deben establecer las variables implicadas y determinar las restricciones del problema. La construcción del modelo consiste en relacionar las variables de decisión, los parámetros y las restricciones del sistema con el objetivo de realizar una asignación óptima y cumplir con el nivel de servicio que se espera entregar al cliente.
4. Derivación de soluciones del modelo: En esta fase se deriva una solución matemática empleando diversas técnicas, métodos y herramientas, en este caso se realiza la programación del modelo en AMPLy se resuelve mediante cplex.
5. Validación del modelo: Se analiza la capacidad del modelo para predecir razonablemente el desempeño del sistema ante diversas alternativas de decisión, se analiza cómo se comporta el modelo ante cambios en las especificaciones y parámetros del sistema. Luego es necesario verificar si la solución es razonable, realizar pruebas de consistencia, validación de supuestos, etc. Esta etapa se realiza comparando el modelo creado con el sistema actual de asignación para determinar los brneficios que puede traer, para ello se utilizan bases de datos obtenidas del sistema Power On.

!TEX root = memoria.tex

## Capítulo 3

# Marco Teórico

Esta revisión bibliográfica se divide en tres secciones: En la primera, se hace referencia a lo existente en la literatura acerca de Problemas de Ruteo de Vehículos (*Vehicule Routing Problem*, VRP), mencionando las características, formulaciones y soluciones propuestas para los problemas de este tipo por los distintos autores. El análisis se centra en el Problema de Ruteo con Ventanas de Tiempo considerando su formulación de manera estática y entregando una breve descripción de cómo se ha enfrentado en los últimos años los problemas dinámicos. En la segunda sección, se introduce las formas de formulación para un VRP, en donde se hace mención a las formulaciones MILP. Finalmente, en la tercera sección se ilustra las diferentes alternativas de solución de un VRP en donde se describe brevemente en qué consisten los métodos exactos, heurísticas y metaheurísticas.

### 3.1. Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)

El VRP es un problema central de la logística que deben enfrentar las empresas que realizan distribución de algún producto o servicio. El ruteo de vehículos requiere decidir cómo atender la demanda de los clientes con los medios de transporte existentes en una empresa, o los que puede subcontratar. Además, siempre busca satisfacer la demanda de los clientes a mínimo costo, sujeto a ciertas características de operación.

Para comenzar con esta revisión bibliográfica, es necesario remontarse al año 1956

cuando Flood plantea el Problema del Vendedor Viajero (TSP). El problema se puede plantear como sigue:

*“Un vendedor (viajero por cierto) necesita visitar  $n$  puntos de la ciudad, sin importar el orden en que lo haga, cada uno exactamente una vez y en el menor tiempo posible”.* (Flood, 1956)

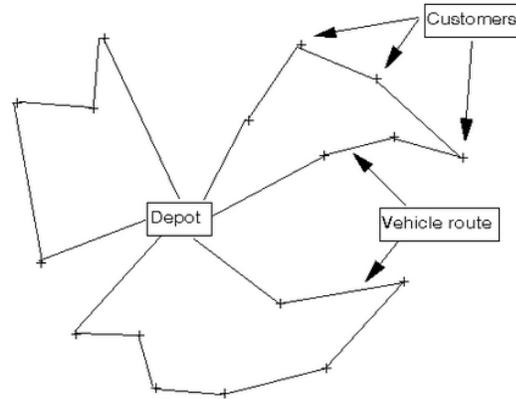
En el contexto de lo que se verá más adelante, podríamos decir que el vendedor viajero es asociable a un operador de un servicio puerta a puerta que debe atender a la demanda ubicada en la posición de cada uno de los  $n$  nodos que debe visitar.

El problema de ruteo de vehículos es una generalización del TPS y es uno de los problemas de optimización combinatorial más estudiado, debido a su relevancia práctica y su considerable dificultad (Toth y Vigo, 2002). La aparición del VRP se enuncia como:

*“Se cuenta con una flota de  $m$  vehículos cada uno con capacidad  $Q$ , y se necesita despachar cargas a  $N$  puntos de la ciudad partiendo cada vehículo desde algún depósito. Cada uno de los puntos  $i$  tiene asociada una demanda  $q_i$  que debe ser satisfecha por uno y sólo uno de los vehículos”.*(Dantzig y Ramser, 1959)

Básicamente, el problema en su formulación clásica, considera una flota homogénea de vehículos, un conjunto de clientes (*Customers*) distribuidos geográficamente y un depósito central (*Depot*). El resultado corresponde a un conjunto de rutas (*Routes*) donde cada una es realizada por un sólo vehículo que comienza y termina en el depósito, de tal forma que todos los clientes son visitados exactamente una vez y se satisface su demanda. Ésto, con el objetivo que los costos o tiempos totales de transporte sean minimizados.

A continuación en la Figura 3.1, se puede ver un ejemplo de un problema de ruteo de vehículos clásico.



**Figura 3.1:** VRP Clásico

Los vehículos llevan a cabo su operación usando una red de carretera (*road network*), cuyo conjunto de arcos, corresponde generalmente a las mínimas distancias que unen los vértices. Los arcos, y por consecuencia el grafo, puede ser dirigido o no dirigido, dependiendo si las calles pueden ser atravesadas en una sola dirección o en ambos sentidos. Además, se le asocia un costo o tiempo de viaje a cada arco, el cual generalmente está relacionado con la longitud del camino.

Aún cuando el VRP es considerado por muchos como el problema central de la distribución de bienes y servicios, su versión elemental asume muchos supuestos que limitan su implementación práctica en problemas reales de distribución. A continuación, se hace una breve descripción de las variaciones más comunes del VRP y se profundiza en aquellos que servirán para la formulación de este trabajo.

### 3.1.1. Tipos de VRP

A partir de la introducción del VRP en la sección 3.1, en las últimas décadas se ha estudiado una gran variedad de extensiones y variaciones que han incorporado nuevas restricciones, obviando algunos de los supuestos y limitaciones iniciales, permitiendo así adaptarse mejor a las necesidades que la gestión logística va generando. Dentro de las extensiones más comunes se tiene:

- El problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (*VRP with Time Windows*, VRPTW): es otra versión del problema de ruteo de vehículos, pero impone

restricciones de ventanas de tiempos que deben cumplir los vehículos para realizar sus entregas. Para esto a cada cliente  $i$  se le asocia un par de valores  $[e_i, l_i]$  que representan un intervalo de tiempo dentro del cual debe ser atendido. Algunas contribuciones importantes en formulación y resolución de este tipo de problemas las realizan los siguientes autores: Golden y Assad (1986), Solomon (1987), Bramel y Simchi-Levi (1996), Ioannou et al. (2001), y Bräysy y Gendreau (2005). A continuación en la sección 3.1.2 se describe más detalladamente este VRP.

- VRP con restricciones de capacidad (*Capacitated VRP*, CVRP): en este problema se cuenta con un conjunto de camiones homogéneos con capacidad  $Q$  y un centro de distribución único que debe abastecer a sus clientes, quienes demandan una cantidad  $q_i$  de un bien. Dentro de éstos existen diversas extensiones como los VRP con flota heterogénea (*Heterogeneous fleet VRP*, HVRP) en donde los vehículos tienen diferentes capacidades y los VRP con restricciones de distancia y capacidad (*Distance-constrained and Capacitated VRP*, DCVRP) donde además de tener las restricciones de capacidad, los vehículos poseen restricciones de distancia finita. Dentro de los aportes en este tipo de problemas se tiene Fischetti et al. (1995) y Cordeau et al. (1997)
- En algunas situaciones, existe la posibilidad de que los clientes no sólo reciban carga, sino que también retornen mercadería hacia el depósito, lo que se conoce como logística reversa. Este problema se conoce como Problema de Ruteo de Vehículos con Carga/Descarga simultánea (*VRP with Pick-up and Delivery*, VRPPD) en el cual la demanda se puede dividir en 2 conjuntos, el primero de los nodos de oferta y el segundo de nodos de demanda. Como el VRP clásico cada nodo debe ser visitado una sola vez y por tan solo un vehículo, esto agregando que se debe satisfacer toda la oferta/demanda de los clientes. Este problema ha sido estudiado por Min (1989) y más recientemente, por Montané y Galvao (2006), y Bianchessi y Righini (2007).
- Una restricción importante presente en la formulación original del VRP es que cada cliente debe ser atendido exclusivamente por un solo vehículo. El problema de ruteo vehicular con atención segregada (*Split Delivery Vehicle Routing Problem*, SDVRP)

relaja esta restricción y permite que un cliente pueda ser atendido por más de un vehículo, lo que puede ser muy beneficioso en problemas donde la demanda de los clientes es grande en relación a la capacidad de los vehículos. Este problema ha sido estudiado por [Dror y Trudeau \(1989\)](#), [Archetti et al. \(2006\)](#) y [Chen et al. \(2007\)](#).

- La mayor parte de la literatura sobre ruteo vehicular se ha concentrado en problemas de naturaleza determinística y estática, pero para casos aplicados, puede suceder que el planificador no conozca toda la información al momento en que el proceso de ruteo comienza, o también, clientes que demandan el servicio a medida una vez que el proceso ya comenzó. Para este tipo de VRP, recién en los últimos años, como respuesta a los avances en Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC), y al incremento que ha experimentado la importancia de la calidad del servicio al cliente, se han estudiado modelos dinámicos para los problemas de ruteo. Entre los autores se tiene [Ichoua et al. \(2006\)](#), [Chen et al. \(2006\)](#) y [Haghani y Jung \(2005\)](#).

### 3.1.2. Problema de Ruteo con Ventanas de Tiempo (VRPTW)

Durante las últimas dos décadas, se han desarrollado extensiones al VRP que incorporan restricciones temporales al problema. El problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*, VRPTW), es una extensión al VRP donde además de la restricción de capacidad de carga de los vehículos se agrega la condición de que cada cliente debe ser visitado dentro de un intervalo de tiempo determinado. Algunas contribuciones importantes corresponden a [Golden y Assad \(1986\)](#), [Solomon \(1987\)](#), [Bramel y Simchi-Levi \(1996\)](#), [Ioannou et al. \(2001\)](#), y [Bräysy y Gendreau \(2005\)](#).

El Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de tiempo (VRPTW) es un VRP que tiene una restricción temporal, dicha restricción es que los clientes deben ser servidos por los vehículos dentro de un rango de tiempo determinado  $[e_i, l_i]$ . Para ello se consideran tiempos de servicio  $S_i$  conocidos para cada cliente y se entrega como resultado además de la ruta de cada vehículo, los tiempos de llegada del vehículo al cliente.

Las ventanas de tiempo, pueden ser duras o suaves. En el caso de las ventanas duras, si un vehículo llega antes del inicio de la ventana a un cliente, está permitido esperar hasta que

el cliente este listo para recibir el servicio. Sin embargo, no está permitido llegar después del fin de la ventana al cliente. En contraste, en las ventanas de tiempo suaves, las ventanas pueden ser violadas a un costo. En este tipo de situaciones se asignan diferentes prioridades o multas asociadas al incumplimiento de la ventana de tiempo del cliente  $i$ .

Por lo general, la función objetivo del VRPTW suele ser minimizar los costos o tiempos de viaje totales, al igual que el VRP clásico, pero en presencia de ventanas de tiempo, los costos totales de ruteo no sólo incluyen el total de distancia y tiempo de viajes, sino también el costo del tiempo de espera en que se incurre cuando un vehículo llega antes a un cliente o para el caso de ventanas suaves; el costo de penalización por llegar después que se haya cerrado la ventana de tiempo, como se hace en (Solomon y Desrosiers, 1988) y (?) (?) respectivamente.

### 3.1.2.1. VRPTW con información en tiempo real

Cuando se entrega un servicio a medida que se demanda, con la aparición de un nuevo cliente, El centro de despacho debe entregar una respuesta rápida en orden de responder en tiempo real a las nuevas condiciones de operación.

Dado que una de las características principales del problema a plantear en este trabajo, es que las órdenes aparecen a medida se realiza la planificación, se realiza una breve revisión bibliográfica sobre los VRP con Ventanas de Tiempo dinámicos o con información en tiempo real.

Al momento de la planificación de las rutas a recorrer, sólo se cuenta con la información de los nodos a visitar que han requerido el servicio de manera predeterminada, esto es, antes del comienzo de la ruta. Sin embargo, en los problemas dinámicos estas rutas sufren modificaciones importantes, sobretodo si se consideran ventanas de tiempo. El Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo y con Información en Tiempo Real (*Real Time – Vehicle Routing Problem with Time Windows*, RT-VRPTW), es una de las tantas variantes del VRPTW. Existen diversos artículos que estudian este tipo de problemas. Por ejemplo: [Haghani y Jung \(2005\)](#), [Ichoua et al. \(2006\)](#) y [Chen et al. \(2006\)](#).

A continuación se realiza una breve descripción de los trabajos de estos autores y los supuestos que consideran, rescatando las similitudes con el problema a plantear en este

trabajo.

- En [Ichoua et al. \(2003\)](#), el problema considerado es de recolección (o entrega) dinámica, motivado por aplicaciones de servicio de correo y considerando restricciones de ventanas de tiempo. En la definición del problema, se consideró una flota homogénea de vehículos de capacidad fija, que debe servir clientes de demandas fijas dentro de un horizonte de tiempo dividido en varios intervalos de tiempo. Además, se consideraron ventanas de tiempo suaves para los clientes, y dura para la bodega. El objetivo que se persigue en este artículo consistió en minimizar el costo total de las rutas, que incluía a los tiempos totales de viaje y de servicio sobre todos los clientes. En este artículo están permitidos los tiempos de espera en caso de haber flexibilidad de tiempo antes del próximo cliente se establece el supuesto que el vehículo debe esperar en el nodo que acaba de atender con la idea que el vehículo atienda a un posible cliente que podría aparecer en la vecindad de su actual posición
- Por otro lado, se tiene a [Haghani y Jung \(2005\)](#). Acá, los autores presentan una formulación para el problema de ruteo con ventanas de tiempo dinámico con tiempos de viaje dependientes del tiempo, además desarrollan un algoritmo genético para resolverlo. La formulación del problema consideró restricciones de capacidad, ventanas de tiempo suaves, se consideran múltiples vehículos con diferentes capacidades y requerimiento de servicios y control vehicular en tiempo real. El objetivo del problema, al igual que el artículo anterior, es minimizar el costo total de ruteo, pero además incluye costos fijos por uso de vehículos, costos por esperas para comenzar la atención y penalidades por atrasos en la atención de los clientes.
- Dentro de las investigaciones más actuales en problemas dinámicos, se tiene a [Chen et al. \(2006\)](#), que desarrolla el VRPTW con información en tiempo real y tiempos de viaje dependientes del tiempo. Este problema al igual que el artículo anterior, incluye demandas predeterminadas y en tiempo real.

La formulación incluye restricciones temporales, de capacidad y flujos, satisfacción de toda la demanda y que indican que los nodos se pueden visitar sólo una vez y por un vehículo, entre otras. El objetivo que se persigue en este artículo, es minimizar el costo de las rutas vehiculares que comienzan desde el nodo en que se encuentra el móvil, denominado “nodo crítico” que se explica más adelante, además, se deben visitar a todos los clientes no visitados y finalizan la ruta en la bodega.

Al igual que el autor presentado anteriormente, la función de minimización incluyó tiempos de espera después del servicio y tiempos de espera antes de la salida de cada uno de los nodos con la diferencia que agrega pesos para los tiempos de viaje de cada arco.

En general, en los VRPTW dinámicos se busca obtener rutas que minimicen los costos de viaje, tal que cada ruta sea realizada por un solo vehículo y que todos los clientes son visitados. Cabe mencionar que el problema a tratar en este trabajo no contiene restricciones de capacidad ya que el área brinda el servicio de reparación de fallas. Tampoco considera tiempos de viaje dependientes del tiempo.

A diferencia del VRP clásico y del VRPTW, del planteamiento de estos autores se rescatan algunas características adicionales, como que en los problemas dinámicos las rutas no comienzan necesariamente en la bodega, ya que es necesario realizar actualizaciones durante el periodo de planificación, para ello se utilizará el concepto de nodo crítico mencionado en [Chen et al. \(2006\)](#). Se puede definir el nodo crítico según dos casos: (i) si el vehículo se encuentra atendiendo un cliente, el nodo crítico será la replicación del nodo considerando el tiempo restante de atención; (ii) si el vehículo se encuentra recorriendo la red en dirección a un cliente, entonces el nodo crítico será el nodo correspondiente a ese cliente. A continuación se ilustra el nodo crítico para los casos mencionados:

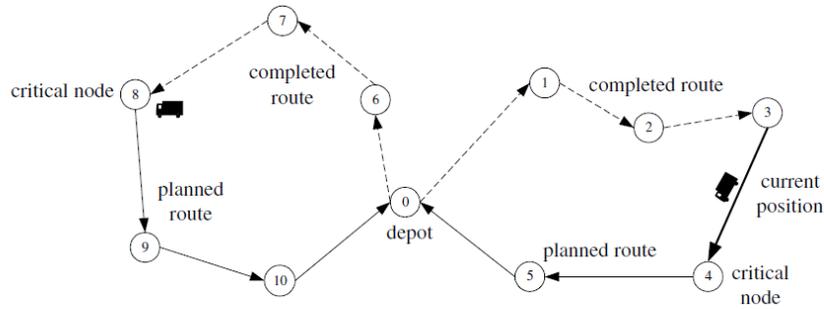


Fig. 2. Vehicle routes and critical nodes.

**Figura 3.2:** Rutas de los vehículos y nodos críticos. Fuente: ?

Otras consideraciones necesarias que se rescatan de estos autores para la formulación del problema que se verá en el capítulo 4 son: la utilización de ventanas de tiempo suaves y la inclusión de penalizaciones por atrasos en la función objetivo.

## 3.2. Tipos de Formulación

Existen distintas alternativas de solución del punto de vista de como se formula el problema, entre ellas se considera Programación con Restricciones (*Constraint Programming*, CP) y Programación Lineal Entera Mixta (*Mixed Integer Linear Programming*, MILP).

### 3.2.1. Programación con Restricciones

CP corresponde a un paradigma para representar y resolver una amplia variedad de problemas (Shaw, 1998). Los problemas generalmente son expresados en términos de variables, dominios para aquellas variables y restricciones entre las variables. Luego, el problema es resuelto utilizando alguna técnica de búsqueda completa como depth-first search para satisfacción o Branch-and-Bound para optimización. El lenguaje utilizado para expresar los problemas en términos de CP es abundante y lo convierte en un candidato ideal para el VRP. Sin embargo, la complejidad del VRP provoca que en problemas de gran tamaño como las aplicaciones prácticas, el tiempo necesario para calcular la solución óptima puede ser demasiado extenso (Backer et al., 1997).

### 3.2.2. Programación lineal entera mixta

Los problemas de Programación Lineal Entera Mixta (*mixed integer linear programming*, MILP), son problemas de optimización o viabilidad matemático en el que existen al menos un conjunto de variables que están restringidos a ser números enteros. La solución de un programa lineal asciende a maximizar una función lineal definida sobre un politopo. (Papadimitriou y Steiglitz, 1998)

MILP puede ser formulado de la forma:

$$\begin{aligned}
 & \text{máx } \mathbf{c}\mathbf{x} + \mathbf{h}\mathbf{y} \\
 & \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{G}\mathbf{y} \leq \mathbf{b} \\
 & \mathbf{x} \geq 0, \text{ integer} \\
 & \mathbf{y} \geq 0
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Donde  $A$  y  $G$ , matrices definidas en  $\mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^n$  y vectores  $\mathbf{c}$ ,  $\mathbf{h}$  y  $\mathbf{b} \in \mathbb{R}^n$  y la solución al problema  $\mathbf{x} \in \mathbb{N}$  e  $\mathbf{y} \in \mathbb{R}^n$

Cabe destacar que si todas las variables son definidas enteras se trata de un problema de programación lineal entero puro (*integer linear program*, ILP).

## 3.3. Técnicas de Solución

Las técnicas de solución para un VRP se dividen en (Golden y Assad, 1988):

- Procedimientos Exactos
- Heurísticas
- Metaheurísticas

Independiente de la formulación utilizada los resultados de la literatura coinciden en un punto: para problemas de pequeña envergadura, menos de 25 puntos de venta y un centro

de distribución, los modelos exactos son capaces de encontrar una buena solución en un tiempo computacional reducido.

### 3.3.1. Métodos Exactos

Dada la complejidad de los problemas, sólo las instancias con pocos clientes pueden ser resueltas consistentemente por métodos exactos. En este tipo de metodologías, suele resolverse alguna relajación del problema usando por ejemplo Branch and Bound. También se han propuesto algoritmos basados en Programación Dinámica que aceleran los cálculos mediante una relajación del espacio de estados. Por otro lado algunos problemas, se pueden resolver usando métodos de generación de columnas. Dentro de los métodos exactos para resolver el VRP, destacan los algoritmos del tipo Ramificación y Acotamiento (R&A), Ramificación y Corte (R&C) y Partición de Conjuntos - Generación de Columnas (PC-GC). Dentro de los algoritmos de tipo R&A, destacan los trabajos de [Laporte et al. \(1986\)](#) y [Fischetti et al. \(1994\)](#). La idea de estos trabajos es la de dar cotas inferiores a las soluciones de los respectivos problemas, por medio de relajaciones de las variables enteras o eliminación de algunas restricciones. Con estas relajaciones se llega a problemas conocidos en la literatura con soluciones rápidas y que representan cotas para el valor del problema original.

### 3.3.2. Heurísticas

Las heurísticas, son procedimientos simples que realizan una exploración limitada del espacio de búsqueda y dan soluciones de calidad aceptable (no necesariamente óptimas) en tiempos de cálculo moderados. Son la forma más usada para resolver problemas de ruteo de vehículos, ya que como se sabe la mayoría de estos son NP-Hard, lo que deriva en grandes tiempos de resolución cuando se usan métodos exactos. En aplicaciones reales el tamaño de los problemas es mucho mayor a las instancias teóricas y las soluciones deben ser determinadas rápidamente, por lo que el uso de las heurísticas permite obtener soluciones aproximadas de calidad, además de ser menos sofisticadas algorítmicamente, por lo que es más fácil programarla y a la vez son más fáciles de comprender.

Utilizando la clasificación propuesta por Laporte (1990)), las heurísticas clásicas para el VRP se encuentran bajo los siguientes encabezados: métodos de construcción de ruta, métodos de dos fases y métodos de mejoramiento de ruta.

Además, podemos mencionar los métodos de ahorro de tiempo y los métodos de inserción. En los métodos de ahorro de tiempo están los trabajos de: Desrochers y Verhoog (1989) y Wark y Holt (1994). Estos métodos buscan mezclar rutas con un criterio de pegado entre ellas. Los métodos de inserción en cambio, parten con rutas inicialmente vacías (o que contienen un único nodo) e iterativamente evalúan la mejor forma de insertar un nodo en alguna ruta, y se quedan con el par (nodo, ruta) que representa la mejor inserción. Dentro de estas heurísticas se tiene el trabajo de Solomon (1987).

### 3.3.3. Metaheurísticas

Para obtener mejores soluciones que las heurísticas es necesario recurrir a técnicas que realicen una mejor exploración del espacio de soluciones. Las metaheurísticas son procedimientos genéricos de exploración del espacio de soluciones para problemas de optimización y búsqueda. Proporcionan una línea de diseño que, adaptada en cada contexto, permite generar métodos de solución. En general, las metaheurísticas obtienen mejores resultados que las heurísticas clásicas, pero incurriendo en mayores tiempos de ejecución (que de todos modos, son inferiores a los de los métodos exactos). Los métodos metaheurísticos más usados son los algoritmos de hormigas, los algoritmos de búsqueda tabú y los algoritmos genéticos. Dentro de los métodos metaheurísticos están Recocido Simulado, Recocido Determinístico, Búsqueda Tabú, Algoritmos Genéticos, etc. (Toth y Vigo, 2002)

Algoritmos utilizados para resolver el VRP Existen tres familias: métodos exactos, heurísticos y metaheurísticos

Métodos exactos Solo deberíamos utilizarlos en problemas con pocos puntos. Al ser programación entera mixta se utiliza el método Branch and Bound. Podemos encontrar información en los trabajos Laporte (1990). En nuestro estudio no parece que haya problemas, ya que el caso mayor no supera los veinte puntos.

## Capítulo 4

# Formulación del Problema

### 4.1. Contexto

El problema que se aborda corresponde al ruteo de vehículos que realizan las mantenciones correctivas en la red de media y baja tensión. Éste es formulado como uno de programación lineal entera mixta y consiste en el despacho de vehículos desde un depósito central, a clientes distribuidos espacialmente en una red. Las condiciones de operación están dadas por zonas, las cuales son independientes entre sí, pero como poseen los mismos parámetros de entrada y salida, se considera un planteamiento genérico que será resuelto para cada zona. Se toman en cuenta los recursos y requerimientos propios con el fin de optimizar la operación de cada una por separado.

Como se aprecia a priori, el problema se asemeja a lo que sería un VRPTW pero requiere modificaciones para considerar el estado del sistema y la posibilidad de desvíos en las rutas en ejecución. Un desvío (*diversion - en inglés*), consiste en permitir que los vehículos sean desviados de su destino actual para servir una orden que, en términos de costos para el sistema, es más conveniente, siempre y cuando no haya violación de restricciones (Desaulniers, 2000). Para la introducción de los desvíos en el modelo, la presente investigación consideró el concepto de “Nodo Crítico”, presente en Chen et al. (2006) y (Ichoua et al., 2000), concepto explicado en la sección 3.1.2.1 como: nodo de la red vial en el que se encuentra el vehículo al momento de requerirse una actualización de rutas, o al que se está dirigiendo. A partir de esto los nodos de órdenes se dividieron en

dos conjuntos: órdenes no atendidas en el momento de actualización de las rutas y nodos críticos en la red.

La flota considerada es fija y no posee restricción de capacidad ya que entrega un servicio de reparación y no un producto, tal como se explicó en la sección 3.1.2.1. El tiempo de viaje y el de atención de los clientes se consideran fijos y no considera ningún tipo de variación o aleatoriedad. Además, cada vehículo tiene la posibilidad de operar a lo más una ruta a lo largo del período de planificación, el cual comprende la franja horaria correspondiente al turno que se encuentre en planificación. Éste puede ser: desde las 7:30 hrs a las 15:30 hrs, desde las 15:30 hrs a las 23:30 o desde las 23:30 hrs hasta las 7:30 hrs, correspondiente a los turnos de mañana, tarde y noche respectivamente. Los horarios de las bodegas mencionados corresponden a ventanas de tiempo duras, mientras que para los clientes se permite el llegar una vez terminada su ventana de tiempo, agregando una penalización en la función objetivo. Cabe destacar que en esta formulación, la ventana de inicio de los clientes se considera dura, y para ello se permiten los tiempos de espera en el nodo actual del móvil con el fin de atender una orden cercana que pueda aparecer, tal como se hace en [Ichoua et al. \(2003\)](#).

Debido a la importancia que tiene el nivel de servicio de los clientes y el riesgo de exponerse a multas por no cumplimiento de las normativas legales, se consideran prioridades  $P_i$ , de manera de penalizar el atraso en la atención de una orden dependiendo de la urgencia o importancia que tenga esa orden en el sistema. Dicho esto, la función objetivo del problema considera dos componentes: minimizar los tiempos de traslados totales y minimizar los atrasos totales del sistema considerando las prioridades de las órdenes.

En resumen, una solución factible al problema consiste en un conjunto de rutas, cada una de las cuales satisfaga las siguientes condiciones:

- Los vehículos comienzan y terminan el turno en el depósito y pueden abandonar la bodega a lo sumo una sola vez.
- En caso de encontrarse en ruta, los vehículos deben comenzar el tour desde su posición actual y terminar en el depósito.
- Cada vehículo puede ser asignado a una única ruta, es decir, los vehículos, a lo largo

del día, no pueden realizar dos o más rutas disjuntas temporalmente.

- Cada cliente, es visitado exactamente una vez.
- Las restricciones de ventanas de tiempo de los clientes son suaves, es decir, se pueden violar a un costo de penalización mientras que la llegada al depósito debe realizarse antes del cierre de su ventana de tiempo.
- Al ser un servicio de atención de fallas los vehículos no contienen capacidad.
- Deben atender todas las fallas, es decir no existe la posibilidad de rechazar órdenes, por lo que no puede existir infactibilidad.

## 4.2. Formulación del Modelo

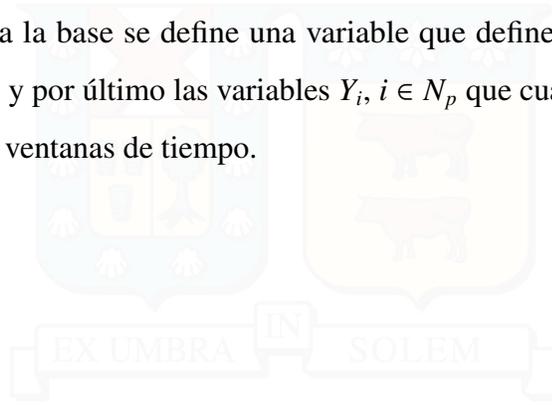
El VRPTW que aquí se desarrolla, es definido sobre un grafo  $G = (N, A)$ , donde  $N$  corresponde al conjunto de nodos de clientes distribuidos espacialmente ( $N = N_p \cup N_c \cup 0$ ). Donde el conjunto  $N_p$  corresponde a los clientes pendientes de atención,  $N_c$  son los nodos críticos, es decir los clientes que se encuentran siendo servidos o al que se está dirigiendo un vehículo al momento de actualizar el problema, y el nodo 0 representa el depósito central desde donde salen y regresan los vehículos. El conjunto  $A$ , contiene todos los arcos  $(i, j)$  para los cuales existe factibilidad de desplazamiento, cada arco tiene asociado un tiempo de viaje  $D_{ij}$  y un tiempo total de traslado  $T_{ijk}$  que incluye el tiempo de servicio en el nodo  $i$ .

La flota de vehículos que se considera es homogénea y se representa por el conjunto  $K$ . Además,  $U$  representa el par  $(i, k)$  tal que el vehículo  $k$  se encuentra en el nodo crítico  $i$ .

A cada nodo cliente en el sistema se le asocian parámetros como: Una ventana de tiempo  $[A_i, B_i]$  que representa la hora más temprana y la hora más tardía en que se puede iniciar el servicio del cliente  $i$ , respectivamente. Una prioridad de atención en el sistema  $P_i$ , la cual depende del tipo de orden y la causa con que ingresó el reclamo. Y el tiempo de servicio en cada nodo que es considerado fijo y está contenido dentro de los tiempos de traslado.

Una ventana de tiempo dura es asociada al nodo 0, para cada vehículo, denotada por  $[A_{0k}, B_{0k}]$ , siendo  $A_{0k}$  el inicio del turno de trabajo para el vehículo  $k$  y  $B_{0k}$  el final.

A continuación se presenta una formulación de programación matemática para el VRPTW, el cual involucra tres tipo de variables: variable de flujo  $X_{ijk}$ ,  $(i, j) \in A, k \in K$ , igual a 1, si el arco  $(i, j)$  es utilizado por el vehículo  $k$ , y 0 en otro caso; variables de tiempo  $S_{ik}$ ,  $i \in N, k \in K$ , que especifica la hora de inicio del servicio en el nodo  $i$  cuando es servido por el vehículo  $k$ . Para la base se define una variable que define la hora de regreso del vehículo  $k$ ,  $R_{0k}$ ,  $k \in K$ . y por último las variables  $Y_i$ ,  $i \in N_p$  que cuantifican los atrasos por incumplimiento de las ventanas de tiempo.



$$\text{mín} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} T_{ijk} * X_{ijk} + \sum_{i \in N_p} Y_i * P_i \quad (4.1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{k \in K} \sum_{j \in N_p \cup 0} X_{ijk} = 1; \quad \forall i \in N_p \quad (4.2)$$

$$\sum_{j \in N_p} X_{0jk} \leq 1; \quad \forall k \in K \quad (4.3)$$

$$\sum_{i \in N_p \cup N_c} X_{i0k} \leq 1; \quad \forall k \in K \quad (4.4)$$

$$\sum_{j \in N_p \cup 0} X_{ijk} = 1; \quad \forall (i,k) \in U \quad (4.5)$$

$$\sum_{j \in N_p \cup 0} X_{hjk} - \sum_{i \in N_p \cup N_c \cup 0} x_{ihk} = 0; \quad \forall k \in K; h \in N_p \quad (4.6)$$

$$S_{ik} + T_{ijk} - (1 - X_{ijk}) * M \leq S_{jk}; \quad \forall i \in N_p \cup N_c \cup 0; j \in N_p; k \in K \quad (4.7)$$

$$S_{ik} + T_{i0k} - (1 - X_{i0k}) * M \leq R_{0k}; \quad \forall k \in K; i \in N_p \cup N_c \quad (4.8)$$

$$A_i * \sum_{j \in N_p \cup 0} x_{ijk} \leq S_{ik} \leq M * \sum_{j \in N_p \cup 0} x_{ijk}; \quad \forall k \in K; i \in N_p \cup N_c \quad (4.9)$$

$$S_{0k} \geq A_{0k} * \sum_{j \in N_p} X_{0jk}; \quad \forall k \in K \quad (4.10)$$

$$R_{0k} \leq B_{0k} * \sum_{i \in N_p \cup N_c} X_{i0k}; \quad \forall k \in K \quad (4.11)$$

$$Y_i \geq S_{ik} - B_i; \quad \forall i \in N_p \quad (4.12)$$

$$Y_i \geq 0; \quad \forall i \in N_p \quad (4.13)$$

$$S_{ik} \geq 0; \quad \forall k \in K; i \in N \quad (4.14)$$

$$X_{ijk} \in 0, 1; \quad \forall k \in K; (i,j) \in A \quad (4.15)$$

$$R_{0k} \geq 0; \quad \forall k \in K \quad (4.16)$$

La función objetivo (4.1) es una función multiobjetivo minimizando los tiempos totales de transporte y las penalizaciones en caso de incumplimiento en las ventanas de tiempo de los clientes.

La restricción (4.2) asegura que todos los clientes pendientes son servidos exactamente

una vez y por un móvil. Las restricciones (4.3) y (4.4) aseguran que cada vehículo comienza y termina el turno en el depósito. En caso que un vehículo se encuentre en ruta al momento de actualizar el sistema, la restricción (4.5) se encarga que todos los vehículos comiencen el tour desde su respectivo nodo crítico. La restricción de divergencia es representada en (4.6) y asegura que si un vehículo entra a un nodo debe salir de él. La restricción (4.7) asegura factibilidad de tiempos para los tiempos de llegadas de los clientes, es decir que el comienzo de la atención al cliente  $j$  debe ser igual al tiempo de partida del cliente anterior  $i$  más el tiempo de viaje que demora el vehículo en recorrer el arco  $(i, j)$  y su tiempo de servicio  $(T_{ijk})$ . Así también en (4.8) se considera la factibilidad de tiempos para el nodo bodega. Para asegurar el cumplimiento de las ventanas de tiempo, se define el parámetro  $M = \max\{B_i + T_{ij}\}$  en ambas restricciones.

El cumplimiento de la ventana de inicio para las ordenes de clientes es representada en (4.9). Las restricciones (4.10) y (4.11) corresponden a la satisfacción de las ventanas de tiempo de la bodega, que en este caso son duras y corresponden a los tiempos de inicio y término de turno. En (4.12) y (4.13) se define la penalización por atrasos como el mínimo entre los minutos de diferencia entre la hora de llegada y el final de la ventana de tiempo del cliente y cero, estas restricciones permiten linealizar la función objetivo. Finalmente, la naturaleza de las variables se representa en (4.14), (4.15) y (4.16).

## Capítulo 5

# Estudio Computacional

En esta sección se evalúa el modelo propuesto en la sección XX. Para esto se realizan 2 tipos de pruebas. En la primera se evalúa los tiempos CPU en función de la cantidad de nodos de la red. La segunda prueba tiene como objetivo medir el beneficio que obtendría la empresa con la implementación del modelo de ruteo propuesto en este trabajo, para ello se realiza la comparación de los tiempos de retraso registrados por la empresa en instancias reales con los obtenidos por el modelo.

El modelo fue programado en AMPL y resuelto por solver CPLEX. Los experimentos fueron desarrollados en un Notebook Intel Core i5 en 2,60 GHz con 4 GB de RAM funcionando bajo Windows 8.1.

Las instancias evaluadas fueron obtenidas del sistema Power On. De ésta se utilizaron 33 instancias correspondientes a la operación 2014. Cada instancia representa un turno de operación realizado por el Centro de Comando de Chilquinta. Cada instancia obtenida del sistema Power On registra la ruta ejecutada por cada vehículo, la hora de llegada a cada nodo y los minutos de atraso en cada orden.

Para medir el desempeño del modelo en términos de tiempos CPU se utiliza una instancia de 30 nodos y 5 vehículos (caso real obtenido del sistema Power On). Se comenzó con un problema de 3 nodos y un vehículos y luego se agregaron nodos y vehículos hasta que los tiempos computacionales superan el tiempo fijado de 90 minutos.

Para medir el beneficio al utilizar el modelo propuesto en el cap 4.2, se utilizan 32 instancias en las que no se hayan superado las 12 órdenes en un turno de operación. Este

tipo de instancia se encuentra por sobre el promedio de lo que atiende Chilquinta en un turno de operación.

## 5.1. Descripción de instancias

El el anexo B se muestran las 33 instancias utilizadas para el cálculo de los resultados, para cada instancia se consideran todas las órdenes asignadas dentro del un turno de 8 horas, incluyendo las órdenes en la cola esperando a ser atendidas e incluso aquellas que se encuentran vencidas y fueron asignadas con un retraso considerable. Para cada instancia se extraen los parámetros necesarios para la resolución del problema, como: ubicación, prioridad, número de móviles, ventanas de tiempo y tiempos de servicio.

Se seleccionan turnos en diversos horarios y fechas distribuidas en todo el año, con el fin de no tener sesgo de estacionalidad. Para seleccionar las instancias se consideran 3 zonas: San Antonio, Valparaíso y Los Andes. Se define de esta manera ya que las demás zonas se encuentran costantemente cambiando su forma de operación. La empresa dispone de un depot para cada zona y las coordenadas correspondientes se encuentran especificadas en la tabla A.2 de anexos.

Las inatancias se dividen el tres tipos:

- 3 instancias donde se cumplió con la atención de todos los clientes dentro de sus ventanas de tiempo.
- 12 instancias donde los tiempos de atraso totales no superan 1 [h].
- 17 instancias que presentan atrasos totales entre 1 [h] y 14 [h]

Los parámetros para cada instancia se detallan a continuación:

- Ubicación  $(X_i, Y_i)$ : Correspondiete a la georeferenciación del punto de falla para cada orden  $i$ -ésima. Este puede ser domicilio de un cliente o la ubicación del transformador afectado, dependiendo si la falla es domiciliaria o de red. Las coordenadas utilizadas se encuentran en sistema UTM con Datum WGS84 zona 19 Sur.

- **Prioridad ( $P_i$ ):** En la actualidad la empresa evalúa la prioridad de la orden de manera subjetiva. Debido a que actualmente no se dispone de esa información se establecen dos valores de prioridad para poder realizar los experimentos, la prioridad 1 corresponde a fallas y la prioridad 2 a órdenes de operación. De todas maneras una propuesta interesante para la empresa sería estandarizar la forma de priorizar las órdenes, considerando la historia y aquellas causas más frecuentes cuantificando el nivel de riesgo.
- **Número de vehículos ( $K$ ):** el número de vehículos depende de la zona y el turno, en la tabla [A.1](#) se especifica el número de móviles disponibles por zona y dependiendo del horario, cabe destacar que el modelo no necesariamente hará uso de todos los vehículos pero se establece como número máximo.
- **Tiempos de servicio ( $S_i$ ):** Se utilizan como tiempos de servicios los registrados por la empresa para cada orden.
- **Ventanas de Tiempo [ $E_i, L_i$ ]:** Para cada orden correspondiente a una falla se considera como ventana de inicio la hora a la que el cliente efectuó el llamado al Contact Center de la empresa, para la ventana de término se suma la holgura correspondiente si la comuna en la que se produjo la falla es rural o urbana. Para más detalles sobre los tiempos permitidos ver la sección [1.3](#).

Para las órdenes de operación la ventana de inicio corresponde a la hora en la que se encuentra programado el trabajo y se entrega una holgura de 20 minutos, tomando éste como un retraso aceptable en la demora de los trabajos de la empresa.

En lo que respecta al Depot, se considera como ventanas de tiempos la hora de inicio y fin del turno. Además se incluye un móvil que atienda fuera del turno los requerimientos que no es factible incluir dentro de las rutas programadas. Esto se realiza ya que la restricción [4.2](#) obliga al modelo a atender a todos los clientes y si consideramos que este modelo está pensado para funcionar 24/7 no puede existir infactibilidad.

- **Distancias (parámetro  $D_{ij}$ ):** Para armar la red de nodos y arcos, después de ingresar

las coordenadas de cada nodo y el depot correspondiente se realiza el cálculo de las distancias de manera que permitan una simulación aproximada de los tiempos de viaje en minutos. Para el cálculo se utiliza la distancia euclidiana, de la siguiente manera (Ballou, 2004):

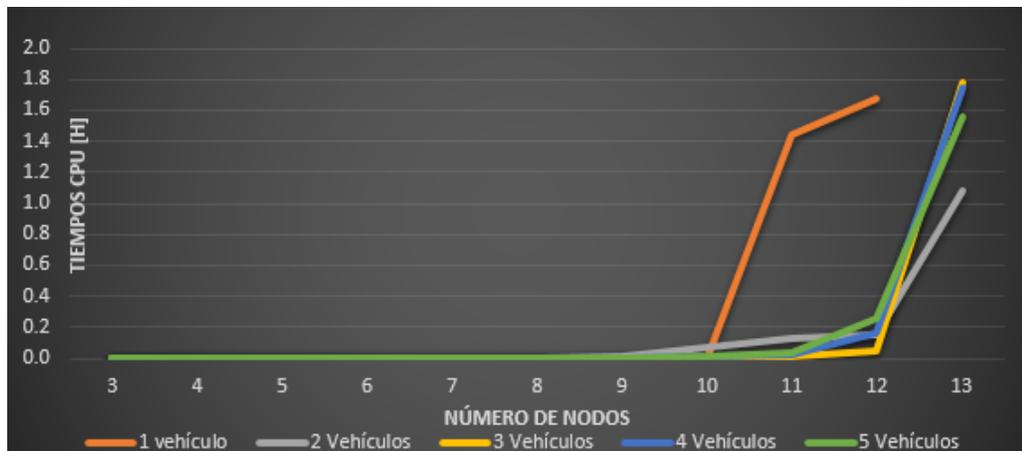
$$D_{ij} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2} \forall (i, j) \in A \quad (5.1)$$

Debido a que en la realidad existen calles y rutas que seguir, las distancias no se comportan de forma recta, para ellos se aplica un factor de ajuste de 1,41 para calles de ciudad, información obtenida de Ballou (2004).

Por último se define una velocidad constante promedio de 40 [km/h] para cada móvil.

## 5.2. Resultados

La primera prueba que se realizó consiste en medir los tiempos CPU para distintos números de vehículos, variando la cantidad de órdenes a atender. Los resultados se encuentran detallados en el anexo C. En la figura 5.1 se indican los tiempos CPU versus el número de nodos para diferentes cantidades de vehículos.



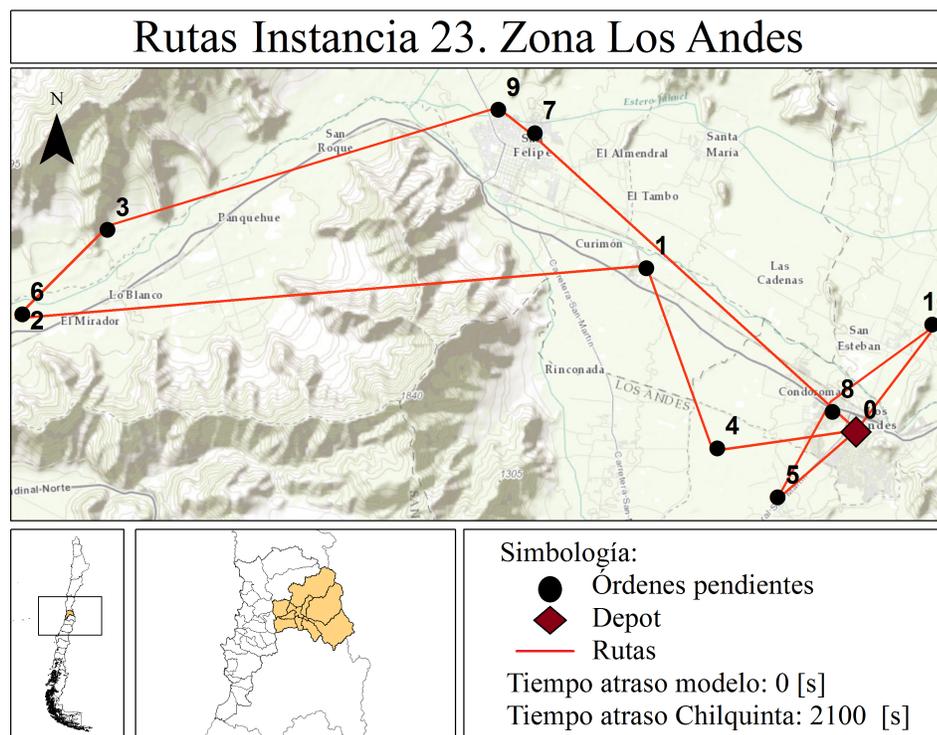
**Figura 5.1:** Pruebas Tiempo CPU v/s Número de Nodos

En la figura 5.1 se observa que el número óptimo de órdenes que podrían resolverse mediante un método exacto en un tiempo menor a 60 segundos, siendo éste de 10 nodos

cuando se dispone de un solo móvil y 12 nodos para 2 a 5 vehículos disponibles. Se observa que superado ese número de órdenes los tiempos aumentan de forma exponencial, requiriendo de al menos una hora para entregar la solución.

Por eficiencia en tiempos computacionales este método no es óptimo para instancias más grandes. Por lo tanto para instancias de mayor tamaño se requiere entonces implementar una heurística apropiada. Cabe destacar que una heurística será ser mejor en tiempos de respuesta pero se deberá sacrificar la optimabilidad de la solución.

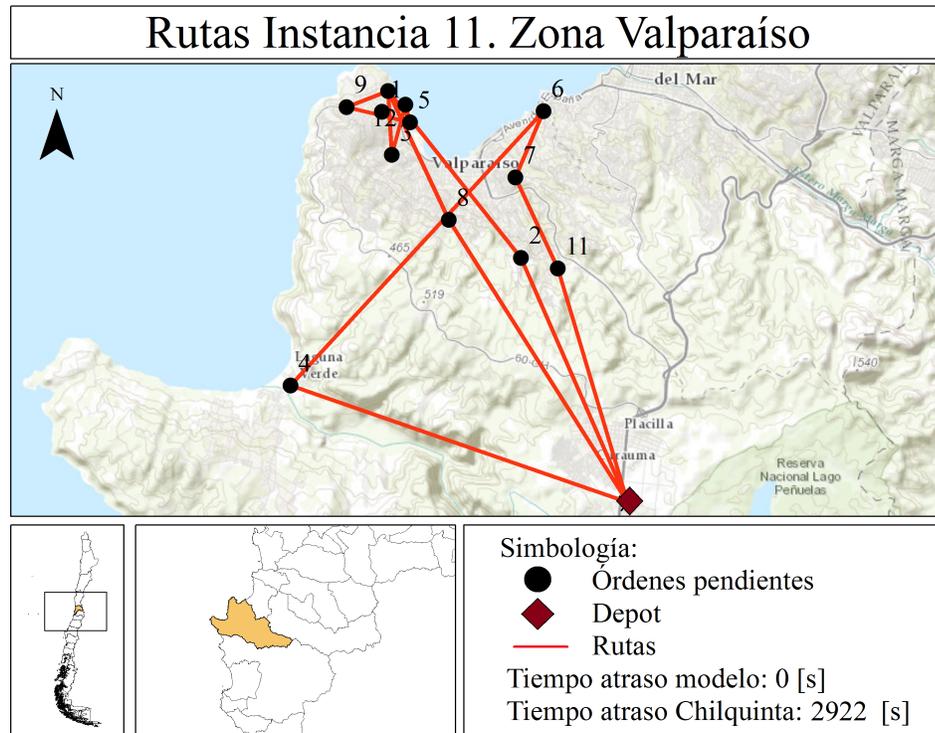
A continuación, se muestran los resultados correspondientes al beneficio de la implementación del modelo versus el método actual que utiliza la empresa (asignación subjetiva). El detalle de los tiempos obtenidos y las rutas ejecutadas por cada móvil se encuentra en la sección E. A modo de ejemplo, se muestra la solución de 3 instancias de manera gráfica, representando en cada imagen el resultado de las rutas propuestas por el modelo para cada una de las zonas analizadas.



**Figura 5.2:** Instancia 23, zona Los Andes Chilquinta

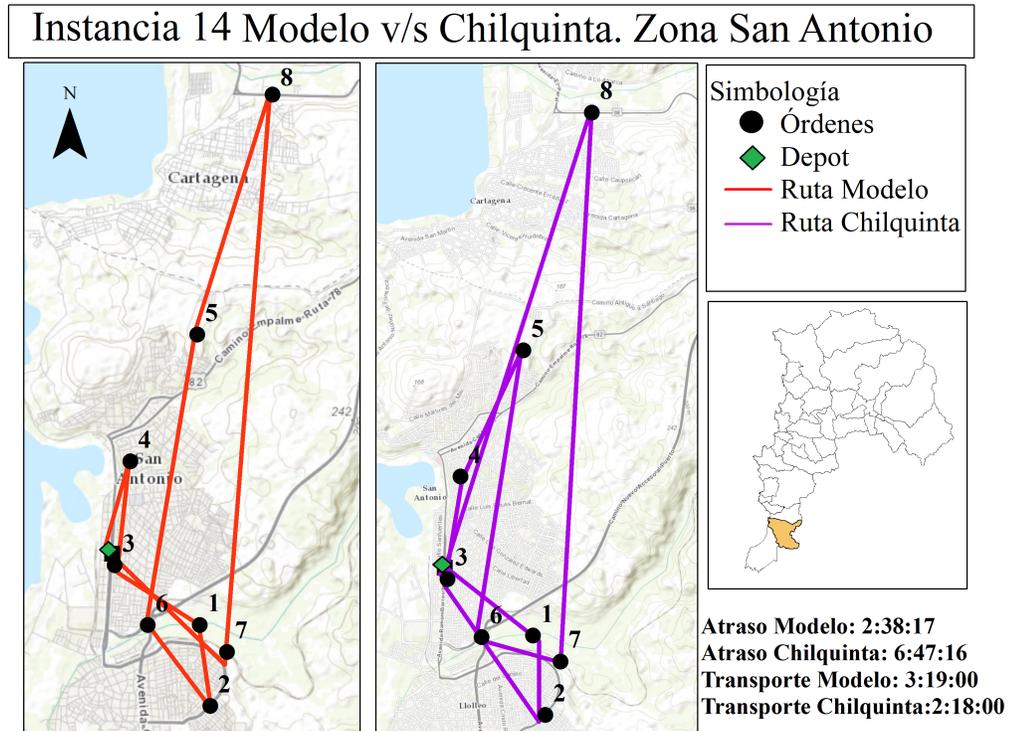
En esta instancia 23 en la figura 5.2, se observa que el tiempo total de atraso disminuye

en 35 minutos y se utilizan sólo 2 móviles para cumplir con los requerimientos del turno, dejando un móvil disponible en la base.



**Figura 5.3:** Instancia 11, zona Valparaíso Chilquinta

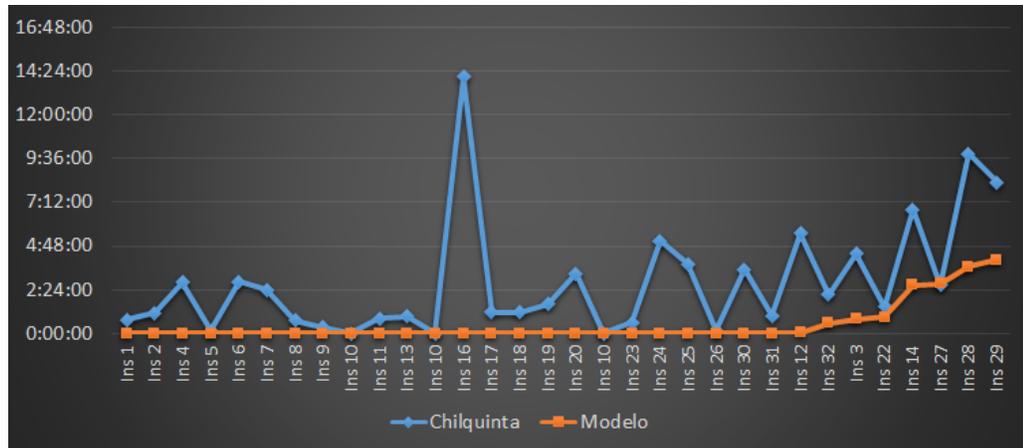
Debido a que sólo se disponen las rutas realizadas por Chilquinta para la zona de San Antonio se procede a comparar el resultado obtenido en la instancia 14 de acuerdo a lo que realizó la empresa y los que propone el modelo.



**Figura 5.4:** Instancia 14, zona San Antonio Chilquinta

En cuanto a los tiempos de atrasos es preciso mencionar que el 100 % de los casos presenta mejoras en los tiempos de incumplimiento de las ventanas de tiempo. Se debe considerar que el beneficio puede variar debido a que para la obtención de resultados se consideró el tour comenzando y terminando en la base, siendo que al aplicarlo el modelo está pensado para actualizar la solución cada vez que ingresa una orden, tomando en cuenta el nodo crítico como punto inicial del tour y variando un poco las distancias.

El beneficio al implementar el modelo propuesto en esta tesis en comparación con las instancias entregadas por la empresa se presenta a continuación:



**Figura 5.5:** Tiempos de atraso Modelo versus Chilquinta

Se observa en la figura 5.5 que al comparar el modelo propuesto con el sistema actual de la empresa se observa que el 75 % de las instancias el modelo encuentra una solución que minimiza a cero los minutos de incumplimiento de las ventanas de tiempo. Se aumenta de 3 a 24 el número de instancias que cumplen con las ventanas de tiempo. Cabe mencionar que de las 8 instancias que el modelo propone soluciones con atrasos, 7 presentaban al menos una orden que venían del turno anterior con poco tiempo restante para ser ejecutada o venía absolutamente vencida, esto se traduce en que el 96 % de los turnos que no presentaron órdenes vencidas obtubieron 0 minutos de atraso con la dotación de móviles disponible actualmente en la empresa o menos vehículos.

**Tabla 5.1:** Atrasos Chilquinta versus Modelo

	Total órdenes	Órdenes con atraso	Tiempo total de atraso	Tiempo total en traslado
Chilquinta	277	69	89:26:48	108:13:00
Modelo	277	16	15:22:32	48:42:00

El tiempo de atraso de la muestra disminuye en un 83 %. Del total de órdenes analizadas la empresa presentaba un 75 % de cumplimiento en el tiempos de concurrencia, y luego de correr el modelo se obtiene un 19 % de aumento. El cumplimiento de los tiempos exigidos por la Superintendencia de Electricidad y Combustible es por lo tanto del 94 %.

El segundo componente de la función objetivo 4.1 consiste en minimizar los tiempos en ruta de los vehículos, por lo tanto es interesante medir los beneficios que proporciona el

modelo en este aspecto. Para ello se utilizaron 29 instancias, eliminando 3 que presentaban datos anómalos.

En promedio, el modelo disminuye en un 55 % los tiempos de traslado y en un 83 % los tiempos totales de atraso. Nótese que la prioridad actual de la empresa es entregar un servicio de calidad y alto nivel de satisfacción de los clientes. Además, al disminuir los tiempos de traslado, permite sumentar la eficiencia en los recursos de la empresa.

La tabla 5.2 indica la utilización de los móviles para las instancias testeadas.

**Tabla 5.2:** Add caption

	Valparaíso	San Antonio	Los Andes	
Instancias	13	9	10	
Móviles disponibles	3	1	3	
Móviles promedio utilizados	1.45	1	1.75	Total
% Utilización	48.3 %	100.0 %	58.3 %	60.0 %

Cabe destacar que en el 50 % de las instancias el modelo logró cumplir con los requerimientos con menos vehículos de los disponibles. De acuerdo a los resultados obtenidos la utilización promedio es de un 60 %, es decir, se tiene un 40 % de los móviles demás debido a la ineficiencia del sistema actual de asignación.

# Capítulo 6

## Conclusiones

Chilquinta en la actualidad se encuentra enfocada en mejorar las relaciones con sus clientes. Una de las claves para ser una empresa orientada al cliente es entregar un servicio post venta de calidad, donde el área de Servicio Técnico es quien tiene esta labor. Para lo anterior, es necesario adoptar como estrategia la excelencia operacional. El primer paso para acercarse a este modelo es detectar y conocer las debilidades del proceso para, posteriormente, realizar las mejoras correspondientes.

Al estudiar el actual proceso de asignación y planificación de rutas desarrollado por el Centro de Comando de Chilquinta, se propone una mejora que tenga como objetivo crear y evaluar un sistema de despacho estandarizado para todos los operadores. Este sistema debe ser capaz de evaluar todos los escenarios posibles y determinar la mejor solución considerando la satisfacción de los clientes y el cumplimiento de las normas impuestas por la SEC.

El modelo formulado se prueba en 33 instancias distintas, cada una correspondiente a un turno de operación real ejecutado por la empresa. Como se resume en la sección 5.2, se demuestra que la solución propuesta logra entregar una solución factible al problema que es mejor a la realizada actualmente por Chilquinta, tanto en términos de tiempos de traslado como en cumplimiento en las ventanas de tiempo. El modelo desarrollado es capaz de mejorar significativamente el tiempo de respuesta a las fallas en condiciones normales (lo que representa aproximadamente el 95 % del tiempo de operación). El indicador tiempo de concurrencia presenta una mejora de un 19 %, aumentando de 75 % a un 94 % de

cumplimiento para las instancias analizadas. Los tiempos de atraso totales disminuyen en un 83 %, así mismo el realizar una mejor gestión permite mejorar los tiempos invertidos en traslados, viéndose disminuidos en un 55 %.

En la sección 2.1 se observa que existe una serie de ineficiencias en los criterios de asignación utilizados por los operadores. Ésto se vería mejorado con la implementación del sistema propuesto ya que el modelo desarrollado considera todos los factores relevantes al momento de rutear, ya sea las holguras permitidas para comunas rurales o urbanas, y los tiempos de servicios restantes, factores que los operadores no están considerando actualmente. Además, evita sesgos en la asignación, como es el hecho de considerar las aptitudes y capacidades del técnico de turno, ya que el modelo considera una flota homogénea en donde todos los móviles poseen el mismo equipamiento y todos los técnicos poseen las mismas capacidades.

De acuerdo a lo demostrado en la sección 5.2, gestionar de mejor manera los recursos actuales provoca un aumento significativo de los tiempos disponibles y reduce la utilización de la flota. De esta manera, si se considera que a partir del año 2015 el Servicio Técnico realiza labores de mantenimiento no programadas, la implementación del sistema propuesto permite aumentar la productividad del área al realizar una mayor cantidad de actividades por turno.

Además, ésto trae beneficios para el operador y el técnico, ya que permite una planificación de manera simple, rápida y oportuna. Adicionalmente, otro beneficio está relacionado con el aumento del nivel de servicio observado en los tiempos de respuesta y el flujo de información, provocando un aumento en la confiabilidad del servicio al cliente interno y externo.

Por lo tanto, a la luz de los resultados observados en la sección 5.2, se recomienda a la empresa la implementación de una herramienta de planificación de rutas que considere las características representadas en la formulación matemática elaborada en este trabajo. Paralelamente, considerando que en la actualidad la empresa cuenta con un Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS) y un Sistema de Información Geográfico (SIG), se observa que existe un nivel de avance para la implementación de esta herramienta, por lo que el esfuerzo que se debe realizar se basa en el desarrollo de la herramienta y la

integración de tecnologías necesarias para el correcto funcionamiento. Sin embargo, se debe considerar que la implementación conlleva una inversión monetaria para la empresa y un proceso de adaptación por parte del área, el cual considera la capacitación de los operarios y técnicos involucrados.

Otra recomendación corresponde a la estandarización del proceso de priorización de las órdenes al momento de ingresar al sistema, ya que la manera actual demostró no ser representativa al no generar un aporte para el operador al momento de discriminar la urgencia de las órdenes. De esta manera, el nuevo sistema de priorización debiese considerar diversos factores tales como una categorización fidedigna al momento de ingresar la causa y el número de clientes afectados como factor de urgencia para atender una orden.

Paralelamente, de acuerdo a lo desarrollado en la sección 2.1, se recomienda mejorar la calidad de la información de entrada, ya que actualmente existe una problemática que afecta directamente a la toma de decisiones, junto con generar pérdidas de tiempos para los operadores e ineficiencias en el proceso.

Como se mencionó en la sección 5.2, el modelo desarrollado permite resolver instancias de hasta 12 órdenes, las cuales son resueltas en tiempos menores a 60 segundos, no obstante, en caso de considerar un número mayor de órdenes, se hace necesario el uso de un método heurístico para resolver el problema, ya que permite resolver instancias mayores proporcionando soluciones de buena calidad a un menor tiempo computacional.

## Bibliografía

- Archetti, Claudia; Speranza, Maria Grazia; y Hertz, Alain (2006). A tabu search algorithm for the split delivery vehicle routing problem. *Transportation Science*, 40(1), 64–73.
- Backer, Bruno De; Furnon, Vincent; Kilby, P.; Prosser, P.; y Shaw, P. (1997). Solving vehicle routing problems using constraint programming and metaheuristics. *Journal of Heuristics*, 6, 501–523.
- Ballou, R.H. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro*. Pearson educación. Pearson Educación.
- Bianchessi, Nicola y Righini, Giovanni (2007). Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery. *Computers & Operations Research*, 34(2), 578–594.
- Bramel, Julien y Simchi-Levi, David (1996). Probabilistic analyses and practical algorithms for the vehicle routing problem with time windows. *Operations Research*, 44(3), 501–509.
- Bräysy, Olli y Gendreau, Michel (2005). Vehicle routing problem with time windows, part ii: Metaheuristics. *Transportation science*, 39(1), 119–139.
- Chen, Huey-Kuo; Hsueh, Che-Fu; y Chang, Mei-Shiang (2006). The real-time time-dependent vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(5), 383–408.
- Chen, Si; Golden, Bruce; y Wasil, Edward (2007). The split delivery vehicle routing problem: Applications, algorithms, test problems, and computational results. *Networks*, 49(4), 318–329.
- Cordeau, Jean-François; Gendreau, Michel; y Laporte, Gilbert (1997). A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. *Networks*, 30(2), 105–119.
- Dantzig, G. B. y Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80–91.
- Desaulniers (2000). *The VRP with pickup and delivery*. Montréal: Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions.

- Desrochers, Martin y Verhoog, TW (1989). A matching based savings algorithm for the vehicle routing problem. *Cahiers du GERAD*.
- Dror, Moshe y Trudeau, Pierre (1989). Savings by split delivery routing. *Transportation Science*, (pp. 141–145).
- Fischetti, Matteo; González, Juan José Salazar; y Toth, Paolo (1995). Experiments with a multi-commodity formulation for the symmetric capacitated vehicle routing problem. In *in Proceedings of the 3rd Meeting of the EURO Working Group on Transportation*, 169–173: Citeseer.
- Fischetti, Matteo; Toth, Paolo; y Vigo, Daniele (1994). A branch-and-bound algorithm for the capacitated vehicle routing problem on directed graphs. *Operations Research*, 42(5), 846–859.
- Flood, Merrill M (1956). The traveling-salesman problem. *Operations Research*, 4(1), 61–75.
- Golden, Bruce L y Assad, Arjang (1988). Vehicle routing: methods and studies. *STUDIES IN MANAGEMENT SCIENCE AND SYSTEMS*;, 16.
- Golden, Bruce L y Assad, Arjang A (1986). Vehicle routing with time-window constraints. *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 6(3-4), 251–260.
- Haghani, Ali y Jung, Soojung (2005). A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times. *Computers & operations research*, 32(11), 2959–2986.
- Hammer, Michael (2002). The future of six sigma. *MIT Sloan management review*.
- Ichoua, Soumia; Gendreau, Michel; y Potvin, Jean-Yves (2000). Diversion issues in real-time vehicle dispatching. *Transportation Science*, 34(4), 426–438.
- Ichoua, Soumia; Gendreau, Michel; y Potvin, Jean-Yves (2003). Vehicle dispatching with time-dependent travel times. *European journal of operational research*, 144(2), 379–396.
- Ichoua, Soumia; Gendreau, Michel; y Potvin, Jean-Yves (2006). Exploiting knowledge about future demands for real-time vehicle dispatching. *Transportation Science*, 40(2), 211–225.
- Ioannou, George; Kritikos, Manolis; Prastacos, G; et al. (2001). A greedy look-ahead heuristic for the vehicle routing problem with time windows. *Journal of the Operational Research Society*, 52(5), 523–537.
- Laporte, Gilbert (1990). Capacitated VRP. (pp. 109–128).
- Laporte, Gilbert; Mercure, Hélène; y Nobert, Yves (1986). An exact algorithm for the asymmetrical capacitated vehicle routing problem. *Networks*, 16(1), 33–46.
- Min, Hokey (1989). The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points. *Transportation Research Part A: General*, 23(5), 377–386.

- Montané, Fermín Alfredo Tang y Galvao, Roberto Diéguez (2006). A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service. *Computers & Operations Research*, 33(3), 595–619.
- Papadimitriou, Christos H y Steiglitz, Kenneth (1998). *Combinatorial optimization: algorithms and complexity*. Courier Corporation.
- Shaw, Paul (1998). Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems. In M. Maher y J.-F. Puget (Eds.), *Principles and Practice of Constraint Programming — CP98*, volume 1520 of *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 417–431). Springer Berlin Heidelberg.
- Solomon, Marius M (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations research*, 35(2), 254–265.
- Toth, Paolo y Vigo, Daniele (2002). Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 123(1-3), 487–512.
- Wark, Peter y Holt, John (1994). A repeated matching heuristic for the vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, (pp. 1156–1167).

## Anexo A

# Información Empresa

**Tabla A.1:** Vehículos disponibles por zona y por turno

Número de vehículos disponibles			
Turno / Zona	Valparaíso	San Antonio	Los Andes
Mañana	3	1	3
Tarde	3	1	3
Noche	1	1	1

**Tabla A.2:** Coordenadas Depot por zona

Zona	Coordenada X	Coordenada Y
Valparaíso	261177.18	6331230.37
San Antonio	257512.1373	6279582
Los Andes	350309.0272	6365888.46

**Tabla A.3:** Ventanas de Tiempo según turno

Turno	Ventana Inicio	Ventana Término
Mañana	7:30:00	15:30:00
Tarde	15:30:00	23:30:00
Noche	23:30:00	7:30:00

## Anexo B

# Instancia para tiempos computacionales

**Tabla B.1:** Prueba para tiempos CPU, turno 21 de mayo contingencia

Orden	Ei	Li	Si	X	Y	Atraso empresa	Tipo orden
1	10:33:34	12:33:34	0:50:55	253,973.95	6,340,638.60	2:17:26	falla
2	13:17:29	15:17:29	0:00:45	259,770.53	6,340,576.09	1:33:31	falla
3	12:41:36	14:41:36	0:40:30	252,906.02	6,342,223.74	1:33:24	falla
4	10:32:48	12:32:48	0:18:21	252,431.17	6,342,474.03	4:07:12	falla
5	16:04:17	18:04:17	0:07:27	259,746.82	6,340,455.56	0:00:00	falla
6	11:23:30	13:23:30	0:00:56	252,762.49	6,342,571.16	3:47:30	falla
7	6:38:51	8:38:51	0:43:57	256,326.85	6,340,240.30	7:55:09	falla
8	12:16:22	14:16:22	0:32:57	255,222.55	6,341,289.15	2:34:38	falla
9	15:05:52	17:05:52	0:00:09	252,211.99	6,342,253.87	0:20:08	falla
10	12:47:21	14:47:21	0:13:13	252,845.80	6,342,520.47	2:32:39	falla
11	11:00:24	13:00:24	1:12:23	254,957.38	6,337,127.72	3:33:36	falla
12	10:41:35	12:41:35	0:35:10	253,609.97	6,342,026.69	4:38:25	falla
13	15:34:57	17:34:57	0:23:56	252,571.40	6,341,985.17	0:00:00	falla
14	13:53:00	15:53:00	0:48:20	259,578.79	6,340,521.37	1:20:00	falla
15	13:23:45	15:23:45	0:26:56	254,692.68	6,340,622.41	2:15:15	falla
16	16:26:48	18:26:48	0:20:48	253,029.67	6,342,508.40	0:00:00	falla
17	11:25:58	13:25:58	1:12:33	257,300.95	6,339,752.00	3:34:02	falla
18	11:05:23	13:05:23	0:54:36	253,622.31	6,340,829.52	4:19:37	falla
19	11:41:15	13:41:15	0:43:45	252,589.17	6,341,092.35	3:58:45	falla
20	13:10:11	15:10:11	0:22:48	253,748.73	6,341,617.15	2:55:49	falla
21	18:04:44	20:04:44	0:22:32	253,056.43	6,341,739.59	0:00:00	falla
22	15:58:50	17:58:50	0:13:22	252,867.43	6,342,789.76	0:21:10	falla
23	13:45:34	15:45:34	0:22:59	257,196.85	6,339,973.10	2:34:26	falla
24	12:24:45	14:24:45	0:28:02	253,728.25	6,339,414.00	4:16:15	falla
25	12:34:51	14:34:51	0:34:58	253,582.39	6,342,311.94	4:05:09	falla
26	15:30:27	17:30:27	0:33:27	253,352.32	6,341,996.19	1:17:33	falla
27	11:24:43	13:24:43	1:02:43	252,305.36	6,340,998.13	5:09:17	falla
28	12:13:15	14:13:15	0:32:15	260,723.29	6,340,231.61	5:04:45	falla
29	15:41:18	17:41:18	0:56:27	256,835.47	6,339,732.63	1:14:42	falla
30	16:39:41	18:39:41	0:35:03	253,706.03	6,342,421.61	0:40:19	falla

## Anexo C

# Resultados tiempos CPU

**Tabla C.1:** Resultados tiempos computacionales en segundos

<b>Nodos</b>	<b>1 Vehículo</b>	<b>2 Vehículo</b>	<b>3 Vehículo</b>	<b>4 Vehículo</b>	<b>5 Vehículo</b>
<b>3</b>	0	0	0	0	0
<b>4</b>	0	0	0	2	0
<b>5</b>	0	0	0	2	0
<b>6</b>	0	0	0	2	0
<b>7</b>	0	0	1	2	0
<b>8</b>	0	4	3	6	5
<b>9</b>	0	31	6	10	14
<b>10</b>	0	263	11	27	63
<b>11</b>	5182	462	26	90	120
<b>12</b>	6042	549	186	609	907
<b>13</b>		3893	6418	6279	5607

## Anexo D

# Instancia para comparación tiempos de espera

**Tabla D.1:** Prueba 1: Tarde Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	254406.88	6342544.53	falla	14:46:47	0.08333333	16:46:47	0:24:54	0:00:00
2	252696.18	6341041.79	falla	15:08:34	0.08333333	17:08:34	0:30:36	0:00:00
3	253110.75	6342761.20	falla	16:44:51	0.08333333	18:44:51	0:11:12	0:00:00
4	251415.04	6333972.18	falla	17:36:19	0.08333333	19:36:19	0:14:04	0:00:00
5	252289.25	6340553.80	falla	18:12:08	0.08333333	20:12:08	0:16:15	0:00:00
6	253936.15	6340034.37	falla	19:31:28	0.08333333	21:31:28	0:33:39	0:00:00
7	249980.70	6333169.79	falla	19:49:15	0.08333333	21:49:15	1:35:32	0:00:00
8	252049.86	6341441.03	falla	19:55:58	0.08333333	21:55:58	0:36:42	0:00:00
9	252927.75	6340431.00	falla	20:05:13	0.08333333	22:05:13	0:07:09	0:43:47
10	253936.15	6340034.37	falla	20:36:47	0.08333333	22:36:47	0:48:24	0:00:00
11	253044.37	6341465.70	falla	21:32:49	0.08333333	23:32:49	0:13:25	0:00:00

**Tabla D.2:** Prueba 2: Mañana Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	252607.50	6340131.63	falla	7:26:39	2:00:00	9:26:39	1:02:47	0:00:00
2	257170.75	6340739.16	falla	11:07:41	2:00:00	13:07:41	0:28:19	0:00:00
3	257447.28	6339007.57	falla	11:50:20	2:00:00	13:50:20	0:10:19	1:06:40
4	259227.61	6332925.77	falla	12:23:35	2:00:00	14:23:35	0:47:57	0:00:00
5	256118.27	6339753.40	falla	13:06:51	2:00:00	15:06:51	0:33:44	0:00:00
6	256754.35	6341156.90	falla	13:17:12	2:00:00	15:17:12	0:45:01	0:00:00

**Tabla D.3:** Prueba 3: Tarde Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	258350.85	6340896.80	falla	13:33:57	2:00:00	15:33:57	0:20:12	0:59:03
2	252272.89	6342376.05	falla	13:36:22	2:00:00	15:36:22	0:00:35	1:45:38
3	257616.84	6341618.12	falla	13:39:03	2:00:00	15:39:03	0:21:40	1:19:57
4	256634.65	6340502.07	falla	13:54:47	2:00:00	15:54:47	0:32:15	0:17:13
5	254865.61	6341132.84	falla	18:33:11	2:00:00	20:33:11	0:34:01	0:00:00
6	256738.85	6339224.60	falla	19:52:48	2:00:00	21:52:48	1:55:35	0:00:00
7	255175.99	6341010.95	falla	20:20:00	2:00:00	22:20:00	0:20:39	0:00:00
8	253077.06	6340324.37	falla	21:11:36	2:00:00	23:11:36	0:03:20	0:00:00
9	256404.85	6338860.40	falla	22:12:51	2:00:00	24:12:51	0:01:02	0:00:00
10	258726.18	6342216.33	operación	22:28:11	00:20:00	22:48:11	0:06:48	0:00:00
11	259195.51	6341149.85	falla	22:39:27	2:00:00	24:39:27	0:13:45	0:00:00

**Tabla D.4:** Prueba 4: Tarde San Antonio

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	261974.12	6285953.49	falla	15:00:42	4:00:00	19:00:42	0:46:52	0:00:00
2	258743.89	6284747.09	falla	15:26:11	4:00:00	19:26:11	0:23:27	0:00:00
3	258932.24	6279654.84	falla	16:55:44	2:00:00	18:55:44	0:31:46	0:00:00
4	257986.52	6274904.05	operación	17:09:39	00:20:00	17:29:39	0:13:11	0:00:00
5	259361.57	6286314.06	falla	17:14:56	4:00:00	21:14:56	0:22:43	0:00:00
6	258244.09	6284634.91	falla	17:51:56	4:00:00	21:51:56	0:25:17	0:00:00
7	257812.34	6278316.41	falla	18:16:37	2:00:00	20:16:37	0:07:54	1:04:23
8	256609.68	6282776.88	falla	18:22:11	2:00:00	20:22:11	0:08:40	1:44:49
9	259256.15	6279781.73	falla	18:40:15	2:00:00	20:40:15	1:10:33	0:00:00
10	259498.37	6285328.27	falla	20:04:32	4:00:00	24:04:32	0:12:40	0:00:00

**Tabla D.5:** Prueba 5: Mañana San Antonio

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	259339.29	6286735.68	falla	6:37:16	4:00:00	10:37:16	0:35:09	0:00:00
2	258205.74	6285353.39	falla	7:10:54	4:00:00	11:10:54	0:24:33	0:00:00
3	257291.73	6278261.00	falla	9:33:49	2:00:00	11:33:49	0:41:15	0:00:00
4	257813.66	6275726.77	falla	10:38:46	4:00:00	14:38:46	0:08:04	0:00:00
5	260228.74	6269443.82	falla	11:06:08	4:00:00	15:06:08	0:16:34	0:00:00
6	257121.71	6277349.70	falla	11:57:01	2:00:00	13:57:01	0:04:20	0:00:00
7	260510.53	6280610.51	falla	12:12:29	2:00:00	14:12:29	0:18:16	0:09:31
8	256916.37	6276039.64	falla	12:20:17	4:00:00	16:20:17	0:23:46	0:00:00

**Tabla D.6:** Prueba 6: Mañana Los Andes

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	348059.23	6378785.82	falla	5:24:07	4:00:00	9:24:07	0:47:23	2:37:53
2	346692.92	6363773.43	falla	8:09:36	4:00:00	12:09:36	0:48:01	0:00:00
3	318369.28	6365039.88	falla	8:59:25	4:00:00	12:59:25	0:02:31	0:00:00
4	338471.75	6378070.60	falla	10:01:29	2:00:00	12:01:29	0:22:17	0:13:31
5	345605.16	6361449.26	falla	10:09:52	4:00:00	14:09:52	0:17:28	0:00:00
6	346692.92	6363773.43	falla	11:14:38	4:00:00	15:14:38	0:18:12	0:00:00
7	326873.93	6371757.39	falla	12:50:53	4:00:00	16:50:53	0:39:34	0:00:00

**Tabla D.7:** Prueba 7: Tarde Los Andes

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	349034.83	6364981.01	falla	13:37:33	4:00:00	17:37:33	1:46:28	0:00:00
2	321201.53	6369026.86	falla	13:51:59	4:00:00	17:51:59	0:28:30	0:00:00
3	349520.98	6366951.64	falla	14:45:22	2:00:00	16:45:22	0:25:55	1:37:38
4	342492.60	6365140.50	falla	14:51:19	4:00:00	18:51:19	1:30:24	0:17:41
5	359781.54	6364205.57	falla	15:00:24	2:00:00	17:00:24	0:23:26	0:28:36
6	317216.13	6364495.30	falla	15:02:43	4:00:00	19:02:43	0:20:42	0:00:00
7	339799.67	6376493.75	falla	16:22:46	2:00:00	18:22:46	0:30:38	0:00:00
8	323199.40	6364202.66	falla	17:33:14	4:00:00	21:33:14	0:36:12	0:00:00
9	342920.51	6365766.78	falla	20:17:26	4:00:00	24:17:26	0:35:31	0:00:00

**Tabla D.8:** Prueba 8: Tarde Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	251427.68	6333768.39	falla	15:44:56	2:00:00	17:44:56	0:52:48	0:00:00
2	258155.47	6339271.19	falla	15:57:08	2:00:00	17:57:08	0:38:55	0:00:00
3	255830.59	6340926.55	operación	16:09:01	00:20:00	16:29:01	0:33:27	0:00:00
4	251197.94	6334439.57	falla	16:31:43	2:00:00	18:31:43	0:01:51	0:00:00
5	257500.57	6340108.31	falla	17:33:43	2:00:00	19:33:43	0:07:25	0:00:00
6	260852.40	6333318.58	falla	17:52:21	2:00:00	19:52:21	0:19:19	0:00:00
7	254563.43	6342198.58	falla	18:39:44	2:00:00	20:39:44	4:03:02	0:00:00
8	253624.75	6339978.10	operación	18:45:06	00:20:00	19:05:06	0:28:12	0:39:54
9	260882.29	6330647.20	falla	19:54:14	2:00:00	21:54:14	0:47:14	0:00:00
10	260557.16	6333257.08	falla	20:40:17	2:00:00	22:40:17	1:12:59	0:00:00
11	254930.91	6340656.30	falla	20:57:43	2:00:00	22:57:43	0:40:19	0:00:00
12	255427.53	6339819.09	falla	20:59:17	2:00:00	22:59:17	0:07:50	0:02:43

**Tabla D.9:** Prueba 9: Mañana Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	253626.15	6341762.84	falla	7:07:28	2:00:00	9:07:28	0:06:51	0:00:00
2	254687.06	6340753.30	falla	8:42:19	2:00:00	10:42:19	0:11:31	0:00:00
3	258788.63	6342590.43	falla	9:03:34	2:00:00	11:03:34	0:08:50	0:04:26
4	258085.97	6338232.99	falla	9:14:02	2:00:00	11:14:02	1:07:46	0:00:00
5	256665.66	6341060.34	falla	9:16:08	2:00:00	11:16:08	1:40:25	0:00:00
6	256665.66	6341060.34	falla	11:28:20	2:00:00	13:28:20	1:33:47	0:16:40
7	252793.76	6342283.55	falla	11:30:50	2:00:00	13:30:50	0:02:02	0:00:00
8	252742.99	6342718.40	falla	12:00:53	2:00:00	14:00:53	0:02:42	0:00:00
9	252793.76	6342283.55	falla	12:09:14	2:00:00	14:09:14	0:36:14	0:00:00
10	256778.36	6341026.48	falla	13:34:36	2:00:00	15:34:36	0:32:02	0:00:00
11	257690.35	6339304.41	falla	13:53:52	2:00:00	15:53:52	0:50:03	0:00:00
12	259675.35	6339629.60	falla	14:03:08	2:00:00	16:03:08	0:38:23	0:00:00

**Tabla D.10:** Prueba 10: Tarde Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	258235.73	6340685.00	falla	15:28:36	2:00:00	17:28:36	1:17:44	0:00:00
2	254602.41	6341971.79	falla	15:58:44	2:00:00	17:58:44	0:31:07	0:00:00
3	256258.81	6340325.93	falla	16:25:21	2:00:00	18:25:21	1:00:25	0:00:00
4	258064.86	6342024.79	falla	17:24:00	2:00:00	19:24:00	0:13:13	0:00:00
5	257597.99	6341265.51	falla	17:31:25	2:00:00	19:31:25	0:40:34	0:00:00
6	260901.86	6332821.21	operación	18:15:10	00:20:00	18:35:10	0:12:32	0:00:00
7	260357.44	6333139.02	falla	18:55:27	2:00:00	20:55:27	0:20:51	0:00:00
8	253794.85	6343172.37	falla	20:32:52	2:00:00	22:32:52	1:02:03	0:00:00
9	253413.28	6343202.07	falla	21:28:08	2:00:00	23:28:08	0:58:43	0:00:00
10	256578.08	6339477.04	falla	21:30:33	2:00:00	23:30:33	0:11:58	0:00:00
11	256774.16	6340099.01	falla	21:31:20	2:00:00	23:31:20	0:00:38	0:00:00
12	254136.82	6341001.74	falla	21:37:50	2:00:00	23:37:50	0:15:08	0:00:00

**Tabla D.11:** Prueba 11: Mañana Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	253854.97	6342212.67	falla	7:32:27	2:00:00	9:32:27	0:14:13	0:00:00
2	257951.26	6338137.49	falla	7:41:43	2:00:00	9:41:43	0:14:32	0:00:00
3	254170.84	6340989.57	falla	9:12:42	2:00:00	11:12:42	0:30:03	0:00:00
4	258495.65	6342351.00	falla	9:22:24	2:00:00	11:22:24	1:37:40	0:00:00
5	254525.28	6342435.07	falla	10:20:47	2:00:00	12:20:47	2:23:21	0:41:13
6	251427.57	6334324.49	falla	10:21:18	2:00:00	12:21:18	0:39:14	0:00:00
7	254666.33	6341930.95	falla	11:50:29	2:00:00	13:50:29	0:16:28	0:00:00
8	252833.85	6342323.40	falla	12:12:31	2:00:00	14:12:31	0:09:00	0:07:29
9	257735.22	6340432.39	falla	12:23:00	2:00:00	14:23:00	0:28:00	0:00:00
10	255851.32	6339170.73	falla	12:39:06	2:00:00	14:39:06	0:32:02	0:00:00
11	254019.89	6342814.22	falla	14:10:18	2:00:00	16:10:18	0:06:37	0:00:00
12	259010.94	6337858.97	falla	14:16:02	2:00:00	16:16:02	0:12:37	0:00:00

**Tabla D.12:** Prueba 12: Tarde San Antonio

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	258967.74	6282668.70	falla	13:33:05	2:00:00	15:33:05	0:29:12	4:42:55
2	258887.90	6281403.41	falla	15:39:58	2:00:00	17:39:58	1:54:51	0:00:00
3	257215.20	6277713.08	falla	15:57:04	2:00:00	17:57:04	0:37:42	0:32:56
4	257540.00	6260360.43	falla	17:56:30	4:00:00	21:56:30	0:24:42	0:00:00
5	258189.37	6281853.23	falla	19:46:25	2:00:00	21:46:25	0:37:48	0:13:35
6	259508.67	6285262.16	falla	19:59:29	4:00:00	23:59:29	0:20:45	0:00:00

**Tabla D.13:** Prueba 13: Mañana San Antonio (2 Móviles, caso excepcional)

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	262097.68	6275328.14	falla	7:30:36	2:00:00	9:30:36	1:08:57	0:00:00
2	260731.71	6275082.51	falla	9:07:50	2:00:00	11:07:50	0:12:21	0:00:00
3	261052.24	6275157.30	falla	9:36:00	2:00:00	11:36:00	0:00:00	0:00:00
4	257730.73	6281578.03	falla	9:39:22	2:00:00	11:39:22	0:14:08	0:55:38
5	260784.65	6270633.75	falla	10:06:15	4:00:00	14:06:15	0:48:46	0:00:00
6	258497.37	6277258.90	falla	11:20:03	2:00:00	13:20:03	0:08:33	0:00:00
7	258043.65	6278628.20	falla	11:45:11	2:00:00	13:45:11	0:17:49	0:00:00
8	257571.95	6279754.78	falla	12:16:50	2:00:00	14:16:50	0:44:16	0:00:00
9	256200.71	6275353.83	falla	12:38:34	4:00:00	16:38:34	0:12:50	0:00:00
10	257686.37	6277045.11	falla	12:41:27	2:00:00	14:41:27	0:14:04	0:00:00
11	258253.61	6281177.08	falla	13:29:58	2:00:00	15:29:58	0:11:09	0:00:00

**Tabla D.14:** Prueba 14: Tarde San Antonio

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	257742.19	6280901.82	falla	10:54:55	2:00:00	12:54:55	0:02:22	6:03:05
2	258792.62	6278598.85	falla	14:38:16	2:00:00	16:38:16	1:14:10	0:00:00
3	257554.29	6279416.79	falla	15:26:57	2:00:00	17:26:57	0:35:00	0:43:03
4	258973.41	6277448.57	falla	17:56:56	2:00:00	19:56:56	0:00:43	0:00:00
5	258654.13	6282729.99	falla	18:33:13	2:00:00	20:33:13	0:35:23	0:00:00
6	258049.60	6278577.50	falla	18:48:52	2:00:00	20:48:52	0:09:37	0:01:08
7	259192.17	6278222.82	falla	20:59:48	2:00:00	22:59:48	0:31:08	0:00:00
8	259648.01	6286176.52	falla	21:22:44	4:00:00	25:22:44	0:22:23	0:00:00

**Tabla D.15:** Prueba 15: Mañana San Antonio

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	258135.47	6279076.54	falla	8:16:13	2:00:00	10:16:13	1:43:20	0:00:00
2	262189.56	6283777.09	falla	9:21:13	2:00:00	11:21:13	0:52:26	0:00:00
3	257434.93	6281647.18	falla	10:05:17	2:00:00	12:05:17	0:07:25	0:00:00
4	258233.86	6279770.74	falla	10:08:44	2:00:00	12:08:44	1:48:31	0:00:00
5	258119.43	6284904.09	falla	10:26:17	4:00:00	14:26:17	0:10:02	0:00:00
6	257742.19	6280901.82	falla	10:27:19	2:00:00	12:27:19	0:11:40	0:00:00
7	256868.82	6272660.39	falla	10:37:12	4:00:00	14:37:12	1:02:34	0:00:00
8	257574.88	6278163.12	falla	13:45:12	2:00:00	15:45:12	0:38:11	0:00:00

**Tabla D.16:** Prueba 16: Tarde San Antonio (2 Móviles, caso excepcional)

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	256958.54	6277384.30	falla	13:51:21	2:00:00	15:51:21	0:09:14	1:59:39
2	259034.29	6278109.75	falla	15:12:41	2:00:00	17:12:41	0:11:28	2:56:19
3	257131.24	6284643.76	falla	15:25:29	4:00:00	19:25:29	0:00:50	0:00:00
4	257516.70	6278893.40	falla	15:43:09	2:00:00	17:43:09	1:36:12	0:00:00
5	258339.83	6280001.09	falla	16:33:22	2:00:00	18:33:22	0:41:16	2:11:38
6	257219.41	6278184.40	falla	17:13:09	2:00:00	19:13:09	0:03:25	2:37:51
7	257813.95	6278445.36	falla	17:19:34	2:00:00	19:19:34	0:27:59	1:52:26
8	257468.27	6281608.82	falla	18:13:07	2:00:00	20:13:07	0:04:47	1:40:53
9	257926.22	6278527.68	falla	18:43:50	2:00:00	20:43:50	0:09:05	0:48:10
10	258047.09	6282407.94	falla	20:34:48	2:00:00	22:34:48	0:00:59	0:00:00
11	258163.88	6282536.37	falla	20:41:53	2:00:00	22:41:53	0:18:50	0:00:00
12	259654.50	6286054.84	falla	21:05:16	4:00:00	25:05:16	0:13:29	0:00:00

**Tabla D.17:** Prueba 17: Mañana San Antonio

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	257714.49	6279990.06	falla	9:31:42	2:00:00	11:31:42	0:28:28	0:00:00
2	255872.29	6274994.95	falla	9:55:04	4:00:00	13:55:04	1:19:21	0:00:00
3	258249.70	6279527.95	falla	10:35:56	2:00:00	12:35:56	0:12:53	0:14:04
4	257179.18	6277941.49	falla	10:52:57	2:00:00	12:52:57	0:36:33	0:32:03
5	258326.98	6281830.43	falla	11:45:45	2:00:00	13:45:45	0:20:27	0:24:15

**Tabla D.18:** Prueba 18: Mañana San Antonio

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	259225.19	6285023.77	falla	8:09:49	4:00:00	12:09:49	0:39:16	0:00:00
2	257837.28	6282177.28	falla	8:20:28	2:00:00	10:20:28	0:08:13	0:00:00
3	257892.43	6282285.59	falla	9:05:42	2:00:00	11:05:42	0:15:36	0:00:00
4	257530.63	6282043.32	falla	10:42:35	2:00:00	12:42:35	0:09:15	0:00:00
5	258233.86	6279770.74	falla	11:23:25	2:00:00	13:23:25	0:20:18	0:26:35
6	257884.46	6282265.20	falla	11:41:21	2:00:00	13:41:21	0:25:34	0:43:39
7	258180.56	6280639.80	falla	13:30:50	2:00:00	15:30:50	0:15:38	0:00:00

**Tabla D.19:** Prueba 19: Mañana Los Andes

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	341723.45	6363553.47	falla	6:58:20	4:00:00	10:58:20	0:56:40	0:00:00
2	342380.48	6365017.11	operación	8:05:03	00:20:00	8:25:03	0:10:27	0:04:57
3	342492.60	6365140.50	operación	8:42:59	00:20:00	9:02:59	0:12:11	1:32:01
4	337946.85	6375639.74	falla	8:49:19	2:00:00	10:49:19	0:43:35	0:00:00
5	348506.75	6366554.78	falla	10:05:59	2:00:00	12:05:59	0:37:21	0:00:00
6	337098.48	6376327.07	falla	10:45:52	2:00:00	12:45:52	0:29:47	0:00:00
7	342301.93	6365017.11	operación	11:25:18	00:20:00	11:45:18	0:53:40	0:00:00
8	342410.74	6364994.10	operación	12:55:41	00:20:00	13:15:41	1:33:04	0:00:00
9	339698.99	6376242.22	falla	13:19:33	2:00:00	15:19:33	0:20:55	0:00:00
10	342382.59	6365024.09	operación	14:26:07	00:20:00	16:46:07	0:25:42	0:00:00

**Tabla D.20:** Prueba 20: Mañana Los Andes

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	350270.16	6366756.52	operación	4:38:44	00:20:00	4:58:44	1:36:05	2:46:16
2	350298.97	6366891.53	operación	6:54:46	00:20:00	7:14:46	1:18:55	0:00:00
3	350290.04	6366798.68	operación	7:29:41	00:20:00	7:49:41	1:01:22	0:30:19
4	338818.29	6375252.47	falla	10:06:26	2:00:00	12:06:26	0:35:20	0:00:00
5	350255.15	6366739.63	operación	10:57:05	00:20:00	11:17:05	2:09:12	0:00:00
6	316475.74	6371986.25	falla	11:35:11	4:00:00	15:35:11	0:23:51	0:00:00
7	315316.27	6365856.89	falla	12:48:30	4:00:00	16:48:30	0:24:19	0:00:00
8	350955.50	6364393.16	falla	13:14:33	2:00:00	15:14:33	1:12:47	0:00:00

**Tabla D.21:** Prueba 21: Tarde Los Andes

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	351035.18	6366743.12	falla	16:16:26	2:00:00	18:16:26	0:00:33	0:00:00
2	340571.96	6386625.67	falla	16:41:29	4:00:00	20:41:29	0:29:32	0:00:00
3	340943.28	6365776.69	operación	16:54:01	00:20:00	17:14:01	0:37:17	0:00:00
4	338042.37	6376741.80	falla	20:13:10	2:00:00	22:13:10	0:19:25	0:00:00
5	350567.19	6365390.47	falla	20:32:09	2:00:00	22:32:09	1:07:20	0:00:00
6	350529.94	6365257.06	falla	22:55:16	2:00:00	24:55:16	0:00:29	0:00:00

**Tabla D.22:** Prueba 22, Tarde Los Andes

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	364282.76	6379077.87	operación	11:08:24	00:20:00	11:28:24	0:25:48	1:26:36
2	349415.98	6371513.55	falla	14:41:17	4:00:00	18:41:17	0:56:34	0:00:00
3	337541.27	6375696.84	falla	15:23:25	2:00:00	17:23:25	0:19:56	0:00:00
4	336111.84	6379984.11	falla	16:29:14	2:00:00	18:29:14	0:35:20	0:00:00
5	342536.36	6364381.68	falla	16:44:32	4:00:00	20:44:32	0:31:07	0:00:00
6	338339.00	6376664.73	falla	19:47:38	2:00:00	21:47:38	0:17:14	0:00:00
7	337992.40	6374246.97	falla	19:53:51	2:00:00	21:53:51	0:25:11	0:00:00

**Tabla D.23:** Prueba 23: Mañana Los Andes

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	321505.04	6369463.98	falla	7:02:43	4:00:00	11:02:43	0:43:35	0:00:00
2	343023.75	6371417.15	falla	8:43:46	2:00:00	10:43:46	0:16:24	0:00:00
3	345563.58	6365269.38	operación	9:15:33	2:00:00	9:35:33	0:19:12	0:35:27
4	324398.74	6372423.38	falla	9:33:10	4:00:00	13:33:10	0:16:09	0:00:00
5	347669.91	6363614.35	operación	11:38:30	2:00:00	11:58:30	0:23:48	0:00:00
6	349521.70	6366585.68	falla	12:16:43	2:00:00	14:16:43	0:29:07	0:00:00
7	321505.04	6369463.98	falla	12:40:38	4:00:00	16:40:38	0:24:16	0:00:00
8	339090.53	6375998.56	falla	13:11:45	2:00:00	15:11:45	0:30:20	0:00:00
9	337822.85	6376781.87	falla	13:41:21	2:00:00	15:41:21	0:15:58	0:00:00
10	352918.26	6369638.45	falla	14:12:39	4:00:00	18:12:39	0:38:52	0:00:00

**Tabla D.24:** Prueba 24: Mañana Los Andes

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	317657.74	6373324.17	operación	7:39:33	00:20:00	7:59:33	0:50:21	2:20:27
2	317315.41	6373049.78	operación	7:44:47	00:20:00	8:04:47	0:22:53	2:45:13
3	344180.91	6367446.01	falla	8:30:47	4:00:00	12:30:47	0:28:40	0:00:00
4	358890.00	6364487.13	falla	10:18:05	2:00:00	12:18:05	1:02:33	0:00:00
5	344722.56	6376528.94	falla	10:31:39	4:00:00	14:31:39	0:26:44	0:00:00
6	338645.68	6375388.11	falla	12:27:19	2:00:00	14:27:19	0:37:53	0:00:00
7	317457.93	6373159.46	operación	13:28:46	00:20:00	13:48:46	1:25:12	0:00:00
8	317281.98	6372982.17	operación	13:48:49	00:20:00	14:08:49	1:05:29	0:00:00

**Tabla D.25:** Prueba 25: Mañana Los Andes

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	341475.74	6374387.80	falla	8:22:22	2:00:00	10:22:22	4:00:46	0:00:00
2	349485.88	6366693.40	falla	8:44:38	2:00:00	10:44:38	0:01:50	0:32:22
3	348187.89	6364133.80	falla	8:53:51	4:00:00	12:53:51	5:11:12	0:00:00
4	337659.22	6375615.40	falla	9:17:28	2:00:00	11:17:28	0:16:52	2:05:32
5	338659.50	6376183.73	falla	9:36:55	2:00:00	11:36:55	0:32:27	0:00:00
6	338888.99	6375227.72	falla	10:38:50	2:00:00	12:38:50	0:31:49	1:11:10
7	318255.44	6364689.74	falla	10:53:08	4:00:00	14:53:08	0:00:43	0:00:00
8	328369.99	6372929.53	falla	11:25:08	4:00:00	15:25:08	0:01:38	0:00:00
9	355671.34	6366194.04	falla	11:44:59	2:00:00	13:44:59	0:25:04	0:00:00
10	337684.05	6376541.09	falla	12:07:17	2:00:00	14:07:17	0:48:28	0:00:00
11	338280.42	6375693.09	falla	12:54:39	2:00:00	14:54:39	0:16:34	0:00:00

**Tabla D.26:** Prueba 26: Mañana Los Andes

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	317967.33	6365567.28	falla	8:50:40	4:00:00	12:50:40	0:53:59	0:00:00
2	316808.61	6365045.49	falla	9:03:21	4:00:00	13:03:21	0:50:22	0:00:00
3	346177.93	6370572.51	operación	9:06:40	00:20:00	9:26:40	3:51:10	0:00:00
4	342022.09	6371280.52	falla	10:50:34	2:00:00	12:50:34	1:49:17	0:00:00
5	315712.28	6371680.94	operación	11:01:41	00:20:00	11:21:41	0:54:20	0:00:00
6	350815.63	6365125.89	falla	11:25:57	2:00:00	13:25:57	0:48:17	0:09:03
7	314709.46	6373151.89	falla	13:06:49	4:00:00	17:06:49	0:22:15	0:00:00
8	346182.46	6362049.10	falla	14:00:08	4:00:00	18:00:08	0:28:39	0:00:00

**Tabla D.27:** Prueba 27: Tarde Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	257518.85	6339759.45	falla	11:37:57	0.08333333	13:37:57	2:21:30	0:36:03
2	253910.35	6340155.90	falla	13:35:20	0.08333333	15:35:20	0:43:26	1:39:40
3	257900.85	6340433.60	falla	13:36:01	0.08333333	15:36:01	1:26:14	0:00:00
4	259594.09	6333215.52	falla	13:52:25	0.08333333	15:52:25	0:30:25	0:06:35
5	258701.47	6341870.67	falla	15:03:04	0.08333333	17:03:04	0:28:11	0:00:00
6	254054.54	6342328.55	falla	15:43:57	0.08333333	17:43:57	0:21:10	0:16:03
7	255353.94	6339989.12	operación	15:49:03	0.16666667	16:09:03	0:24:07	0:00:00
8	255348.07	6339974.66	operación	16:18:17	0.16666667	16:38:17	0:22:14	0:00:00
9	259761.75	6340426.10	falla	20:35:44	0.08333333	22:35:44	0:27:44	0:00:00
10	253720.80	6342400.26	falla	21:15:23	0.08333333	23:15:23	0:15:35	0:00:00
11	256164.67	6339705.95	falla	21:23:37	0.08333333	23:23:37	0:26:38	0:00:00

**Tabla D.28:** Prueba 28: Noche Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	260043.45	6340592.60	falla	0:33:36	0.08333333	2:33:36	0:13:03	0:41:24
2	253185.20	6342484.91	falla	2:30:32	0.08333333	4:30:32	0:01:16	0:17:28
3	252967.71	6340984.87	falla	21:00:08	0.08333333	23:00:08	0:19:07	0:59:51
4	258481.25	6338902.50	falla	21:03:20	0.08333333	23:03:20	0:08:44	1:39:40
5	259634.09	6341178.23	falla	21:28:13	0.08333333	23:28:13	1:09:48	1:53:47
6	253411.73	6341025.78	falla	21:52:48	0.08333333	23:52:48	0:23:40	4:21:12

**Tabla D.29:** Prueba 29: Mañana Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	256720.42	6339208.30	falla	1:43:22	0.08333333	3:43:22	0:02:07	7:34:38
2	254382.75	6340917.90	falla	6:56:24	0.08333333	8:56:24	0:38:01	0:05:36
3	252745.58	6340975.84	falla	9:34:39	0.08333333	11:34:39	0:24:55	0:00:00
4	252632.28	6339874.25	falla	10:33:51	0.08333333	12:33:51	0:31:27	0:00:00
5	254311.36	6340741.71	falla	11:30:52	0.08333333	13:30:52	0:10:30	0:00:00
6	258888.83	6337306.74	falla	11:49:00	0.08333333	13:49:00	0:50:43	0:00:00
7	256185.60	6340333.78	falla	11:58:56	0.08333333	13:58:56	0:05:35	0:00:00
8	256391.81	6338945.45	falla	12:24:36	0.08333333	14:24:36	0:54:58	0:00:00
9	257148.26	6339655.03	falla	12:43:15	0.08333333	14:43:15	0:02:20	0:38:45

**Tabla D.30:** Prueba 30: Tarde Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	252478.09	6342305.08	falla	13:56:44	0.08333333	15:56:44	1:01:25	2:55:16
2	259424.82	6333064.58	falla	15:05:59	0.08333333	17:05:59	0:18:21	0:00:00
3	257494.53	6341554.00	falla	15:07:06	0.08333333	17:07:06	0:55:35	0:00:00
4	254960.54	6337715.79	falla	16:27:28	0.08333333	18:27:28	1:15:48	0:00:00
5	256916.88	6339296.07	falla	17:18:28	0.08333333	19:18:28	0:16:23	0:00:00
6	256619.16	6339427.81	falla	18:12:33	0.08333333	20:12:33	0:08:11	0:00:00
7	254392.25	6340945.79	falla	18:20:52	0.08333333	20:20:52	0:28:47	0:00:00
8	252419.29	6342321.18	falla	18:21:34	0.08333333	20:21:34	0:12:00	0:00:00
9	259424.82	6333064.58	falla	18:45:18	0.08333333	20:45:18	0:01:35	0:00:00
10	257932.25	6340747.00	falla	18:57:29	0.08333333	20:57:29	0:02:10	0:36:31
11	256555.54	6339707.18	falla	19:23:13	0.08333333	21:23:13	0:20:58	0:00:00

**Tabla D.31:** Prueba 31: Tarde Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	253931.81	6343350.74	falla	18:31:47	0.08333333	20:31:47	0:28:37	0:58:13
2	252534.68	6342735.99	falla	19:41:31	0.08333333	21:41:31	0:37:41	0:00:00
3	259094.95	6338378.00	falla	20:07:53	0.08333333	22:07:53	0:34:03	0:00:00
4	257740.27	6340205.90	falla	20:55:28	0.08333333	22:55:28	0:27:47	0:00:00
5	252936.35	6341501.90	falla	21:35:04	0.08333333	23:35:04	0:42:42	0:00:00

**Tabla D.32:** Prueba 32: Tarde Valparaíso

Orden	X	Y	Tipo	Inicio	Holgura	Término	Servicio	Atraso empresa
1	253338.70	6339538.93	falla	13:14:37	0.08333333	15:14:37	0:16:57	1:25:23
2	256414.71	6338375.15	falla	13:56:17	0.08333333	15:56:17	0:38:36	0:42:43
3	260126.31	6340538.45	falla	15:39:30	0.08333333	17:39:30	1:07:11	0:00:00
4	256593.89	6339375.40	falla	17:16:14	0.08333333	19:16:14	1:29:46	0:00:00
5	258469.88	6342144.24	falla	17:53:55	0.08333333	19:53:55	0:06:38	0:00:00
6	254152.86	6341116.58	falla	18:14:10	0.08333333	20:14:10	0:34:59	0:00:00
7	253136.19	6341121.82	falla	20:15:35	0.08333333	22:15:35	0:47:28	0:00:00
8	255846.94	6339291.43	falla	21:19:36	0.08333333	23:19:36	0:00:59	0:00:00
9	258914.49	6338999.59	falla	21:42:16	0.08333333	23:42:16	0:26:09	0:00:00
10	252589.17	6341092.35	falla	21:53:19	0.08333333	23:53:19	0:34:45	0:00:00

## **Anexo E**

# **Resultados prueba tiempos de espera, transporte y rutas**



**Tabla E.1:** Resultados Beneficios Modelo. Sea Ins. el número asignado a la instancia, #ord el número de órdenes de la instancia, OAC el número de órdenes con atraso en el registro de Chilquinta, TAC el tiempo de atraso Chilquinta, OAM número de órdenes con atraso entregadas por el modelo, TAM el tiempo total de atraso entregado por el modelo, GAP el % de disminución de los tiempos de atraso, T.Disp la diferencia de tiempos disponibles al comparar el rendimiento de Chilquinta con el Modelo, TTC los tiempos de transportes registrados por la empresa y TTM los tiempos de transportes entregados por el modelo. En la columna tiempos de traslado donde aparece "no", corresponde a las instancias eliminadas para la medición.

Ins	Zona	Turno	# Ord.	OAC	TAC	OAM	TAM	GAP	T. Disp	TTC	TTM
1	Valparaíso	Tarde	11	1	0:43:47	0	0:00:00	100 %	0:43:47	5:21:00	1:34:00
2	Valparaíso	Mañana	6	1	1:06:40	0	0:00:00	100 %	1:06:40	2:24:00	0:56:00
3	Valparaíso	Tarde	11	4	4:21:51	4	0:46:58	82 %	3:34:53	4:32:00	1:40:00
4	San Antonio	Tarde	10	2	2:49:12	0	0:00:00	100 %	2:49:12	4:06:00	1:02:00
5	San Antonio	Mañana	8	1	0:09:31	0	0:00:00	100 %	0:09:31	2:32:00	1:04:00
6	Los Andes	Mañana	7	2	2:51:24	0	0:00:00	100 %	2:51:24	4:16:00	2:33:00
7	Los Andes	Tarde	9	3	2:23:55	0	0:00:00	100 %	2:23:55	3:29:00	1:16:00
8	Valparaíso	Tarde	12	2	0:42:37	0	0:00:00	100 %	0:42:37	4:33:00	1:34:00
9	Valparaíso	Mañana	12	2	0:21:06	0	0:00:00	100 %	0:21:06	3:52:00	1:49:00
10	Valparaíso	Tarde	12	0	0:00:00	0	0:00:00	0 %	0:00:00	5:21:00	1:58:00
11	Valparaíso	Mañana	12	2	0:48:42	0	0:00:00	100 %	0:48:42	5:51:00	1:49:00
12	San Antonio	Tarde	6	3	5:29:26	1	0:02:49	99 %	5:26:37	1:37:00	1:41:00
13	San Antonio	Mañana	11	1	0:55:38	0	0:00:00	100 %	0:55:38	3:40:00	0:44:00
14	San Antonio	Tarde	8	3	6:47:16	1	2:38:17	61 %	4:08:59	2:18:00	3:19:00
15	San Antonio	Mañana	8	0	0:00:00	0	0:00:00	0 %	0:00:00	2:30:00	1:13:00
16	San Antonio	Tarde	12	7	14:06:56	0	0:00:00	100 %	14:06:56	6:25:00	1:33:00
17	San Antonio	Mañana	5	3	1:10:22	0	0:00:00	100 %	1:10:22	1:17:00	0:24:00
18	San Antonio	Mañana	7	2	1:10:14	0	0:00:00	100 %	1:10:14	2:28:00	1:21:00
19	Los Andes	Mañana	10	2	1:36:58	0	0:00:00	100 %	1:36:58	no	no
20	Los Andes	Mañana	8	2	3:16:35	0	0:00:00	100 %	3:16:35	no	no
21	Los Andes	Tarde	6	0	0:00:00	0	0:00:00	0 %	0:00:00	2:05:00	1:34:00
22	Los Andes	Tarde	7	1	1:26:36	1	0:54:31	37 %	0:32:05	2:53:00	2:13:00
23	Los Andes	Mañana	10	1	0:35:27	0	0:00:00	100 %	0:35:27	4:26:00	2:18:00
24	Los Andes	Mañana	8	2	5:05:40	0	0:00:00	100 %	5:05:40	no	no
25	Los Andes	Mañana	11	3	3:49:04	0	0:00:00	100 %	3:49:04	6:12:00	3:08:00
26	Los Andes	Mañana	8	1	0:09:03	0	0:00:00	100 %	0:09:03	2:16:00	3:03:00
27	Valparaíso	Tarde	11	4	2:38:21	3	2:44:10	-4 %	0:00:00	4:23:00	0:49:00
28	Valparaíso	Noche	6	6	9:53:22	4	3:38:58	63 %	6:14:24	2:18:00	1:11:00
29	Valparaíso	Mañana	9	3	8:18:59	1	4:02:28	51 %	4:16:31	5:21:00	2:55:00
30	Valparaíso	Tarde	11	2	3:31:47	0	0:00:00	100 %	3:31:47	5:30:00	1:29:00
31	Valparaíso	Tarde	5	1	0:58:13	0	0:00:00	100 %	0:58:13	1:42:00	1:13:00
32	Valparaíso	Tarde	10	2	2:08:06	1	0:34:21	73 %	1:33:45	4:35:00	1:19:00

**Tabla E.2:** Rutas Sugeridas Modelo. "No disponible" quiere decir que en ese turno, esa zona dispone de un número menor a 3 móviles. "Desocupado" quieren decir que a pesar de estar disponible para operar el móvil no salió de la base.

<b>Ins</b>	<b>Vehículo 1</b>	<b>Vehículo 2</b>	<b>Vehículo 3</b>
1	0-1-3-2-5-7-10-6-8-11-0	0-4-9-0	Desocupado
2	0-4-0	0-1-6-2-5-3-0	Desocupado
3	0-3-10-11-0	0-2-0	0-4-1-5-6-8-7-9-0
4	0-2-3-4-1-8-9-7-6-5-10-0	No disponible	No disponible
5	0-3-1-2-8-7-4-6-5-0	No disponible	No disponible
6	0-1-6-5-3-7-2-4-0	Desocupado	Desocupado
7	0-6-3-8-5-1-2-7-9-0	0-4-0	Desocupado
8	0-6-8-0	0-2-5-1-10-0	0-3-4-7-9-11-12-0
9	0-3-5-4-12-10-0	0-2-1-6-7-8-9-11-0	Desocupado
10	0-2-4-1-3-5-9-12-10-8-11-0	0-7-6-0	Desocupado
11	0-2-1-3-12-5-9-10-8-0	0-4-6-7-11-0	Desocupado
12	0-3-2-1-6-5-4-0	No disponible	No disponible
13	0-1-3-2-4-9-7-6-8-0	0-5-10-11-0	No disponible
14	0-4-3-1-2-6-5-8-7-0	No disponible	No disponible
15	0-2-1-4-3-5-6-7-8-0	No disponible	No disponible
16	0-6-11-1-12-5-7-0	0-4-3-10-2-8-9-0	No disponible
17	0-1-5-3-4-2-0	No disponible	No disponible
18	0-2-3-1-6-4-5-7-0	No disponible	No disponible
19	0-3-1-6-8-5-9-10-0	0-2-4-7-0	Desocupado
20	0-2-3-7-8-0	0-4-1-5-6-0	Desocupado
21	0-1-3-4-2-5-6-0	Desocupado	Desocupado
22	0-2-3-5-6-7-0	0-4-1-0	Desocupado
23	0-4-1-2-6-3-9-7-0	0-5-8-10-0	Desocupado
24	0-1-5-6-8-7-0	0-3-2-4-0	Desocupado
25	0-10-7-2-8-9-3-4-0	0-1-6-5-0	0-11-0
26	0-1-2-5-7-8-0	0-3-6-0	0-4-0
27	0-7-6-8-10-11-0	0-2-1-9-0	0-3-4-5-0
28	0-2-1-5-3-4-6-0	No disponible	No disponible
29	0-5-1-3-8-6-7-11-10-9-4-2-0	Desocupado	Desocupado
30	0-7-2-3-4-5-9-8-11-10-0	0-1-6-0	Desocupado
31	0-1-3-4-2-5-0	Desocupado	Desocupado
32	0-2-3-4-5-10-0	0-1-6-7-9-8-0	Desocupado