



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL INDUSTRIAL**

**DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN MODELO DE  
TRANSPORTE PARA DETERMINAR UNA RUTA  
ÓPTIMA DE DISTRIBUCIÓN PARA LA EMPRESA  
MASPAN LTDA.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO  
DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROF. GUIA: MARIO RIVAS

**PAOLA ALEJANDRA ALISTE VENEGAS**

**CURICO - CHILE**  
2005

## RESUMEN EJECUTIVO

La presente memoria está orientada al mejoramiento del aspecto operativo del sistema de transporte de la empresa Maspan Ltda., es decir, el mejoramiento de las rutas con que actualmente opera la empresa. Esta empresa cuenta con 2 centros de distribución: uno en la ciudad de Temuco, que abastece a los clientes de las Regiones VIII y IX, y otro en la ciudad de Curicó, que abastece a las Regiones VI y VII. Este último centro de distribución es el estudiado y analizado en la presente memoria, ya que las rutas optimizadas son las abastecidas a partir de él.

La primera labor realizada, fue la aclaración de conceptos básicos a utilizar para el estudio, como es el caso de la logística, la distribución y el transporte, para luego seguir con el estudio de los modelos y/o metodologías aplicables de acuerdo a la naturaleza del problema, que corresponde a los aspectos teóricos de la memoria.

En segundo lugar, se realizó un diagnóstico de la situación actual de la empresa, comenzando con el estudio de su sistema de distribución y carga, analizando y formalizando (en algunos casos) cada uno de los procesos, para luego finalizar esta etapa con el estudio y análisis de las rutas que actualmente están siendo implementadas.

Luego se continúa con una etapa de recopilación de información que más tarde será utilizada para resolver el problema, analizando por supuesto los aspectos más importantes encontrados en dicha etapa.

Después de terminada la etapa de recopilación de información, se decidió crear un modelo que refleje de la mejor manera posible la realidad de la empresa. Dicho modelo resultante se clasifica en la categoría de modelos no lineales debido a que su función objetivo es cuadrática y sus restricciones lineales, y también representa un modelo de asignación de rutas – camiones – clientes, donde cada variable es de naturaleza binaria. Dicho modelo no sólo es presentado, sino también muestra un análisis a través de 3 casos. Para resolver dicho modelo, se escogió el programa computacional LINGO versión 9.0 Extended, ya que permite la resolución de modelos de igual características y posee una capacidad ilimitada de variables y restricciones.

Por último se presentan los resultados obtenidos al ingresar el modelo al programa y el análisis de la nueva distribución de las rutas, comparando las actuales con las encontradas recientemente, y presentando el ahorro en costos, los cuales representan un 13,6% para la empresa. Finalmente se concluye con la presentación formal de los resultados y la recomendación de implementación de las nuevas rutas.

---

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>Introducción</b>		<b>1</b>
<b>Capítulo 1</b>	<b>Presentación de la problemática y metodología de trabajo</b>	<b>4</b>
1.1	Problemática de la empresa	5
1.1.1	Lugar de aplicación	5
1.1.2	Problemática de la empresa	5
1.1.3	Área de investigación	7
1.1.4	Área de estudio	7
1.2	Objetivos	7
1.2.1	Objetivo general	7
1.2.2	Objetivos específicos	7
1.2.3	Resultados tangibles esperados	8
1.3	Metodología de trabajo	9
1.3.1	Estudio de los modelos de transporte y/o Metodologías posibles de aplicar	9
1.3.2	Diagnóstico de la situación actual de la empresa	9
1.3.3	Recopilación y análisis de información relevante	10
1.3.4	Modelación matemática del sistema de transporte Maspan	11
1.3.5	Solución del modelo	12
1.3.6	Presentación de los resultados y recomendación de implementación	13
1.3.7	Conclusiones	13
<b>Capítulo 2</b>	<b>Logística de distribución y transporte</b>	<b>14</b>
2.1	Logística de distribución	15
2.2	Planificación de problemas de cadenas logísticas	16
2.3	Distribución y transporte	17
2.4	Planificación de transporte	19

2.5	Modelos y/o metodologías candidatas a utilizar	20
2.5.1	Clásico modelo de transporte	20
2.5.2	Modelo de transporte con planificación de trasbordo	21
2.5.3	Modelos de redes	23
2.5.3.1	Algoritmos de la ruta más corta	24
	• Algoritmo Dijkstra	24
	• Algoritmo Floyd	25
2.5.3.2	Modelo de flujo máximo	28
	• Algoritmo Busacker-Gowen	28
2.5.4	Modelos de planificación de tour	29
	• Proceso Savings	31
	• Algoritmo Sweep	33
2.6	Cuadro resumen	35
<b>Capítulo 3</b>	<b>Diagnóstico de la situación actual de la empresa</b>	<b>36</b>
3.1	Antecedentes generales de la empresa	37
3.1.1	Productos	37
3.1.2	Calidad y desarrollo	40
3.1.3	Organigrama de la empresa	41
3.2	Descripción del sistema de distribución	42
3.2.1	Proceso de pedido	42
3.2.2	Proceso de despacho	45
3.2.3	Características del transporte utilizado	48
3.2.4	Bodega	49
3.2.5	Proceso de recepción	52
3.3	Descripción del sistema de carga	55
3.3.1	Descripción general	55
3.3.2	Unidad de carga utilizada	55
3.3.3	Tipos de carga y descarga	55
3.3.4	Elementos utilizados	56
3.3.5	Maquinaria utilizada	57
3.3.6	Ubicación de la carga al interior del camión	58

	3.3.7	Tiempos de carga y descarga	58
3.4		Análisis de la ruta actual	59
	3.4.1	Clientes	59
	3.4.2	Ubicación de los clientes	59
	3.4.3	Rutas actuales	63
	3.4.4	Observaciones generales	68
3.5		Costos de la ruta actual	73
	3.5.1	Costos de transporte considerados	73
<b>Capítulo 4</b>		<b>Recopilación y análisis de información relevante</b>	<b>76</b>
4.1		Recolección de datos	77
	4.1.1	Clientes	77
	4.1.2	Distribuidores	79
	4.1.3	Camiones	79
	4.1.4	Maquinaria	80
	4.1.5	Proveedores	80
	4.1.6	Contratación de servicios externos	80
	4.1.7	Nivel de carga promedio por cliente	81
	4.1.8	Frecuencia de visita semanal , costos y kilogramos transportados	82
	4.1.9	Comportamiento histórico de la demanda	83
4.2		Mediciones en terreno	85
	4.2.1	Frecuencia de salida de los camiones	85
	4.2.2	Flujo de carga	85
	4.2.3	Kilómetros recorridos	86
	4.2.4	Costos de viaje	86
	4.2.5	Resultados de tiempos	89
	4.2.5.1	Tiempos de viaje	89
	4.2.5.2	Tiempos de estadía, espera y descarga	89
	4.2.6	Horarios de recepción	93
4.3		Análisis de resultados	94
	4.3.1	Análisis de las rutas	94
	4.3.2	Análisis de los tiempos	95

<b>Capítulo 5</b>	<b>Modelación matemática</b>	<b>104</b>
5.1	Metodología de resolución	105
5.2	Identificación de las variables de decisión	106
5.2.1	Variables de decisión	106
5.2.2	Parámetros	107
	• Costos de transporte	107
	• Nivel de carga de los clientes	109
	• Tiempos de viaje y estadía	109
	• Capacidad de los camiones	110
5.3	Identificación de la función objetivo	110
5.4	Identificación de las restricciones	110
5.5	Traducción de los elementos anteriores a un modelo matemático	111
5.5.1	Presentación del modelo bajo las condiciones actuales	111
5.6	Análisis del modelo	114
5.6.1	Caso 1: Incorporación de nuevo camión	115
5.6.2	Caso 2: Incorporación de nuevo cliente	115
5.6.3	Caso 3: Incorporación de nueva ruta	116
<b>Capítulo 6</b>	<b>Solución del modelo</b>	<b>117</b>
6.1	Metodología de resolución	118
6.2	Elección de la técnica de resolución adecuada	119
6.2.1	LINGO	119
6.2.2	Lenguaje de modelación	120
6.2.3	Sintaxis de un modelo en LINGO	121
6.2.4	Resolución de un modelo	122
6.2.5	Dimensiones máximas	122
6.3	Ejemplo demostrativo	123
6.4	Generación de las soluciones del modelo	128
6.4.1	Pasos a seguir	128
6.4.2	Primer caso	129

---

6.4.3	Segundo caso	131
6.5	Análisis de resultados	133
6.5.1	Análisis de tiempos	133
6.5.2	Comparación de rutas	135
6.5.3	Análisis de costos	136
<b>Capítulo 7</b>	<b>Presentación de resultados y recomendación de implementación</b>	<b>139</b>
7.1	Metodología de resolución	140
7.2	Presentación de resultados	141
7.3	Recomendación de implementación	145
<b>Conclusiones</b>		<b>150</b>
<b>Bibliografía</b>		<b>154</b>
<b>Anexos</b>		<b>156</b>
Anexo 1.	Documentación utilizada	157
Anexo 2.	Formato de toma de mediciones	163
Anexo 3.	Clasificación de los clientes y niveles de carga promedio	165
Anexo 4.	Distancias	167
Anexo 5.	Estimación de costos	169
Anexo 6.	Tiempos de ruta	173
Anexo 7.	Programación	176
Anexo 8.	Normativa laboral	185

---

**ÍNDICE DE CUADROS**
**Capítulo 2**

Cuadro 2.1	Resumen aspectos teóricos	35
------------	---------------------------	----

**Capítulo 3**

Cuadro 3.1	Clientes VI Región	60
Cuadro 3.2	Clientes VII Región	60
Cuadro 3.3	Clientes costa Curicó	61
Cuadro 3.4	Clientes IX Región	62
Cuadro 3.5	Rutas actuales	63
Cuadro 3.6	Detalle rutas día Lunes camión N°1	63
Cuadro 3.7	Detalle rutas día Martes camión N°1	64
Cuadro 3.8	Detalle rutas día Miércoles camión N°1	64
Cuadro 3.9	Detalle rutas día Jueves camión N°1	64
Cuadro 3.10	Detalle rutas día Viernes camión N°1	65
Cuadro 3.11	Detalle rutas día Sábado camión N°1	65
Cuadro 3.12	Detalle rutas día Lunes camión N°2	66
Cuadro 3.13	Detalle rutas día Martes camión N°2	66
Cuadro 3.14	Detalle rutas día Miércoles camión N°2	66
Cuadro 3.15	Detalle rutas día Jueves camión N°2	66
Cuadro 3.16	Detalle rutas día Viernes camión N°2	67
Cuadro 3.17	Detalle rutas día Sábado camión N°2	67
Cuadro 3.18	Costos fijos por día, camión N°1 y N°2	73
Cuadro 3.19	Peajes pagados por camión N°1	74
Cuadro 3.20	Peajes pagados por camión N°2	75
Cuadro 3.21	Dinero destinado a combustible para camión N°1	75
Cuadro 3.22	Dinero destinado a combustible para camión N°2	75



**Capítulo 4**

Cuadro 4.1	Distancias de clientes VI Región	77
Cuadro 4.2	Distancias de clientes VII Región	78
Cuadro 4.3	Distribuidores de la empresa	79
Cuadro 4.4	Camiones utilizados en la empresa	79
Cuadro 4.5	Maquinaria utilizada en la empresa	80
Cuadro 4.6	Nivel de carga promedio por ruta	81
Cuadro 4.7	Frecuencia semanal, costos y kilogramos transportados	82
Cuadro 4.8	Demanda diaria	83
Cuadro 4.9	Frecuencia de salida de los camiones	85
Cuadro 4.10	Flujo de carga y bandejas descargadas	85
Cuadro 4.11	Kilómetros recorridos	86
Cuadro 4.12	Distancia y costos asociados a camión N°1	87
Cuadro 4.13	Distancia y costos asociados a camión N°2	88
Cuadro 4.14	Tiempos de duración de las rutas	89
Cuadro 4.15	Tiempos de la ruta 1	90
Cuadro 4.16	Tiempos de la ruta 2	91
Cuadro 4.17	Tiempos de la ruta 3	91
Cuadro 4.18	Tiempos de la ruta 4	92
Cuadro 4.19	Horarios de recepción	93

**Capítulo 5**

Cuadro 5.1	Etapas del modelado matemático	106
Cuadro 5.2	Definición de variables y parámetros	106
Cuadro 5.3	Capacidad de los camiones	110
Cuadro 5.4	Cantidad de restricciones	114

**Capítulo 6**

Cuadro 6.1	Etapas de la solución del modelo	118
Cuadro 6.2	Funciones de dominio de variables	121
Cuadro 6.3	Dimensiones máximas	122
Cuadro 6.4	Datos niveles de carga y tiempos de estadía	124

---

Cuadro 6.5	Datos capacidad de camiones	124
Cuadro 6.6	Tiempos de espera de los clientes	124
Cuadro 6.7	Análisis de tiempos rutas actuales	133
Cuadro 6.8	Análisis de tiempos de estadía	134
Cuadro 6.9	Comparación de rutas	135
Cuadro 6.10	Rutas actuales	136
Cuadro 6.11	Rutas nuevas	137
 <b>Capítulo 7</b>		
Cuadro 7.1	Implementación de rutas con contrato de camión interno	146
Cuadro 7.2	Implementación de rutas con contrato de camión externo	148

---

**ÍNDICE DE FIGURAS**
**Capítulo 1**

Figura 1.1	Modelado matemático	12
------------	---------------------	----

**Capítulo 2**

Figura 2.1	Modelo de transporte	20
Figura 2.2	Modelo de trasbordo	22
Figura 2.3	Idea del algoritmo Floyd	25
Figura 2.4	Paso 1 algoritmo Floyd	26
Figura 2.5	Paso 2 algoritmo Floyd	27
Figura 2.6	Algoritmo Busacker-Gowen	29
Figura 2.7	Proceso Saving	32
Figura 2.8	Algoritmo Sweep	34

**Capítulo 3**

Figura 3.1	Organigrama de la empresa	41
Figura 3.2	Bodega de producto terminado	50
Figura 3.3	Representación de la ruta N°1	68
Figura 3.4	Representación de la ruta N°2	69
Figura 3.5	Representación de la ruta N°3	70
Figura 3.6	Representación de la ruta N°4	71

**Capítulo 5**

Figura 5.1	Metodología de resolución de un modelo, paso 2	105
------------	--	-----

**Capítulo 6**

Figura 6.1	Metodología de resolución de un modelo, paso 3	118
Figura 6.2	Programa LINGO	120
Figura 6.3	Versión Extended	123
Figura 6.4	Solución ejemplo	126
Figura 6.5	Ingreso de datos	128
Figura 6.6	Primer error	129

Figura 6.7	Segundo error	129
Figura 6.8	Resultado modelo original	130
Figura 6.9	Resultado segundo caso	131

**Capítulo 7**

Figura 7.1	Metodología de resolución de un modelo, paso 4	140
Figura 7.2	Representación de la ruta N°1	141
Figura 7.3	Representación de la ruta N°2	142
Figura 7.4	Representación de la ruta N°3	143
Figura 7.5	Representación de la ruta N°4	144

---

**ÍNDICE DE GRÁFICOS****Capítulo 4**

Gráfico 4.1	Kilogramos promedio por día	83
Gráfico 4.2	Tiempos de estadía ruta 1	96
Gráfico 4.3	Tiempos de espera ruta 1	96
Gráfico 4.4	Tiempos de descarga ruta 1	97
Gráfico 4.5	Tiempos de estadía ruta 2	98
Gráfico 4.6	Tiempos de descarga ruta 2	99
Gráfico 4.7	Tiempos de espera ruta 2	99
Gráfico 4.8	Tiempos de estadía ruta 3	100
Gráfico 4.9	Tiempos de descarga ruta 3	100
Gráfico 4.10	Tiempos de espera ruta 3	101
Gráfico 4.11	Tiempos de estadía ruta 4	102
Gráfico 4.12	Tiempos de descarga ruta 4	103
Gráfico 4.13	Tiempos de espera ruta 4	103

**Capítulo 5**

Gráfico 5.1	Estimación de costos de transporte camión N°1	108
Gráfico 5.2	Estimación de costos de transporte camión N°2	108

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

### Capítulo 3

Diagrama 3.1	Proceso de pedido	43
Diagrama 3.2	Proceso de despacho	46
Diagrama 3.3	Proceso de recepción	53

# INTRODUCCIÓN

## **INTRODUCCIÓN**

La competencia y la necesidad de satisfacer las expectativas de los clientes adquieren cada vez más importancia e imponen exigentes requerimientos sobre las empresas. Como si esto fuera poco, las expectativas de los clientes abarcan no sólo el precio y la calidad de los productos o servicios, sino que también la rapidez, confiabilidad y eficiencia en la entrega del producto o servicio.

Muchas empresas valoran la logística y se ha convertido en un tema estratégico importante en todos los ámbitos, desde el abastecimiento de materias primas hasta la distribución final de los productos. El concepto de cadena de valor de Michael Porter, permite integrar los tres niveles de planificación de la logística. En esta cadena, se establece la distinción entre la logística de entrada, que se preocupa de todos los aspectos relacionados con el aprovisionamiento de la firma, y la de salida, que se preocupa de todos los aspectos relacionados con la entrega de los productos a los clientes. Es este último punto, el que se estudiará en la presente memoria, la distribución final de productos, desde el centro de distribución, hasta las instalaciones de los clientes.

El transporte es un elemento crucial en varias etapas de la cadena de abastecimiento. Los productos finales deben ser transportados a las instalaciones de los clientes, pasando muchas veces por centros de distribución. Por ello, el transporte puede influir apreciablemente en los gastos operacionales y de inversión de una empresa. Frecuentemente el transporte es una de las actividades que el cliente percibe directamente y, por lo tanto, una de las que más puede influir en la percepción de calidad de servicio. Muchas veces las entregas pueden tener ventanas de tiempo, ya que el cliente desea recibir el producto en ciertos horarios. También los pedidos pueden tener distintos grados de urgencia y distintos grados de planificación.

Dentro de las estrategias operacionales del sistema de transporte, se encuentra el ruteo óptimo, cuyo objetivo es minimizar los costos manteniendo los estándares de atención, como por ejemplo, el tiempo de entrega, u optimizar estos estándares, dadas las condiciones de número de vehículos, costos máximos de transporte y otras restricciones del sistema. Este aspecto operacional es el objetivo de esta memoria, es decir, encontrar las rutas óptimas que permitan distribuir los productos de la empresa distribuidora Maspan Ltda., minimizando los costos de transporte y manteniendo los estándares de atención mencionados recientemente. Para ello, se pretende realizar ya sea



un modelo de transporte que represente la situación actual de la empresa, y que pueda ser resuelto por algún programa computacional de optimización, o utilizar alguna metodología adecuada presentada en el capítulo 2.

Es importante mencionar que la empresa Maspan distribuye productos congelados, precocidos y prefermentados, entre las Regiones VI, VII, IX y posee dos centros de distribución en las ciudades de Curicó (VII Región) y Temuco (IX Región). La memoria se centrará sólo en la distribución de productos entre la VI y VII Región, considerando el centro de distribución ubicado en la ciudad de Curicó.

Como resultado final, se espera un análisis completo de las nuevas rutas, realizando una comparación entre las rutas actualmente implementadas y las encontradas recientemente, teniendo en consideración la disminución de costos que implica la nueva solución.

# CAPÍTULO 1

## PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

*En este primer capítulo, se presenta una descripción general de la empresa, el análisis de la problemática a resolver y los objetivos generales y específicos planteados para la memoria, así como la metodología de trabajo a utilizar en los capítulos posteriores.*

## 1.1 **PROBLEMÁTICA DE LA EMPRESA**

### 1.1.1 Lugar de aplicación

El lugar de aplicación de la presente memoria es la empresa Maspan Ltda., dedicada a la distribución de masas dulces y saladas congeladas, precocidas y prefermentadas, la cuál se encuentra ubicada en la Ruta 5 sur km 185, Curicó.

### 1.1.2 Problemática de la empresa:

La empresa Maspan, no cuenta con una *Ruta de distribución óptima* para sus productos terminados entre las ciudades de San Fernando y Temuco. Por este motivo, se necesita realizar un estudio con el objetivo de encontrar un modelo que entregue dicha ruta óptima, según las condiciones actuales de la empresa y proponer su implementación.

La empresa no ha realizado ningún estudio para implementar una ruta óptima, y la que posee actualmente no forma parte de un estudio previo, teniendo, por tal motivo, muchos problemas con sus rutas por la diferencia en el número de clientes atendidos por día.

### **Métodos interesantes de aplicar:**

Existe una gran variedad de algoritmos que se pueden aplicar para resolver esta situación. A continuación se mencionan algunos de ellos, los cuales se consideran interesantes de aplicar y que serán analizados en el capítulo siguiente:

- Clásico modelo de transporte.
- Modelo de transporte con planificación de trasbordo.
- Modelos de redes:
  - Problema de la ruta más corta.
    - Algoritmo Dijkstra.
    - Algoritmo Floyd.
  - Modelo de flujo máximo.
    - Algoritmo Busacker-Gowen

- Modelos heurísticos de planificación de Tour
  - Proceso Savings
  - Algoritmo Sweep

**Para solucionar el problema planteado anteriormente, se debe:**

Encontrar el modelo o metodología de transporte, aplicable a la empresa (de acuerdo a la información con que se cuenta), que entregue una ruta óptima según las condiciones de la empresa.

**Consecuencias que traería la falta de solución a la problemática:**

- Mayores costos, si no se utiliza el camión adecuado.
- Costos adicionales como multas, si no se respetan algunas normativas o referentes a la calidad del servicio, si no se atiende a los clientes en forma oportuna.
- Acumulación de inventario.
- Pérdida de calidad del producto terminado, ya que estos productos son perecibles.
  - Productos congelados .  
Duración 6 meses.
  - Productos precocidos.  
Duración 12 meses.
  - Productos prefermentados.  
Duración 2 meses.

### **¿Qué área o unidad se ve beneficiada con la solución a esta problemática?**

Todas las áreas de la empresa se ven beneficiadas, ya que esta empresa es distribuidora (su principal función es la distribución).

#### **1.1.3 Área de investigación:**

La principal área de estudio para esta memoria es:

- Gestión de operaciones.
  - Logística de distribución.
- Investigación de operaciones.

#### **1.1.4 Área de estudio:**

El *área de distribución* es la principal área de estudio para resolver esta memoria.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general:**

“Utilizar una metodología, o diseñar y construir un modelo, bajo las condiciones actuales, que permita determinar las rutas óptimas de distribución de productos terminados, para los clientes de la VI y VII región de la empresa Maspan Ltda.”

### **1.2.2 Objetivos específicos:**

- Estudiar y conocer los procesos de distribución actuales de la empresa
- Estudiar el problema a considerar
- Encontrar un modelo y/o metodología de transporte adecuado a las condiciones de la empresa.
- En caso de realizar un modelo, construirlo basado en las condiciones que presenta la empresa.
- Resolver el modelo utilizando una técnica adecuada, escogiendo un software que se adapte al modelo construido.

- En caso de utilizar una metodología, programarla utilizando un lenguaje conocido.
- Realizar una recomendación de implementación de las rutas encontradas.

**1.2.3 Resultados tangibles esperados:**

- Modelo de transporte para la empresa.
- Representación de las nuevas rutas.
- Costos generales de implementar dicha ruta.
- Ahorro en costos total para la empresa.

### **1.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

La metodología de la presente memoria, se divide en diferentes etapas, las cuáles a su vez están constituidas por diversas actividades, las que se especifican a continuación..

Las etapas que componen este proyecto, son las siguientes:

#### **1.3.1 Estudio de los modelos de transporte y/o metodologías posibles de aplicar.**

En esta etapa, se realizará una recopilación de las metodologías y/o modelos que son técnicamente recomendables de utilizar para este tipo de problemas.

En primer lugar, se realizará una delimitación del problema en estudio, comenzando con una visión general de la logística, para luego enfocarse en el área de distribución y finalmente en la planificación operativa, donde el principal objetivo es la *planificación de rutas*.

De esta forma, se llegará a la etapa principal de este capítulo: el estudio de los algoritmos de las diversas metodologías y de los modelos de transporte, las condiciones de aplicación de cada una de ellas, sus ventajas y desventajas, así como los resultados que se obtienen.

#### **1.3.2 Diagnóstico de la situación actual de la empresa.**

Este diagnóstico se realizará principalmente en base a la información aportada por el personal de la empresa.

Esta etapa está compuesta de 4 actividades principales, las que se mencionan a continuación:

- *Descripción del sistema actual de distribución.*

Es una descripción general de todo el proceso de distribución, desde la carga de los camiones hasta la descarga en los distintos puntos de destino.

- *Descripción del sistema de carga.*

Se realizará una descripción general del procedimiento que se realiza para cargar los camiones, así como también la forma de distribuir los productos al interior de ellos.

- *Análisis de la ruta utilizada actualmente para la distribución.*

En primer lugar, se dará a conocer los distintos clientes y por lo tanto, los distintos destinos que deben cubrir las rutas, para luego presentar las rutas que se utilizan actualmente para distribuir los productos por cada uno de los días de la semana, así como los kilos transportados por cada uno de los camiones por día. Posteriormente se realizará un análisis de cada una de las rutas.

- *Determinación de los costos de operación de la ruta actual.*

Se realizará una recopilación de todos los costos relacionados con la implementación de la ruta, considerando el recorrido que se debe realizar por día (combustible utilizado y peajes pagados por cada uno de los camiones).

### **1.3.3 Recopilación y análisis de información relevante para ser utilizada en el planteamiento del modelo.**

Esta etapa esta compuesta por 3 actividades principales:

- *Recolección de datos existentes:*
  - Flota de camiones existentes.
  - Contratación de servicios externos (si existe).
  - Proveedores con que cuenta la empresa.
  - Ciudades y pueblos que debe cubrir la ruta.
  - Clientes por cada una de las ciudades y pueblos mencionados anteriormente.
  - Kilómetros existentes entre la empresa y cada uno de los puntos de destino.
  - Distribuidores que posee la empresa.
  - Comportamiento histórico de la demanda.
- *Mediciones en terreno:*
  - Frecuencia de salida de los camiones.
  - Flujo de carga (kg. y m<sup>3</sup> entre origen y cada destino).
  - Frecuencia de visita a cada cliente.
  - Kilómetros recorridos en cada ruta.
  - Tiempos de descarga de los camiones.
  - Tiempos de espera para descargar.



En esta etapa, las mediciones en terreno son muy importantes, ya que, la empresa no cuenta con los datos necesarios para ser utilizados en el planteamiento del modelo o en la metodología. Estas mediciones consisten en realizar las distintas rutas para obtener datos como los tiempos, tanto de estadía, de descarga así como de espera, en los diversos puntos de destino. Las rutas se realizarán 3 veces cada una para obtener mejores resultados, para luego ser analizados.

- *Análisis de resultados:*

En esta etapa se analizarán los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en terreno, es decir, se analizarán cada una de las rutas (kilómetros recorridos, kilogramos transportados, duración de la ruta), así como también los resultados de los tiempos obtenidos por cada una de ellas.

#### **1.3.4 Modelación matemática del sistema de transporte Maspan.**

El proceso de modelación matemática consta de cuatro importantes actividades, las que se especifican a continuación:

- *Identificación de las variables de decisión*

Un paso crucial en la construcción de un modelo matemático es determinar aquellos factores sobre los que el decidor tiene control, que normalmente se llaman variables de decisión del problema. Para identificar las variables de decisión, puede ser útil hacerse las siguientes preguntas:

- ¿Qué es lo que hay que decidir?
- ¿Sobre qué elementos se tiene control?
- ¿Cuál sería una respuesta válida para este caso?

- *Identificación de la función objetivo*

El objetivo de la mayoría de los modelos de optimización, es encontrar el modo de optimizar alguna medida respetando las restricciones existentes. A la hora de encontrar la función objetivo, la pregunta que se debe realizar es: ¿Qué es lo que se quiere conseguir?

- *Identificación de las restricciones*

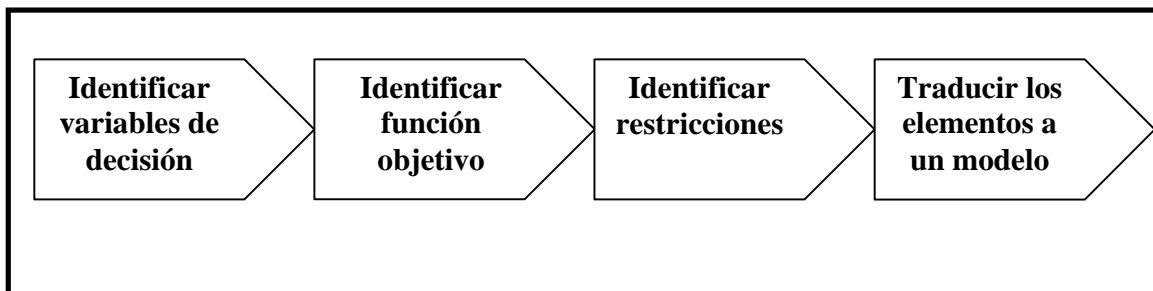
En la búsqueda de la solución óptima, normalmente existen ciertas restricciones (limitaciones, requisitos) que limitan nuestra decisión. Ejemplos de restricciones

frecuentes son: los recursos disponibles son limitados; fechas límites impuestas por los contratos; restricciones impuestas por la naturaleza del problema.

- *Traducción de todos los elementos básicos a un modelo matemático.*

Una vez identificados los elementos básicos hay que expresarlos matemáticamente. Dependiendo de la naturaleza de las funciones matemáticas, el modelo será de un tipo u otro.

**Figura 1.1: Modelación matemática**



### 1.3.5 Solución del modelo.

Aceptado ya el modelo matemático que mejor describe la situación en estudio, se aplican los algoritmos y métodos matemáticos diseñados para su resolución. Las etapas en la resolución del modelo se presentan a continuación:

- *Elección de la técnica de resolución adecuada.*

Afortunadamente, muchos de los modelos de optimización pueden resolverse utilizando técnicas eficientes ya existentes, que proporcionan una solución óptima para el modelo.

- *Generación de las soluciones del modelo.*

Una vez elegida la técnica de resolución, el siguiente paso es resolver el problema con la ayuda de ésta, considerando las condiciones actuales de la empresa. El objetivo de las soluciones no sólo se relacionan con la ruta óptima, sino también con los costos finales de implementación (Estimación de los costos).

- *Análisis de resultados.*

Una actividad muy importante de esta etapa es el análisis que se debe realizar a los resultados generados anteriormente, los cuales conducirán a la actividad final.

- *Si los resultados son inaceptables, revisar el modelo matemático.*

Como ningún modelo es totalmente exacto ni ninguna técnica de validación está exenta de errores, si los resultados analizados son inaceptables puede ser necesario revisar el modelo.

### **1.3.6 Presentación de los resultados y recomendación de implementación.**

Esta etapa es considerada el paso final dentro de todo el proceso. La comunicación efectiva de los resultados de un estudio es esencial para el éxito del mismo. La utilidad del análisis será nula si las personas que toman las decisiones no aprecian totalmente su valor. Los decisores deben comprender completamente el enfoque del analista, las hipótesis y simplificaciones que se han hecho, y la lógica subyacente en la recomendación.

### **1.3.7 Conclusiones.**

Como conclusión general, se abordarán los siguientes temas:

- Comparación de la ruta obtenida por medio de la aplicación del modelo, con la ruta que posee la empresa actualmente.

En este punto, los temas más relevantes serán los siguientes:

- Porcentaje de disminución de costos.
- Disminución de tiempos.
- Puntos referentes a la propuesta de implementación de la ruta.

# CAPÍTULO 2

## LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE

*En este capítulo, se presentan los aspectos teóricos que abordará la realización de esta memoria, comenzando con la aclaración de conceptos como logística, y distribución y transporte. Posteriormente se comenzará con la descripción de los distintos modelos y/o metodologías que pueden ser utilizadas para la resolución del problema general, concluyendo con un breve resumen de todo lo comentado en el capítulo.*

## 2.1 LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN

Hoy en día el tema de la logística es un asunto tan importante que las empresas crean áreas específicas para su tratamiento, se ha desarrollado a través del tiempo y es en la actualidad un aspecto básico en la constante lucha por ser una empresa del primer mundo.

La logística tiene muchos significados, uno de ellos, es la encargada de la distribución eficiente de los productos de una determinada empresa con un menor costo y un excelente servicio al cliente.

La logística determina y coordina en forma óptima el producto correcto, el cliente correcto, el lugar correcto y el tiempo correcto. Si se asume que el rol del mercadeo es estimular la demanda, el rol de la logística será precisamente satisfacerla. Solamente a través de un detallado análisis de la demanda en términos de nivel, locación y tiempo, es posible determinar el punto de partida para el logro del resultado final de la actividad logística, atender dicha demanda en términos de costos y efectividad.

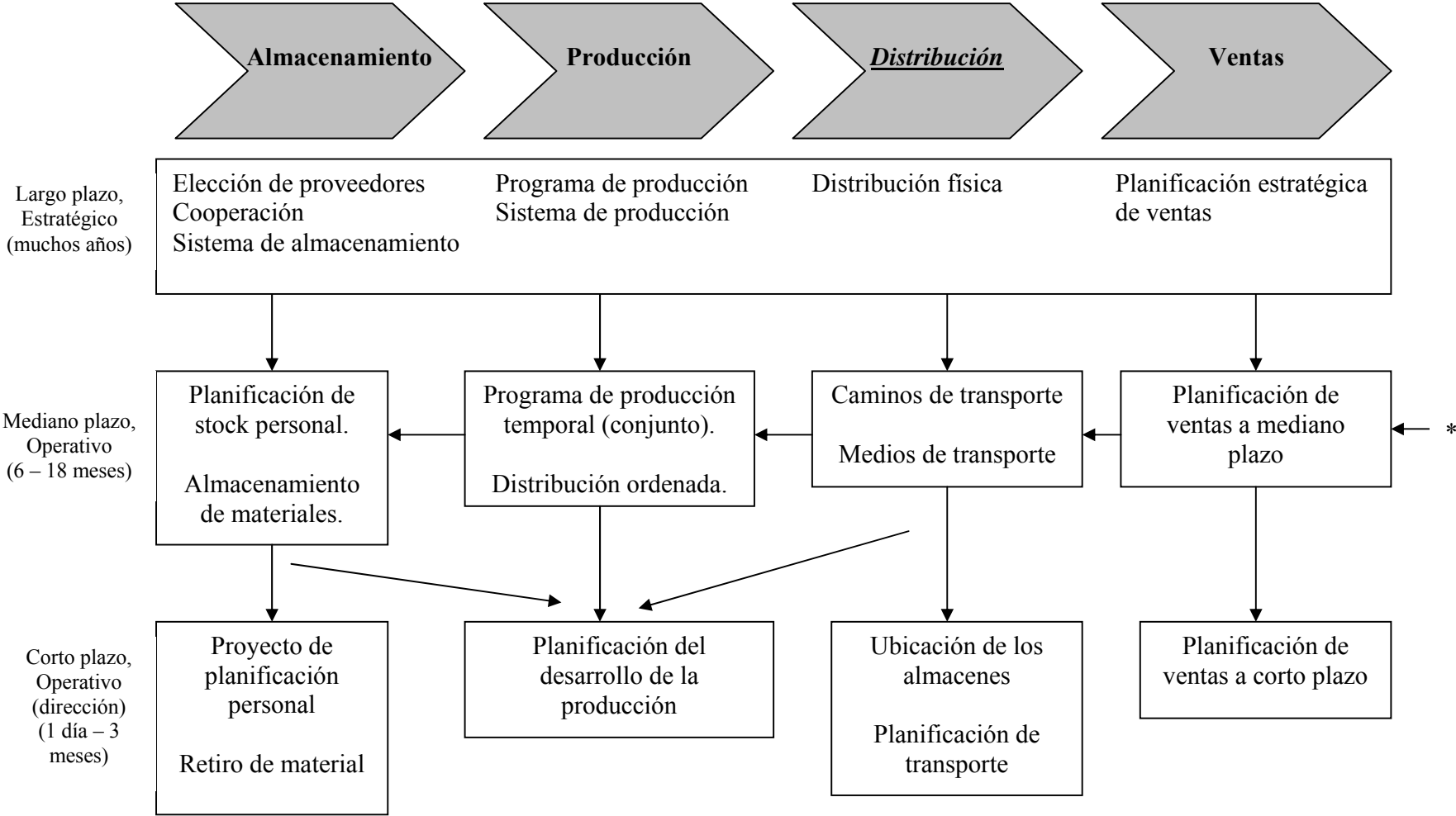
Las actividades claves son las siguientes:

- Servicio al cliente.
- *Transporte.*
- Gestión de Inventarios.
- Procesamiento de pedidos.

A consecuencia de lo anterior, la logística se puede definir como:

**Logística:** Proceso de proyectar, implementar y controlar un flujo de materia prima, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo de una forma eficiente y lo más económica posible con el propósito de cumplir con los requerimientos del cliente final.

**2.2 PLANIFICACIÓN DE PROBLEMAS DE CADENAS LOGÍSTICAS**



\* : flujo de información

## 2.3 DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE

El transporte es un elemento crucial en varias etapas de la cadena de abastecimiento. Desde el punto de vista de cada uno de los integrantes de la cadena, sus materias primas deben ser transportadas desde las bodegas o centros de distribución de sus proveedores a sus instalaciones. De ahí puede ser necesario transportarlas internamente, ya sea entre procesos sucesivos o entre bodegas ubicadas en distintas localidades. Por último los productos finales deben ser transportados a las instalaciones de los clientes, pasando muchas veces por centros de distribución. Por ello, el transporte puede influir apreciablemente en los gastos operacionales y de inversión de una empresa.

La complejidad de la distribución y de transporte radica en que, para cada una de las etapas descritas se tiene una situación distinta, dependiendo de las características del producto y de las empresas involucradas. El objetivo de la distribución es hacer llegar los productos en buenas condiciones, al lugar donde se necesitan, en el momento indicado, al menor costo posible y con un alto grado de confiabilidad.

### **Aspectos estratégicos:**

Las decisiones de localización impactan a la distribución y al transporte. Las políticas de inventario y de bodegas, incluyendo las políticas de reposición, de nivel de servicio y tamaño de las bodegas, determinan cuán frecuentemente es necesario transportar los productos y consecuentemente las cantidades que deben ser transportadas.

La forma en que se manejan los productos, incluyendo cómo se empaquetan, se etiquetan y se agrupan en pallets, containers, u otros sistemas de transporte, también influye en la distribución y transporte. Asimismo, si hay productos que requieren condiciones especiales, como una cadena de frío, o recipientes especiales para transportarlos a granel.

La planificación estratégica debe responder varias interrogantes relacionadas con la distribución y transporte. En primer lugar, las relacionadas a las localizaciones: ¿Cuántos centros de distribución, bodegas y puntos de trasbordo habrá, donde estarán localizados y qué capacidad tendrán? También la estructura general del sistema de transporte: ¿operará la empresa con flota propia, a través de terceros, o una mezcla de ambas? Si la flota es propia, ¿cuántos vehículos habrá y de qué tipo? ¿Qué labores de transporte se efectuarán con vehículos propios y cuáles a través de terceros? ¿Qué tipo de política y calendarios de despachos se utilizarán: frecuencias fijas de despacho o despacho por períodos? ¿Se

permitirán despachar vehículos con cargas incompletas para atender mejor a los clientes, a pesar del costo?

**Aspectos tácticos y operativos:**

Una vez tomadas las decisiones estratégicas, deben analizarse los aspectos táctico y operacionales del sistema de transporte. Esto incluye el ruteo óptimo, que es la optimización de las rutas a través de las cuales los vehículos servirán a los clientes. El objetivo del ruteo óptimo es minimizar los costos manteniendo los estándares de atención, como el tiempo de entrega, u optimizar estos estándares, dadas las condiciones de número de vehículos, costos máximos de transporte y otras restricciones del sistema.

Si la distribución se realiza en frecuencias fijas, es posible realizar una optimización de largo plazo de las rutas, hasta que cambien las condiciones estructurales. Por ejemplo, que aumente o disminuya la flota de vehículos o que se agreguen o eliminen clientes.

Por el contrario, si las entregas se realizan contra pedidos, las rutas deberán decidirse y optimizarse cada vez que se despache. Cuando la frecuencia de despacho es diaria, o menor, adquiere gran importancia contar con un sistema que permita generar automáticamente las rutas.

Para poder generar estas rutas óptimas, se debe contar con herramientas de investigación operativa, a fin de encontrar un modelo que se adecúe a las condiciones estructurales de la empresa que pueda ser elaborado y aplicado.

La siguiente etapa, trata de realizar una planificación del transporte con el fin de encontrar un modelo o metodología aplicable a una empresa específica.



## 2.4 PLANIFICACIÓN DE TRANSPORTE

La planificación de Transporte pasa por diferentes etapas, desde, la percepción de alguna falla o vacío en determinada área, la recolección de información relacionada con el área mencionada, el procesamiento de esa información, el diagnóstico de la situación actual, la identificación de los problemas, la concepción de probables soluciones, su análisis incluyendo prediseños y estudios de prefactibilidad, para al final efectuar las recomendaciones correspondientes junto con su plan de inversiones priorizado.

Durante toda esta serie de actividades, por lo general el planificador recurre a diversos tipos de instrumentos. Una de sus primeras preocupaciones es contar con la información dentro de un sistema de Base de Datos, que le permita en todo momento recurrir a ella para sacar información específica o general dependiendo de lo que busca. Consolidada la Base de Datos, la tarea que sigue es la de definir el método de análisis que seguirá el planificador durante todo su estudio, el cual dependiendo del tipo de información con que cuenta, de la habilidad y conocimientos del tema y, disponibilidad de herramientas de análisis, definirá si es que utilizará métodos y modelos manuales ó métodos que recurren al auxilio de modelos computarizados que una vez construidos le permitan reducir el tiempo de análisis.

## 2.5 MODELOS Y/O METODOLOGÍAS CANDIDATAS A UTILIZAR.

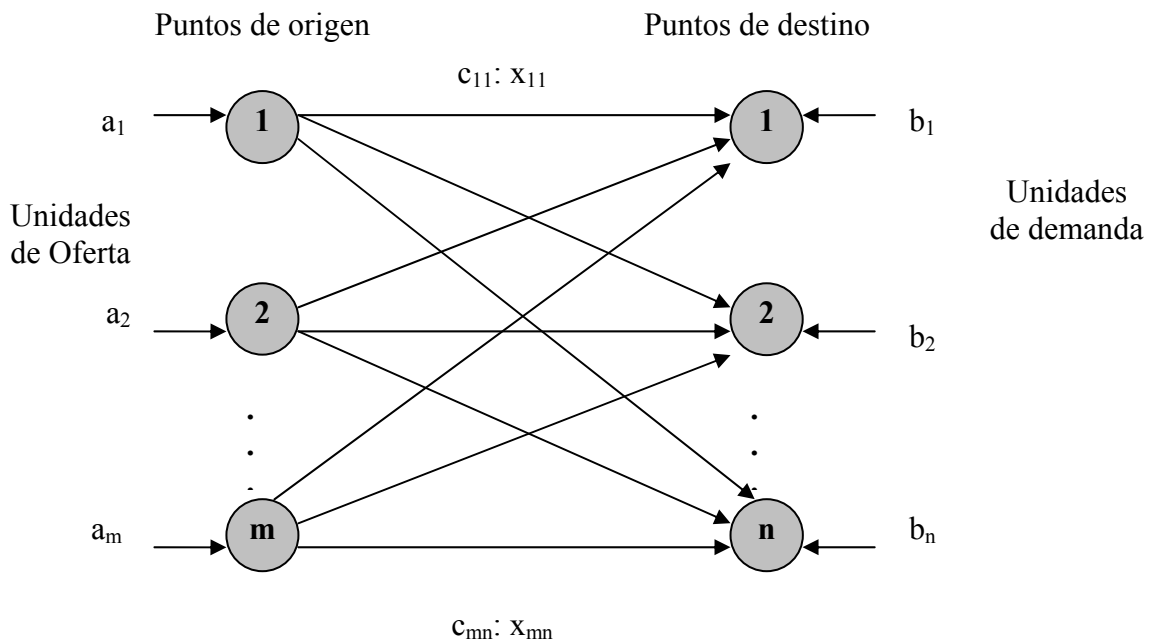
Existe una gran variedad de algoritmos que se pueden aplicar para resolver este problema de encontrar una ruta óptima. A continuación se realizará un estudio de los principales modelos candidatos a ser aplicados.

### 2.5.1 Clásico modelo de transporte.

El modelo de transporte trata la situación en la cual se envía un bien de los *puntos de origen*, a los *puntos de destino*. El objetivo es determinar las cantidades enviadas desde cada punto de origen hasta cada punto de destino, que minimicen el costo total del envío, al mismo tiempo que satisfagan tanto los límites de la oferta como los requerimientos de la demanda. El modelo supone que el costo de envío en una ruta determinada es directamente proporcional al número de unidades enviadas en esa ruta.

El problema general está representado por la siguiente red:

Figura 2.1: Modelo de transporte



Hay “ $m$ ” puntos de origen y “ $n$ ” puntos de destino, cada uno representado por un *nodo*. Los *arcos* (representado por las flechas) que unen los puntos de origen con los puntos de destino representan las rutas entre los puntos de origen y de destino. El arco  $(i,j)$  que une el punto de origen  $i$  con el punto de destino  $j$ , incluye dos fragmentos de información:

- El costo de transporte por unidad,  $c_{ij}$ .
- La cantidad enviada,  $x_{ij}$ .

La cantidad de la oferta en el punto de origen  $i$  es  $a_i$  y la cantidad de la demanda en el punto de destino  $j$  es  $b_j$ . El objetivo del modelo es determinar las  $x_{ij}$  desconocidas que minimizarán el costo total de transporte, mientras satisfacen todas las restricciones de la oferta y la demanda.

El modelo queda representado por una función objetivo, sujeta a restricciones. Con la función objetivo, se puede buscar una minimización de los costos de envío a las diversas ciudades y pueblos, así como una minimización de la cantidad de rutas posibles de implementar. Las restricciones a utilizar para el problema, se relacionan con la capacidad máxima de los camiones, que limitan las cantidades enviadas a los distintos puntos, los costos de operación, los kilómetros a cubrir, etc.

$$\text{Min (Max)} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

s/a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (i= 1, \dots, m)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad (j= 1, \dots, n)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j$$

### 2.5.2 Modelo de transporte con planificación de trasbordo.

En algunos problemas de transporte surgen junto a un conjunto de ofertas y demandas, almacenes intermedios, los que no tienen contacto directo, o sus costos favorables se utilizan como conexión directa.

Problemas de este tipo llegan a ser transformados en clásicos problemas de transporte, en la que cada lugar de trasbordo llega a ser interpretado como los lugares de demandas o como los lugares de ofertas .

El modelo de trasbordo reconoce que tal vez resulte más económico enviar a través de nodos intermedios o transitorios antes de llegar al punto de destino final.

$$V_{ab} = V_a \cup V_u \cup V_b$$

**Costos:**

$$C_{ij} = \infty \quad \forall i \in V_a, j \in V_b, \text{ para } (i,j) \notin \vec{E}$$

$$C_{hh} = 0 \quad \forall h \in V_u$$

$$C_{hl} = \infty \quad \forall h,l \in V_u, h \neq l, \text{ para } (h,l) \notin \vec{E}$$

**Capacidad:**

$$L := \sum_{i=1}^m a_i (= \sum_{j=1}^n b_j)$$

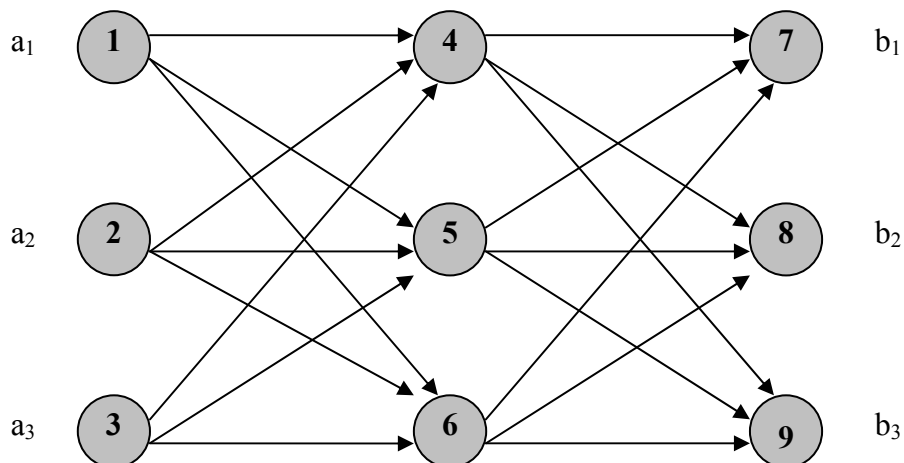
La capacidad de los lugares de trasbordo se eligen de tal forma que no presenten restricciones. Ejemplo:  $L = \sum a_i$

Observación: Las restricciones de capacidad inciden sobre todos los lugares de trasbordo.

Ejemplo:  $L := \max_{h \in V_u} \{\text{capacidad del lugar de trasbordo } h\}$

$a_h :=$  Capacidad del lugar de trasbordo  $h$

**Figura 2.2: Modelo de trasbordo**



$$\begin{aligned} & \text{Min (Max)} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \text{s/a:} & \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (i= 1, \dots, m) \\ & \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad (j= 1, \dots, n) \\ & x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \end{aligned}$$

Para poder utilizar el modelo de trasbordo, la empresa debe poseer bodegas entre los distintos puntos de origen y destino.

### 2.5.3 Modelos de redes

Definiciones básicas:

- **Red:** Una red consta de un conjunto de nodos unidos por arcos (o ramas). La notación para describir una red es (N,A), en donde N es el conjunto de nodos y A es el conjunto de arcos. Hay algún tipo de flujo asociado con cada red. El flujo en una red está limitado por la capacidad de sus arcos, que pueden ser finitos o infinitos. Se dice que un arco está *dirigido* u *orientado* si permite un flujo positivo en una dirección y un flujo cero en la dirección opuesta. Una *red dirigida* tiene todas las ramas dirigidas.
- **Ruta:** Secuencia de ramas distintas que unen a dos nodos, sin importar la dirección del flujo de cada rama. Una ruta forma un *lazo* o *ciclo* si conecta un nodo con sí mismo. Un *lazo dirigido* (circuito) es un círculo en el cual todas las ramas están orientadas en la misma dirección.
- **Red conectada:** Es una red en la cual cada dos nodos distintos están unidos por lo menos por una ruta. Un *árbol* es una red conectada que puede incluir sólo un subconjunto de todos los nodos de la red, mientras que un *árbol de expansión* une todos los nodos de la red, sin permitir ningún lazo.

### 2.5.3.1 Algoritmos de la ruta más corta.

A continuación se presentarán dos algoritmos de búsqueda de la ruta más corta, el algoritmo Dijkstra y el algoritmo Floyd.

El algoritmo de Dijkstra está diseñado para determinar la ruta más corta entre el nodo del punto de origen y cada uno de los otros nodos en la red. El algoritmo de Floyd es más general porque permite la determinación de la ruta más corta entre cualesquiera dos nodos en la red.

#### Procedimientos:

- *Algoritmo Dijkstra.*

Los cálculos del algoritmo avanzan de un nodo  $i$  a un nodo inmediatamente siguiente  $j$ , utilizando un procedimiento especial de clasificación. Se define  $u_i$  como la distancia más corta del nodo 1 del punto de origen al nodo  $i$  y se define  $d_{ij} (\geq 0)$  como la longitud del arco  $(i,j)$ . Entonces la clasificación para el nodo  $j$  se define como:

$$[u_{j,i}] = [u_i + d_{ij}], d_{ij} \geq 0$$

Las clasificaciones de nodos en el algoritmo son de dos tipos: *temporales* y *permanentes*. Una clasificación temporal puede ser reemplazada con otra clasificación si se puede encontrar una ruta más corta al mismo nodo. En el punto en el cual es evidente que no se puede encontrar una ruta mejor, el estado de la clasificación temporal cambia a permanente.

**Paso 1:** Clasifique el nodo del punto de origen (nodo 1) con la clasificación permanente  $[0, -]$ . Determinar  $i=1$ .

**Paso 2:**

- Calcule las clasificaciones *temporales*  $[u_j + d_{ij}, i]$  para cada nodo  $j$  al que se puede llegar desde el nodo  $i$ , siempre y cuando  $j$  no esté clasificado permanentemente. Si el nodo  $j$  ya está clasificado con  $[u_{j,k}]$  a través de otro nodo  $k$  y si  $u_i + d_{ij} < u_{j,k}$ , reemplace  $[u_{j,k}]$  con  $[u_i + d_{ij}, i]$ .
- Si todos los nodos tienen clasificaciones permanentes, deténgase. De lo contrario, seleccione la clasificación  $[u_{r,s}]$  con la distancia más corta ( $=u_r$ ) entre todas las clasificaciones *temporales* (rompa los empates arbitrariamente). Sea  $i=r$  y repita el paso 2.

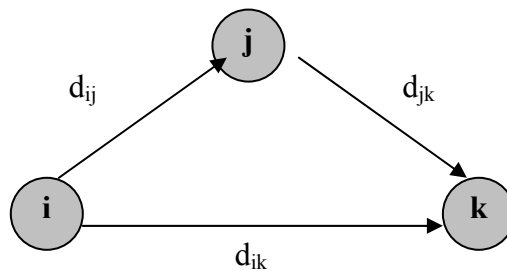
- *Algoritmo Floyd.*

El algoritmo representa una red de  $n$  nodos como una matriz cuadrada con  $n$  renglones y  $n$  columnas. La entrada  $(i,j)$  de la matriz da la distancia  $d_{ij}$  del nodo  $i$  al nodo  $j$ , que es finito si  $i$  está eslabonado directamente a  $j$ ; de lo contrario es infinito.

La idea de Floyd es directa. Dados tres nodos  $i, j$  y  $k$ , donde las distancias de conexión se muestran en los tres arcos, es más corto llegar a  $k$  desde  $i$  a través de  $j$  si

$$d_{ij} + d_{jk} < d_{ik}$$

**Figura 2.3: Idea del algoritmo Floyd**



En este caso, es óptimo reemplazar la ruta directa de  $i \rightarrow k$  con la ruta indirecta  $i \rightarrow j \rightarrow k$ . Este intercambio de triple operación se aplica sistemáticamente a la red, utilizando los siguientes pasos:

**Paso 1:** Defina la matriz de distancia inicial  $D_0$  y la matriz de secuencia del nodo  $S_0$ , como se da posteriormente. Los elementos diagonales están marcados con  $(-)$  para indicar que están bloqueados. Sea  $k=1$ .

Figura 2.4: **Paso 1 del algoritmo Floyd**

	1	2	...	j	...	n
1	—	$d_{12}$	...	$d_{1j}$	...	$d_{1n}$
2	$d_{21}$	—	...	$d_{2j}$	...	$d_{2n}$
...	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.
...	$d_{i1}$	$d_{i2}$	...	$d_{ij}$	...	$d_{in}$
...	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.
n	$d_{n1}$	$d_{n2}$	...	$d_{nj}$	...	—

$D_0 = i$

	1	2	...	j	...	n
1	—	2	...	j		n
2	1	—	...	j		n
...	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.
...	1	2		j		n
...	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.
n	1	2		j		—

$S_0 = i$

**Paso 2:** Defina el renglón k y la columna k como el renglón pivote y la columna pivote. Aplique la triple operación a cada elemento  $d_{ij}$  en  $D_{k-1}$ , para todas las i y j. Si se satisface la condición,

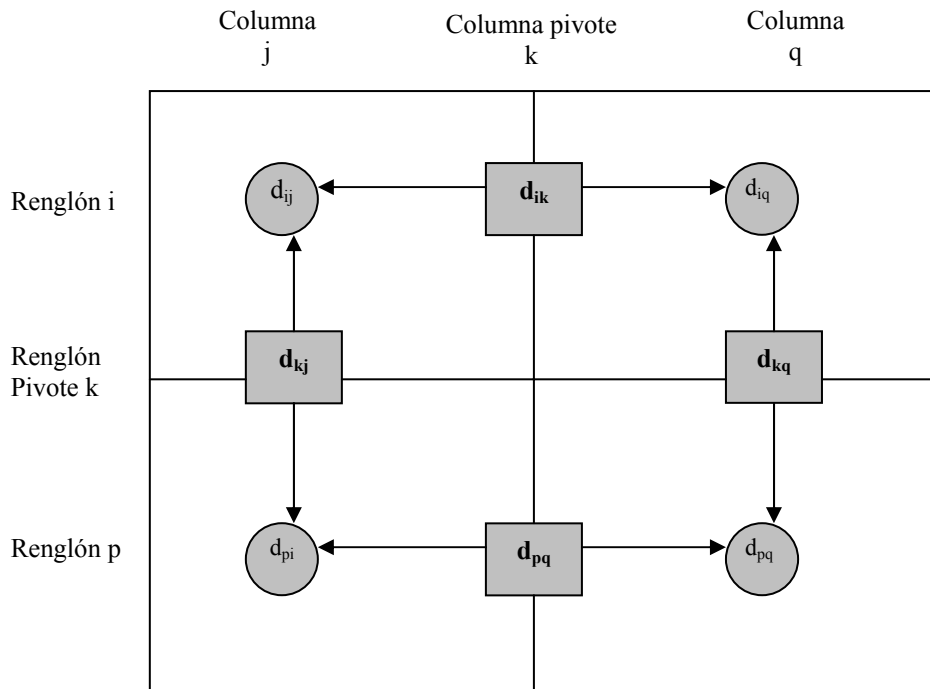
$$d_k + d_{kj} < d_{ij} \quad (i \neq k \text{ y } i \neq j)$$

Realizar los siguientes cambios:

- (a) Crear  $D_k$  reemplazando  $d_{ij}$  en  $D_{k-1}$  con  $d_{ik} + d_{kj}$ .
- (b) Crear  $S_k$  reemplazando  $s_{ij}$  en  $S_{k-1}$  con k. Determine  $k=k+1$  y repita el paso k.



Figura 2.5: Paso 2 del algoritmo Floyd



El renglón k y la columna k definen el renglón y la columna pivote actuales. El renglón i representa cualquiera de los renglones 1,2,...,y k-1 y el renglón p representan cualquiera de los renglones k+1, k+2,..., y n. De manera similar, la columna j representa cualquiera de las columnas 1,2,..., y k-1 y la columna q representan cualquiera de las columnas k+1, k+2,..., y n. La triple operación se puede aplicar como sigue. Si la suma de los elementos en el renglón pivote y en la columna pivote es menor que el elemento de la intersección asociada, entonces es óptimo reemplazar la distancia de la intersección por la suma de las distancias pivote.

Después de n pasos, se puede determinar la ruta más corta entre los nodos i y j desde las matrices  $D_n$  y  $S_n$ , utilizando las siguientes reglas:

1. Desde  $D_n$ ,  $d_{ij}$  da la distancia más corta entre los nodos i y j.
2. Desde  $S_n$ , determine el nodo intermedio  $k = s_{ij}$ , que da la ruta  $i \rightarrow k \rightarrow j$ . Si  $s_{ik} = k$  y  $s_{jk} = j$ , deténgase; todos los nodos intermedios de la ruta han sido encontrados. De lo contrario, repetir el procedimiento entre los nodos i y k y los nodos k y j.

En los algoritmos de la ruta más corta, se aprecia que la variable más importante, es la distancia existente entre los distintos puntos de origen y destino, por lo tanto, para la aplicación de esta metodología, se debe conocer los kilómetros existentes entre la empresa y cada punto de destino, así como entre cada uno de los clientes; además de debe utilizar el plano que indique la ubicación de cada uno de los clientes.

### 2.5.3.2 Modelo de flujo máximo.

#### Definiciones básicas:

- *Corte:* Define una serie de arcos cuya expresión de la red causa una interrupción completa del flujo entre los nodos del punto de origen y del vertedero.
- *Capacidad de corte:* Suma de las capacidades de los arcos asociados. Entre todos los cortes posibles en la red, el corte con la capacidad menor proporciona el flujo máximo en la red.

Sea  $\vec{G} = (V, \vec{E}, c, \lambda, \kappa)$  un flujo de grafo antisimétrico con flujo admisible  $\phi$ .  
(Antisimétrico significa sin restricción en general)

- **Algoritmo Busacker-Gowen (1961)**

(Determinación de flujo mínimo)

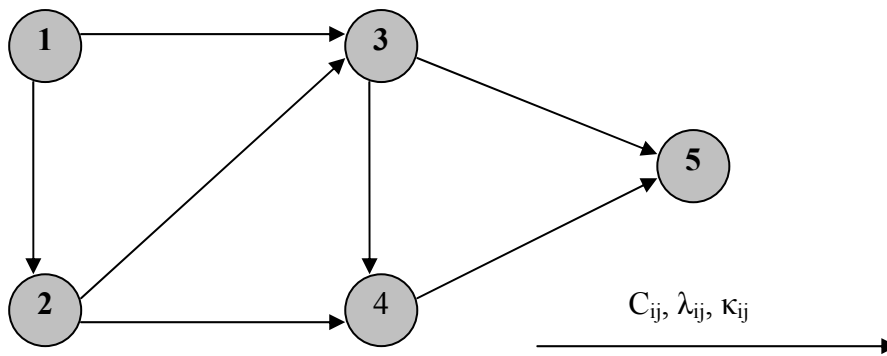
Pasos:

- $\vec{G} = (V, \vec{E}, c, \lambda, \kappa)$  con origen  $q$  y destino  $n$ , antisimétrico.
- Flujo comienzo  $\phi^0$  con Fuerza  $v(\phi^0)$  y costo  $c(\phi^0) = \sum c_{ij} \phi_{ij}^0, t=0$
- Construir su correspondiente grafo incremental  $H(\phi^t) = (V, E(\phi^t), d, \epsilon)$  de  $\vec{G}$ .
- Determinar en  $H(\phi^t)$  un camino de costo mínimo  $W$  desde  $q$  hasta  $s$ .  
Caso de no existir tal camino  $\rightarrow$  Flujo máximo encontrado  $\rightarrow$  Fin.  
Otro caso  $\rightarrow$  ir a paso 4.
- Calcular la capacidad de flujo sobre  $W$ :  $W: \epsilon(W) = \min \epsilon_{ij}$
- Determinar nuevo flujo.

$$\phi_{ij}^{t+1} = \begin{cases} \phi_{ij}^t + \epsilon & \text{caso } (i,j) \in E^+(\phi) \\ \phi_{ij}^t - \epsilon & \text{caso } (i,j) \in E^-(\phi) \end{cases}$$

- Nueva fuerza de flujo  $v(\theta^{t+1}) = v(\theta^t) + \varepsilon$   
 Nuevos costos generales  $c(\theta^{t+1}) = \sum c_{ij} \theta^{t+1}_{ij}$
- Colocar  $t := t+1 \rightarrow$  Volver a paso 2.

Figura 2.6 Algoritmo de Busacker Gowen



El algoritmo de Busacker Gowen, además de utilizar las distancias existente entre la empresa y sus clientes, utiliza los costos generales asociados al transporte entre cada uno de los puntos.

#### 2.5.4 Modelos de planificación de Tour

##### Problema Standard de planificación de tour.

- 1 Depósito ( $i=0$ ) con vehículos de igual tipo arbitrarios.
- Restricción de capacidad del vehículo  $\leq Q$
- Demanda de clientes  $i$ :  $q_i$  (no está permitido la partición de las entregas)
- Restricción de tiempo para el tiempo de circulación de la ruta  $\leq t_{\max}$
- Suposición: Tiempo de circulación  $t_{ij}$  proporcional a la distancia  $d_{ij}$

##### Objetivos:

- Minimizar el recorrido total
- Minimizar la cantidad de vehículos utilizados
- Minimizar los costos variables

**Aplicación:**

- Entregas de mercancías
- Recaudación de existencias
- Planificación de autobuses

**Generalidades:**

- Muchos pedidos pequeños, algunos de los pedidos no ocupan un vehículo.
- Todos los pedidos son muchos para ser abordados por un solo tour.

**Existe 2 tipos de problemas:**

- Ordenar a los clientes en un tour (problema de ordenamiento)
- Optimizar la sucesión de cliente en cada tour.

**Existen 2 planificaciones de situación distintas:**

- Planificación diaria: el día antes para el día siguiente.
  - Ejemplo: Entrega de mercancías a las fábricas.
- Tour estándar: Planificación en grandes distancias a causa de las demandas medias.  
Adaptación diaria.

**Datos utilizados en la planificación de tour**

- Distancia  $d_{ij}$ , tiempo de viaje  $t_{ij}$  ( $i, j = 0, 1, \dots, n, i \neq j$ )
  - Sobre coordenadas
  - Sobre redes de caminos
    - Calcular el camino más corto entre todos los lugares de los clientes necesarios, junto con planificación diaria de la extracción de las distancias entre los clientes actuales.
    - Problema: Grande ciudades – Regiones
      - Resumen de todos los clientes en un nodo; distancia general y tiempo de viaje entre 2 clientes al interior de los nodos.
      - Tiempo diario dependiente del tiempo de viaje.

- Datos de los pedidos
  - Junto a la planificación diaria conocida, pero a menudo tiempo crítico.
  - Junto a Tour estándar: ¿medios o máximos valores?
  - Ubicación de los clientes.
  - Conjunto de pedidos  $q_i$
  - Tiempos estándar  $s_i$
- Datos del parque de vehículos:
  - Capacidades máximas de cada vehículo.
  - Tipo de vehículos.

### **Procesos de planificación de Tour**

- Procesos exactos sólo para problemas estándar de tamaño pequeño ( $n=50$ ), sin significado práctico.
  - Proceso Branco & Bound
  - Optimización dinámica
  - Optimización lineal
- Procesos de solución heurísticos
  - Un nivel: Proceso Savings (Clark / Wright 1964)
  - Dos niveles: Algoritmo sep (Beltrami / Bodin 1974)

A continuación se presentan y detallan los algoritmos heurísticos candidatos a ser utilizados:

### **Proceso Savings**

- Especial para redes simétricas
- Muy bajo esfuerzo en cálculos
- Muy flexible para ampliación de los problemas
- Fundamentos de la mayoría de los paquetes de software

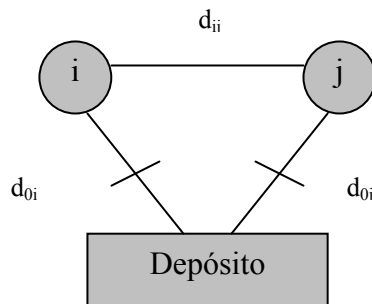
#### **Datos:**

- Distancia  $d_{ij}$ , Tiempo de circulación  $t_{ij}$  simétrico
- Tiempo estándar  $s_i$
- Demanda  $q_i$
- Capacidad de los vehículos  $Q$
- Máximo tiempo de circulación de una ruta  $t_{\max}$

**Comienzo:**

- Construir un Tour de péndulo  $T_i = [0, i, 0]$  para  $(i = 1, \dots, n)$  con
  - Largo  $d(T_i) = 2d_{0i}$
  - Duración  $t(T_i) = 2t_{0i} + s_i$
  - Peso  $q(T_i) = q_i$
- Cálculo Savings  $s_i = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$  ( $i < j$ )

**Figura 2.7: Proceso Savings**



- Clasificar si en forma descendiente en una lista L

**Iteración:**

- Estimar el máximo valor savings  $s_{i^* j^*}$  de L;
  - Caso de haber 2 savings iguales, escoger la que junto a los clientes, presente la distancia más pequeña el uno con el otro.
- En caso que se satisfagan las siguientes condiciones:
  - $i^*$  es nodo final de un tour  $T_1$ ,  $j^*$  es nodo final de un tour  $T_2$  ( $T_1 \neq T_2$ ).
  - La demanda total de todos los clientes en  $T_1$  y  $T_2$  es más pequeña o igual a la capacidad Q
  - El tiempo de circulación correspondiente al tour de la reunión de  $T_1$  y  $T_2$  es más pequeño o igual a  $t_{max}$ .
    - Conectar ambos tours  $T_1$  y  $T_2$  como una combinación de ellos  $T_1 * T_2$  con:
      - $q(T_1 * T_2) = q(T_1) + q(T_2)$
      - $d(T_1 * T_2) = d(T_1) + d(T_2) - s_{ij}$
      - $t(T_1 * T_2) = t(T_1) + t(T_2) - (t_{0i} + t_{0j} - t_{ij})$
- Eliminar  $s_{i^* j^*}$  de L

**Terminación:**

$$L = \emptyset$$

**Algoritmo Sweep**

**Localización del problema:** Conjunto de clientes repartidos en un mismo grupo.

**Sucesión del problema:** Estimar la sucesión, en la que el cliente llega a ser explorado.

**Datos:**

- Coordenadas  $(x_i, y_i)$  de la ubicación del cliente ( $i= 1, \dots, n$ )
- Depósito de origen  $(x_0, y_0) = (0, 0)$
- Coordenadas polares  $(r_i, \varphi_i)$  con
  - radio  $r_i = \sqrt{(x_i^2 + y_i^2)}$
  - ángulo polar  $\varphi_i = \arctan y_i/x_i$
- Clasificar a los clientes en forma ascendente según el ángulo polar.

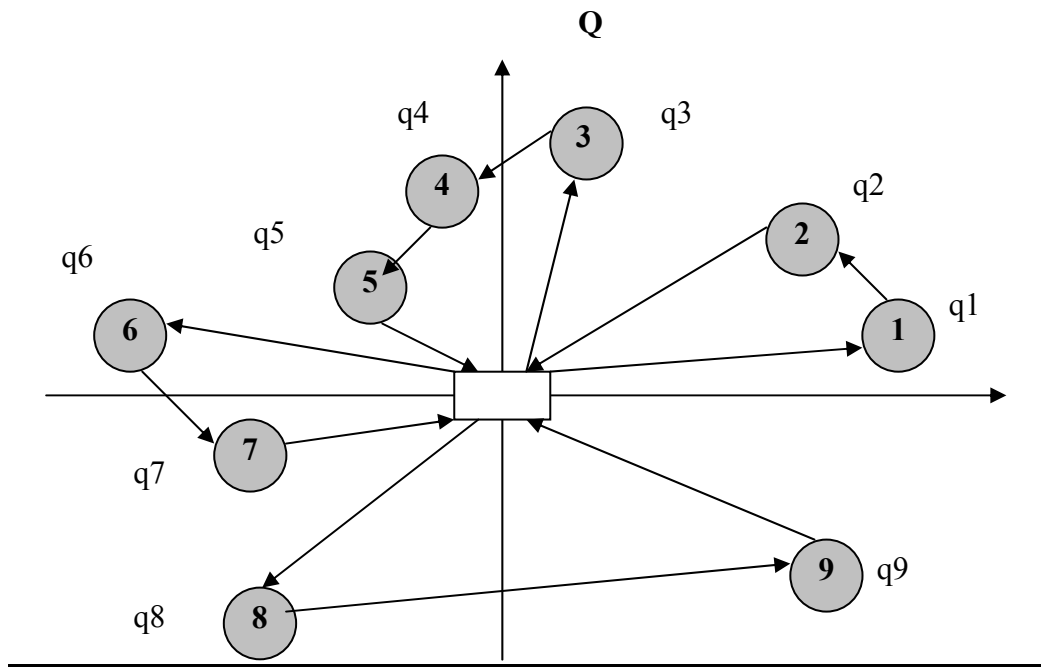
**Iteración:**  $i= 1, \dots, N$  (con ángulos polares ascendentes)

Construir  $i$  planes de Tour:

- Asociar a los clientes  $i, i+1, \dots, n, 1, \dots, i-1$  en únicos Tours. Cada Tour se extenderá por medio de sucesivos clientes, hasta el siguiente cliente que atraviese las restricciones de capacidad o tiempo.
- Estimar la ruta más corta para cada tour, con la ayuda del proceso r-opt. (Problema de sucesión).

**Resultado:** Se obtiene  $n$  distintos planes de Tour.

Figura 2.8: Algoritmo Sweep





## 2.6 CUADRO RESUMEN

A continuación se presenta el cuadro resumen que recopila toda la información aportada en el capítulo:

**Cuadro 2.1: Resumen aspectos teóricos**

<b>Modelo/Metodología</b>	<b>Variables a considerar</b>
<i>Modelo clásico de transporte</i>	<p><i>Función objetivo:</i> Costos de envío. Cantidad de rutas. Distancia.</p> <p><i>Restricciones:</i> Capacidad. Costos de operación Demanda Oferta</p>
<i>Modelo de transbordo</i>	<p><i>Función objetivo:</i> Costos de envío. Cantidad de rutas.</p> <p><i>Restricciones:</i> Capacidad. Costos de operación Distancia. Demanda Oferta</p> <p>Se considera la cantidad de bodegas que tiene la empresa.</p>
<i>Modelo de redes</i>	
Algoritmos de la ruta más corta:	
Algoritmo de Dijkstra	Distancia de los clientes Ubicación de los clientes
Algoritmo de Floyd	
Algoritmos de flujo máximo:	
Algoritmo Busacker Gowen	Distancia de los clientes Ubicación de los clientes Costos de transporte
<i>Modelo de planificación de Tour</i>	
Proceso Savings	Distancia Tiempo de circulación Demanda Capacidad Máximo tiempo de circulación de una ruta
Algoritmo Sweep	Ubicación de los clientes (coordenadas). Depósito de origen. Coordenadas polares.

Fuente: Elaboración propia

# CAPÍTULO 3

## DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

*En el siguiente capítulo se presentan los antecedentes relevantes de la empresa, y se describen los procesos de su sistema de carga y distribución. A continuación, se realiza un análisis de las rutas vigentes, realizando un diagnóstico de cada una de ellas, terminando con la presentación de los costos actuales de operación de dichas rutas. A través de este diagnóstico, se pretende detectar los problemas que actualmente presenta la empresa en sus rutas.*

### 3.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA



La empresa Maspan Ltda., ubicada en la Ruta 5 sur km 185, Curicó, se dedica a la distribución de masas dulces y saladas congeladas, precocidas y prefermentadas.

Maspan Ltda. ofrece sus productos desde hace tres años en el mercado regional. En 1.500m<sup>2</sup> de instalaciones alberga silos, salas de elaboración, bodegas y oficinas. Una moderna construcción en panelería de acero pintada, sistema de aire acondicionado, equipos de elaboración de última generación, así como sistemas de capacitación del personal y control de procesos, aseguran el alto estándar de calidad de sus productos.

#### 3.1.1 **Productos:**

Los productos que la empresa distribuye son los siguientes:

- Panes corrientes



Los panes corrientes están diseñados para asegurar alternativas de productos de mayor consumo para la venta, eventos y centros de alimentación.

Entre las variedades se tiene:

- Marraquetas
- París
- Hallulla
- Coliza

- Salados



Los salados están diseñados especialmente para Restaurantes, eventos y comidas en general.

Entre las variedades se tiene:

- Caña de jamón
- Pizzota
- Empanada de marisco
- Empanada de queso
- Empanada jamón – queso
- Empanada de carne
- Empanada carne cóctel
- Chaparra
- Croissant
- Sopaipilla para freír

- Bollería dulce



La bollería dulce está diseñada para asegurar una gran variedad de productos para la venta, así como para eventos y centros de alimentación.

Entre las variedades se tiene :

- Masa Danesa cuadrada
- Masa Danesa triángulo
- Conejo
- Caracol
- Dona
- Berlín para freír
- Berlín
- Trenza
- Playera

- Caña Crema
- Caña Chocolate
- Mini Gourmet



Los mini Gourmet están diseñados para la atención a Restaurantes y eventos, así como comidas en general.

Entre las variedades se tiene :

- Mini Rosita
- Mini Baguette
- Mini Kaiser
- Mini Ajo
- Mini Amasado
- Mini Integral
- Mini Italiano

- Panes especiales



Los panes especiales están diseñados para asegurar una gran variedad en productos para la venta, así como para eventos y centros de alimentación.

Entre las variedades se tiene :

- Bocado de Dama
- Coliza Mantequilla
- Mini Anís
- Mini Hoja
- Hallulla Mantequilla
- Rosita
- Dobladas
- Mini Dulce
- Hallulla sin sal
- Pan Toscazo

- Italiano
- Pan de Avena
- Pan campo integral
- Cachito
- Lomo
- Amasado
- Kaiser
- Hotdog
- Baguette
- Hallulla integral

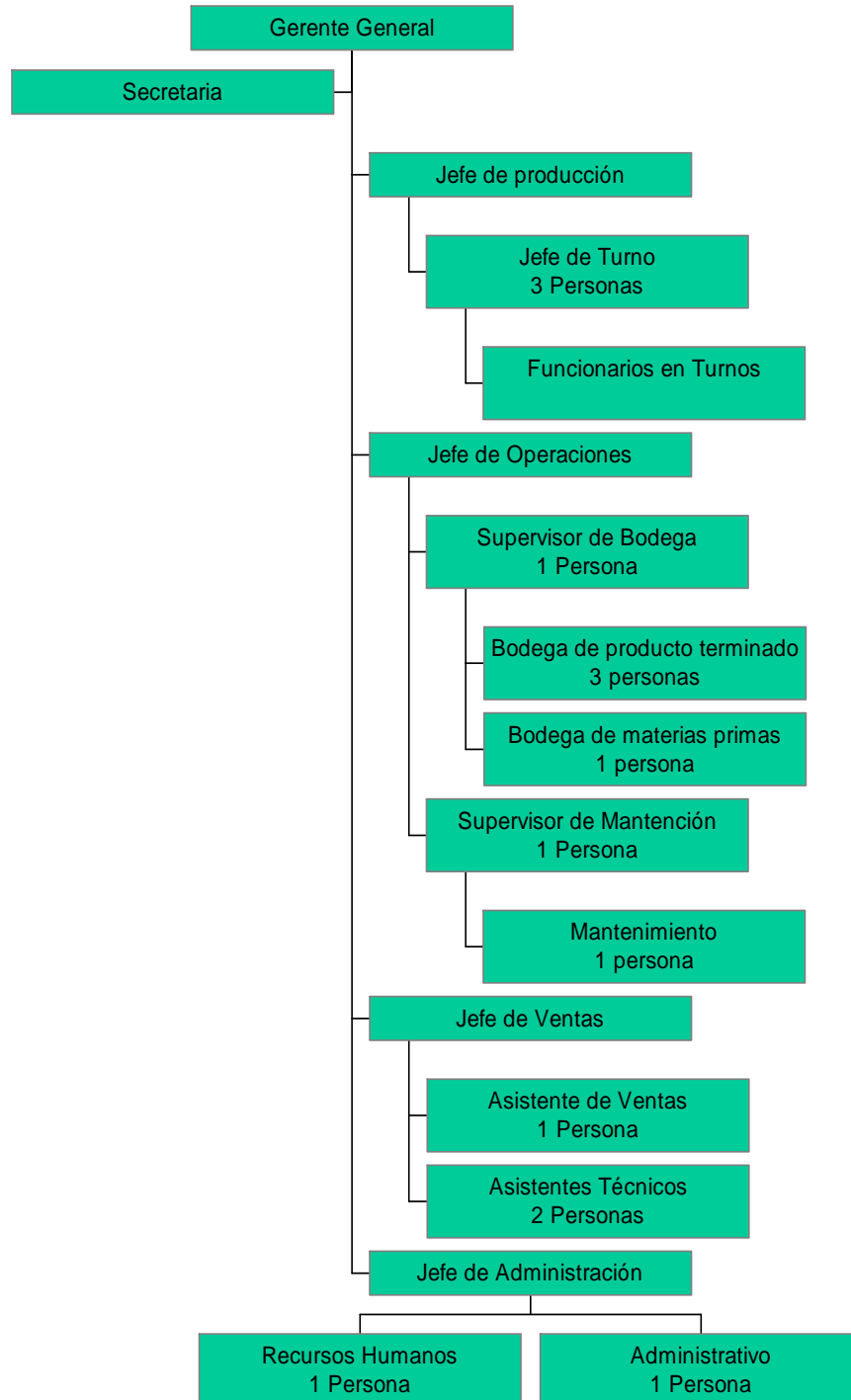
Todas estas variedades son de elaboración instantánea directo del congelador al horno.

### **3.1.2 Calidad y desarrollo:**

Bajo la dirección de un Comité de Calidad, todos los empleados de Maspan Ltda. trabajan en el programa de calidad. Este asegura la cadena de Calidad, desde la certificación de los proveedores y materias primas, hasta la atención de los clientes finales.

### 3.1.3 Organigrama de la empresa:

Figura 3.1: Organigrama de la empresa



## 3.2 **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN**

En esta sección del capítulo 3, se describirán los procesos de pedido, despacho y recepción, los cuales se presentan a continuación. Cabe destacar que la empresa no cuenta con todos estos procesos formalizados, sólo el proceso de pedido fue facilitado por la empresa.

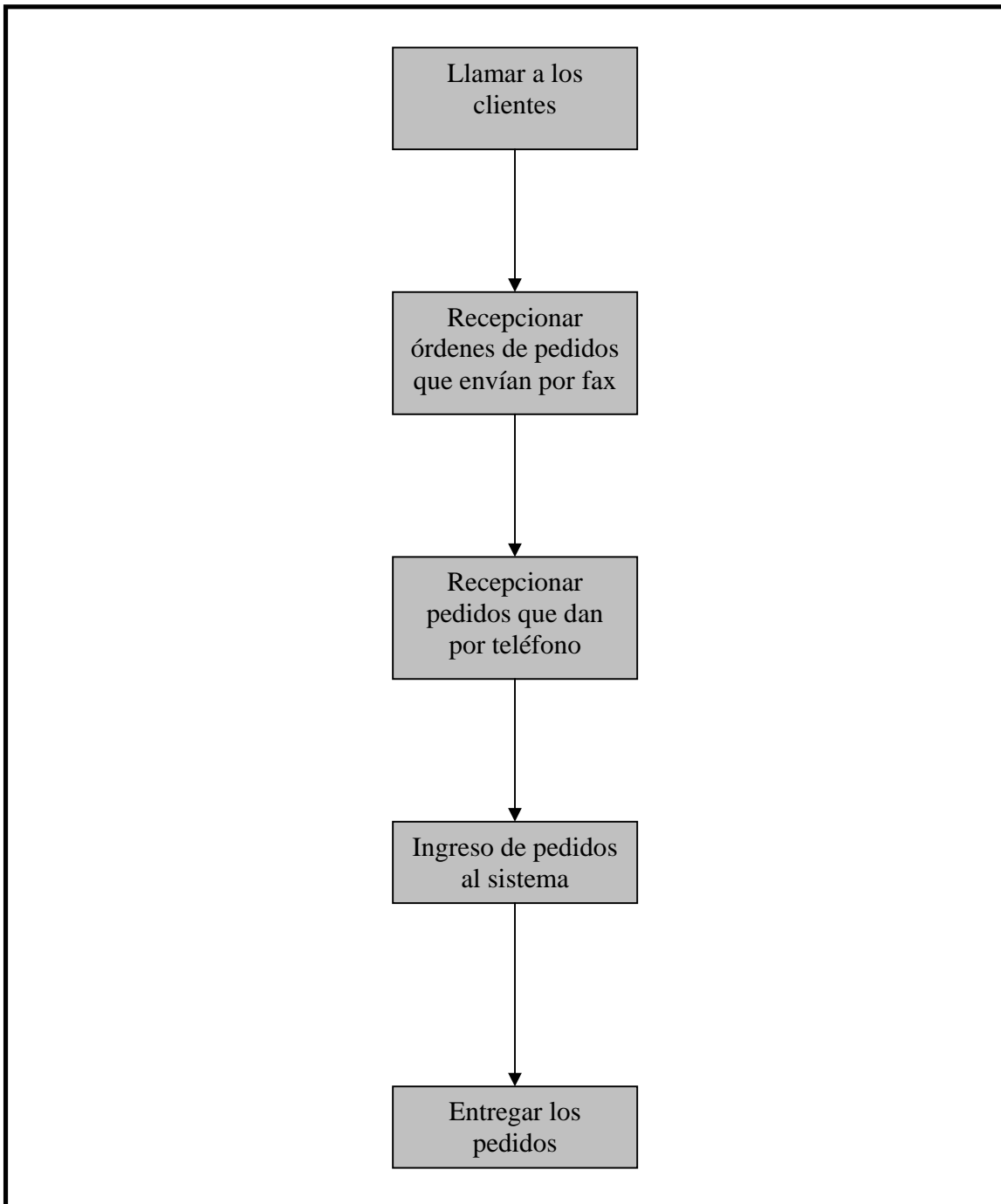
### 3.2.1 Proceso de pedido

<b>Nombre Proceso</b>	:	Proceso de pedido
<b>Responsable</b>	:	Vendedor
<b>Área afectada</b>	:	Adquisiciones

El proceso de recepción de las órdenes de pedido se esquematiza a continuación:



**Diagrama 3.1: Proceso de pedido**



Fuente: Empresa Maspan Ltda.

**1. Llamar a los clientes**

Existe una tabla de números de teléfonos de los clientes.

**2. Recepcionar órdenes de pedido**

Los clientes piden tono de fax para enviar las órdenes de pedidos. También se reciben las órdenes de pedido vía E-mail.

**3. Recepcionar pedidos por teléfono**

Se anota en un cuaderno de pedidos el nombre del cliente, quién lo dictó, y las cantidades y descripción del producto.

**4. Ingreso de pedido al sistema**

Cuando se rescatan los pedidos (alrededor de las 11:00hrs.), estos se ingresan al sistema.

- Módulo de ventas
- Ingreso de datos
- Nota de pedido
- Clave del cliente
- Fecha de despacho
- Solicitado por
- Cuenta de cargo
- Grabar
- Digitar las cantidades y el producto

**5. Entregar los pedidos**

Al terminar el proceso de pedidos, estos se juntan según la ruta y se entregan al bodeguero.

***Frecuencia de pedidos***

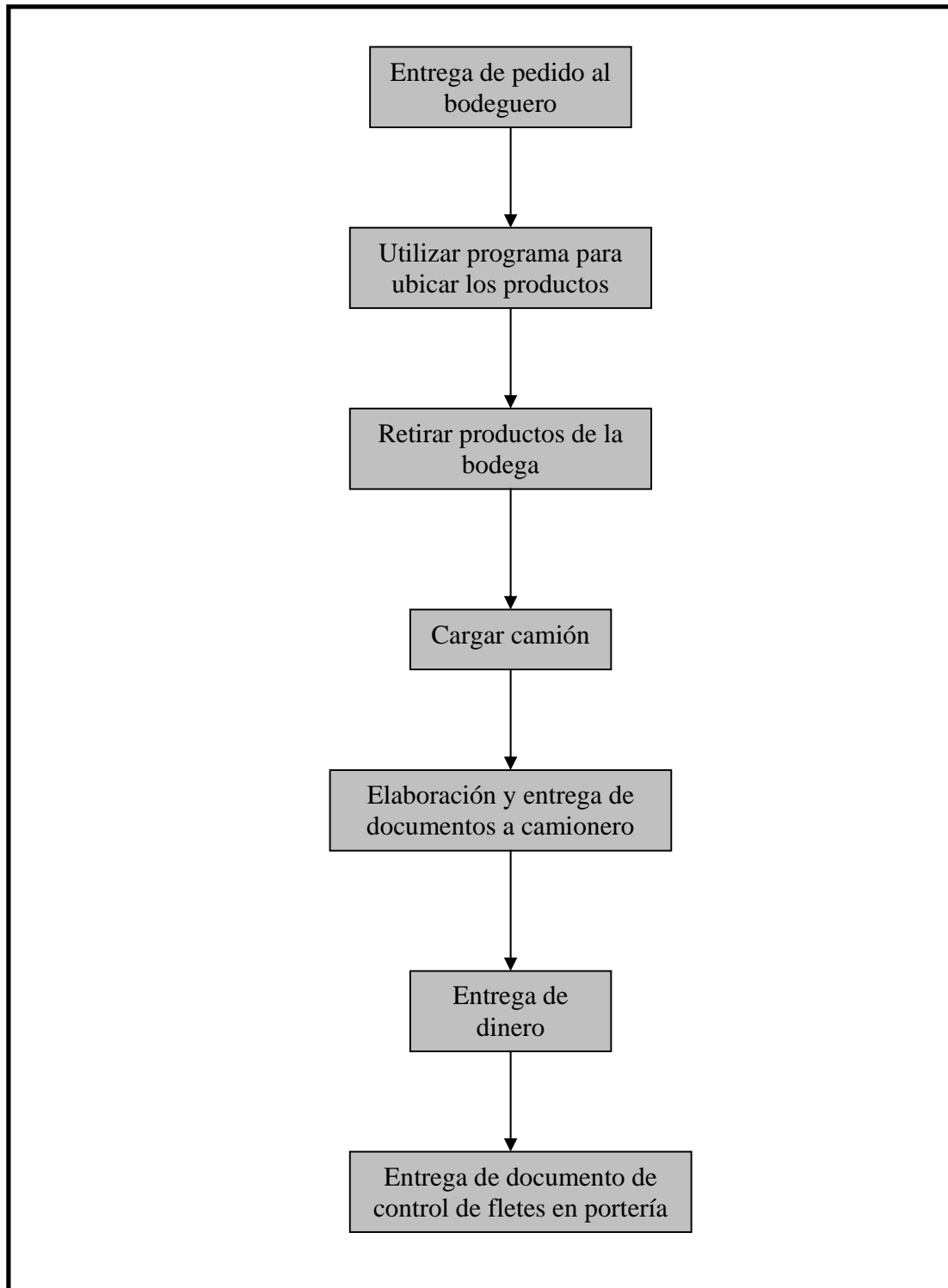
Los pedidos realizados por los clientes, se efectúan cada 2 días aproximadamente, teniendo una frecuencia mínima de 1 vez por semana.

### 3.2.2 Proceso de despacho

<b>Nombre Proceso</b>	:	Proceso de despacho
<b>Responsable</b>	:	Bodeguero y camionero
<b>Áreas afectadas</b>	:	Bodega y Despacho

A continuación se presenta el proceso de recepción esquematizado:

**Diagrama 3.2: Proceso de despacho**



Fuente: Elaboración propia

**1. Entrega de pedido al bodeguero**

Luego de armado el pedido por ruta, éste se entrega al encargado de bodega, el cual se encarga de ubicar los productos.

**2. Utilizar programa para ubicar los productos**

Para ubicar los productos, el bodeguero acude a un programa en Excel donde están registrados todos los productos con sus respectivas características:

- Nombre producto
- Ubicación física en la bodega
- Cantidad existente en esa ubicación
- Fecha de elaboración

La fecha de elaboración es un dato muy importante, ya que se deben despachar primero el producto solicitado que tenga la fecha más antigua de elaboración.

El bodeguero ingresa el nombre del producto que requiere y de inmediato el programa indica la ubicación del que presenta la fecha de elaboración más antigua.

**3. Retirar productos de bodega**

El bodeguero después de armar los pedidos a través del programa, se dirige a retirarlos de la bodega.

**4. Cargar camión**

El camionero junto con el bodeguero, se encargan de cargar los camiones manualmente o con la ayuda de una traspaleta (cuando la ruta a seguir contempla la VI y VII región), o cargar a través de una grúa con la ayuda del encargado de bodega del 2º turno (cuando la ruta contempla la IX región).

**5. Elaboración y entrega de documentos al camionero**

Una vez cargado el camión, se elabora la factura por cada cliente, proceso que dura entre 20 y 30 minutos, y se entregan al camionero. También se entrega el documento de movimiento interno de bandejas para controlar la devolución de las bandejas descargadas por parte de los clientes externos.

**6. Entrega de dinero**

El chofer, retira el dinero correspondiente al viático de comida.

## 7. Entrega de documento de control de fletes en portería

Por último, el chofer entrega en portería, el documento de Control de Fletes, donde indica, entre otras cosas, la fecha y el horario de salida.

### *Frecuencia de despacho*

El despacho se realiza de Lunes a Sábado, todas las mañanas a las 7:30hrs. y 8:30hrs. a excepción del pedido que va a Temuco, el cual se despacha sólo 2 veces a la semana, los días Lunes y Jueves a alrededor de las 17:00 hrs.

### 3.2.3 Características del transporte utilizado

La empresa contrata los servicios de transporte a Empresas *Transtoral*. Estos camiones son los siguientes:

- *Chevrolet Isuzu*: Patente SZ 8134. Tiene la capacidad de transporte de 5.000kg, así como una capacidad de transportar 230 bandejas cargadas y 240 bandejas descargadas. Los servicios de este camión, son contratados a empresas de transporte *Sarmiento*, el cual forma parte de empresas *Transtoral*.
- *Mercedes Benz*: Patente UV 8390. Tiene una capacidad de transporte 12.000kg, así como una capacidad de transportar alrededor de 600 bandejas. Los servicios de este camión, son contratados a empresas de transporte *María Angélica*, la cual también pertenece a empresas *Transtoral*.
- *Iveco*: Además, la empresa contrata los servicios de un camión externo a la empresa *Transbravo*, el cual se encarga de realizar la distribución hacia Temuco. Este camión tiene una capacidad de transportar 25.000kg o alrededor de 1.000 bandejas.



Todos estos camiones poseen un sistema de refrigeración (cámara de frío), el cual es programado para conservar los productos congelados. Los productos mientras son transportados, se mantienen a una temperatura entre los -8°C y -15°C aproximadamente, y cada 2 horas se produce un deshielo durante 10 minutos.

Para efectos de simplificación, de aquí en adelante, se denominará:

- **Camión N°1:** Camión Chevrolet Isuzu
- **Camión N°2:** Camión Mercedes Benz
- **Camión N°3:** Camión Iveco

#### **3.2.4 Bodega:**

La empresa posee una bodega de productos terminados que forma parte de su infraestructura. Esta bodega de 210m<sup>2</sup> (21m x 10m) se mantiene a una temperatura de -20°C para conservar los productos, los cuales se encuentran en bandejas, así como en pallets o cajas. Las bandejas se ubican una encima de la otra (8 bandejas), y esta ubicación se designa a través de un número. También la empresa posee una bodega para almacenar los productos precocidos y los moldes, la cual se mantiene a una temperatura de 18°C.

Existe también una bodega en la ciudad de Temuco, hacia donde se despachan productos terminados. El camión que transporta estos productos, lo realiza por medio de pallets. Los otros productos se transportan por medio de bandejas.

A continuación se presenta el formato de la **bodega de producto terminado**.





**Designaciones:**

**M:** Marraqueta

**P:** Prepizzas

**E:** Empanadas

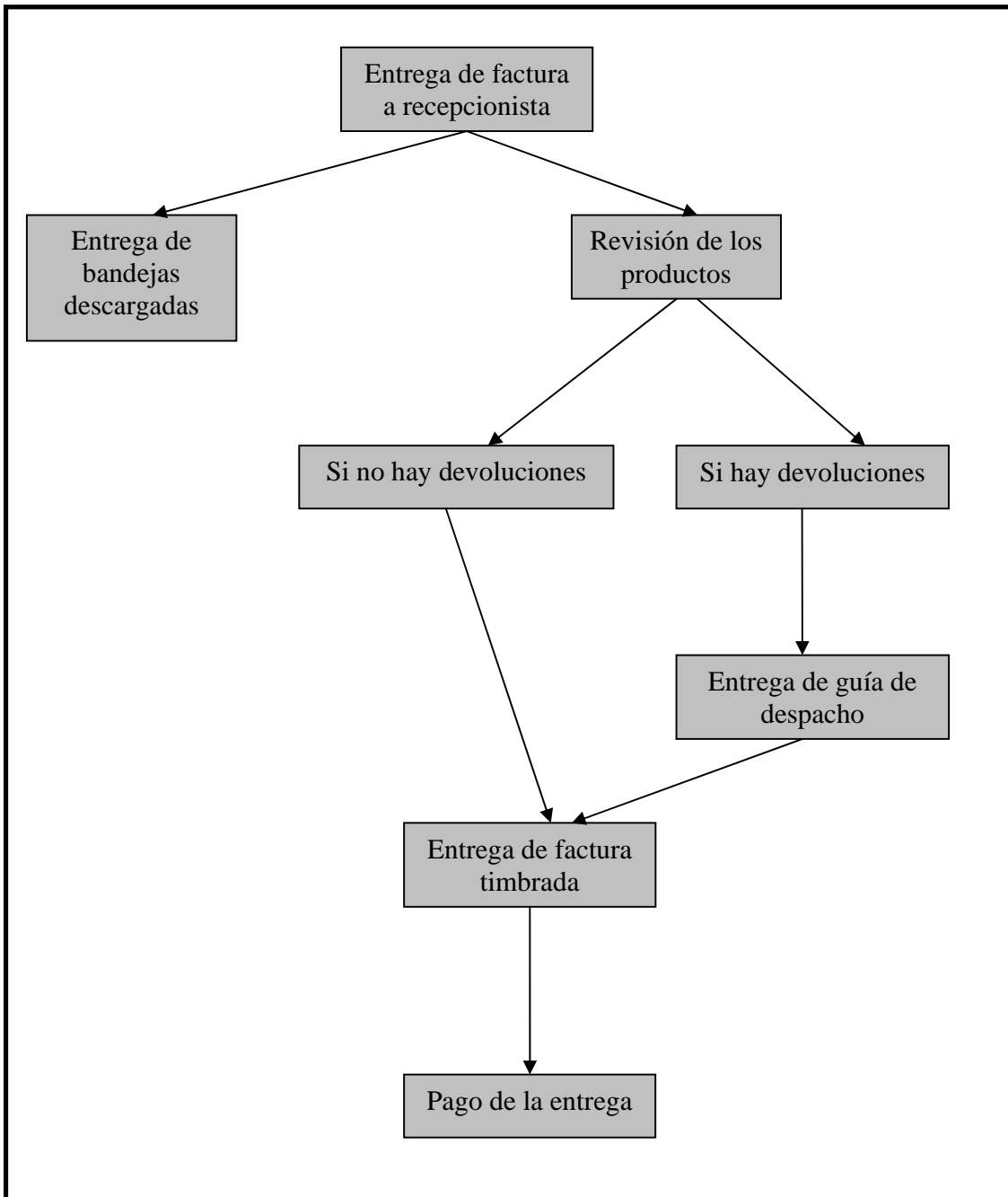
Las hallullas y marraquetas se encuentran en pallets, la empanadas en cajas y los demás productos en bandejas. En cada uno de los números, se encuentran ubicadas 8 bandejas.

### 3.2.5 Proceso de recepción

<b>Nombre Proceso</b>	:	Proceso de recepción
<b>Responsable</b>	:	Camionero y recepcionista
<b>Área afectada</b>	:	Bodega

El proceso de recepción de los productos se esquematiza a continuación:

Diagrama 3.3: Proceso de recepción



Fuente: Elaboración propia

### **1. Entrega de factura a recepcionista**

Al momento de llegar a la bodega del local, el camionero entrega la factura al recepcionista, donde aparece en detalle los productos que se están entregando, la cantidad de ellos y el valor.

### **2. Entrega de bandejas descargadas**

Luego de descargados los productos, el cliente devuelve las bandejas entregadas anteriormente, las cuales se encuentran descargadas. El camionero debe anotar, en el documento de movimiento interno de bandejas, la cantidad de bandejas devueltas por cada cliente (en caso que el cliente sea externo)

### **3. Revisión de productos**

Los productos se revisan bandeja por bandeja y se pesan, para verificar que estos correspondan a los solicitados y a las cantidades solicitadas, y para verificar que se encuentren en buen estado.

### **4. Elaboración y entrega de guía de despacho**

Si existen productos que no se encuentran en buenas condiciones ( masas quebradas o vencidas) o no poseen fecha de elaboración y vencimiento, se elabora una guía de despacho para la devolución de éstos productos, la cual es entregada al camionero.

En la guía de despacho, se detalla la cantidad de productos en devolución, el detalle, precio unitario y total.

También se elabora esta guía si productos que han sido entregados anteriormente se han vencido.

### **5. Entrega de factura timbrada**

Una vez revisados los productos, el recepcionista timbra la factura y se la entrega al camionero.

### **6. Pago de la entrega**

Por último se realiza el pago del pedido, ya sea en cheque o en efectivo. Este pago se puede realizar 1 vez por semana o cada vez que se realice la entrega.

### **3.3 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE CARGA**

#### **3.3.1 Descripción general**

Se retira la mercadería de la bodega en pallets o bandejas. Las bandejas las cargan “a pulso” en el camión que sigue la ruta que comprende la VI y VII región. El camión que se dirige a la ciudad de Temuco, se carga con pallets, a través de una grúa.

Antes de cargar el camión, se revisan todos los productos clasificados y ordenados por clientes, y se registran estos productos y las cantidades que salen de bodega. Este registro se realiza por cliente de acuerdo a su ubicación.

Como se mencionó anteriormente, se trabaja con 3 camiones de 5.000kg, 12.000kg y 25.000kg (Camión N°1, N°2 y N°3 respectivamente). El camión N°3 transporta a Temuco los productos terminados a través de pallets. El camión tiene la capacidad de transportar 24 pallets, cada uno con 35 bandejas. El camión N°1 y N°2 se utiliza para transportar los productos a lugares más cercanos y lo realiza a través de bandejas, las cuales se ubican en el piso del camión (se ubican 7 bandejas una arriba de la otra).

Para cargar y descargar los camiones, se utiliza el sistema LIFO (El último pallets o bandeja que se carga es el primero que se descarga).

#### **3.3.2 Unidad de carga utilizada:**

Se utiliza la *bandeja* como unidad de carga. Esta bandeja es de material plástico de medidas 30cm x 50cm.

Cabe destacar que los productos se piden por kilogramos, unidades o bolsas.

#### **3.3.3 Tipos de carga y descarga**

Existen 2 tipos de carga:

- *Manual:*

Este tipo de carga se utiliza cuando la ruta a seguir es cercana (VI y VII región). Por lo general, este es el sistema utilizado. Sólo un bodeguero se encarga de cargar el camión con la ayuda del camionero.

- *A través de una Grúa:*

Este tipo de carga se utiliza cuando el camión se dirige a Temuco, ya que se transporta una mayor cantidad de productos. Dos bodegueros son los encargados de cargar el camión, es por eso que este proceso se realiza todos los días Lunes y Jueves a partir de las 14:30hrs, ya que a esta hora se produce el cambio de turno y pueden estar presentes los 2 encargados de bodega.

Existen también 2 formas de descargar el camión:

- *Manual:*

El camionero es el encargado de descargar las bandejas en forma manual con la ayuda de una traspaleta, y además es el encargado de dejar los productos en la bodega del local.

- *A través de una grúa:*

Cuando se transportan pallets, estos son descargados por medio de grúas debido a su tamaño, luego se ubican en la bodega con la ayuda de una traspaleta.

### 3.3.4 Elementos utilizados

Los elementos que se utilizan en el proceso de carga y descarga son los siguientes:

- *Pallets*

Los pallets son utilizados para almacenar algunos productos en bodega y para transportar los productos que van dirigidos a Temuco. Tienen la capacidad de almacenar 35 bandejas cada uno.

- *Bandejas*

Las bandejas utilizadas son plásticas, de medidas 30cm x 50cm y peso 1,9kg, y son la principal unidad de carga considerada. Los productos se encuentran almacenados en la bodega en bandejas y a su vez se utilizan para transportar los productos, ya sea por medio de pallets o “a piso” (como la mayoría de las veces).

### 3.3.5 Maquinaria utilizada

Existe muy poca maquinaria y elementos que se utiliza en el proceso de carga y descarga de los camiones, entre ellas se pueden mencionar:

- *Grúa* (Capacidad: 2.000kg )

Se utiliza para la carga de los camiones que van dirigidos a Temuco. Se encarga de trasladar los pallets hacia el camión.



- *Traspaleta* (Capacidad: 2.500kg )

La empresa cuenta con 2 traspaletas cuya función es trasladar las bandejas y los pallets desde la bodega hasta el patio de carga. También se utilizan para ordenar los pallets al interior del camión.



### **3.3.6 Ubicación de la carga al interior del camión**

Dependiendo de la ruta a seguir, los camiones utilizan una forma distinta de ubicar los productos al interior de ellos. El camión que se dirige a Temuco (camión N°3), se carga con pallets, donde los productos se encuentran en bandejas. Para las rutas más cercanas, se carga el camión sólo con bandejas o cajas en el piso.

### **3.3.7 Tiempos de carga y descarga**

Los tiempos de carga de los camiones son de aproximadamente 40 minutos. El primer camión carga los productos a las 6:30 de la mañana y comienza la repartición a las 7:30hrs. El segundo camión comienza a cargar a las 7:30 de la mañana y comienza con el despacho a las 8:30hrs aproximadamente. El camión que se dirige a Temuco se carga los días Lunes y Jueves a las 14:30hrs hasta las 15:30hrs.

Los tiempos de descarga varían dependiendo de la cantidad de bandejas y/o kilogramos a descargar, y de si el chofer cuenta con la ayuda de un pioneta.



### 3.4 ANÁLISIS DE LA RUTA ACTUAL

#### 3.4.1 Clientes:

La empresa Maspan, posee clientes considerados como internos o externos. Los *clientes internos* son aquellos que pertenecen al holding del cual forma parte la empresa Maspan. Los *clientes externos*, son aquellos que sólo mantienen una relación comercial con la empresa y en general son pequeños supermercados.

La empresa cuenta con clientes externos e internos en la VI, VII y IX Región.

- *VI Región:*

Posee 1 cliente interno y 9 clientes externos

- *VII Región:*

Posee la mayor cantidad de clientes: los clientes internos son 16, y los clientes externos son 11. Por separado, se consideran los clientes de la costa de la región , los cuales son 4.

- *IX Región*

Posee 11 clientes internos.

Los clientes que se consideran son los llamados *clientes frecuentes*. La empresa también cuenta con otros clientes que realizan pedidos no habitualmente, por lo tanto la cantidad de clientes varía según los meses.

#### 3.4.2 Ubicación de los clientes:

Los clientes se encuentran ubicados en la VI, VII y IX Región, como se mencionó anteriormente.

A continuación se presentan los clientes y la ciudad a la que pertenecen clasificados según región y día de la ruta:

**Cuadro 3.1: Clientes VI Región**

Cliente	Ubicación
<b>Lunes, Martes, Miércoles</b>	
Bryc 19 (l,m,v)	Santa Cruz
Camiruaga Hnos. (l,v)	Chimbarongo
Jorge Araya (l,m,v)	Peralillo
Soledad Peña (l,m,v)	Peralillo
Roberto Herrera (l,m,v)	Peralillo
Paula Peñaloza (l,m,v)	Marchigüe
Elisa Pino (l,m,v)	Peumo
Ramirez y Moralez (l,v)	Peumo
Marco Labarca	Pichilemu
Manuel Cerón (l,m,v)	Población

Fuente: Proporcionado por la empresa.

**Cuadro 3.2: Clientes VII Región**

Cliente	Ubicación
<b>Lunes, Miércoles, Viernes</b>	
Bryc 2	Curicó
Bryc 5	Teno
Ángela Cabezas	Curicó
La Porteña	Curicó
Bryc 16 Colón	Curicó
Bryc 7	Cauquenes
Bryc 8	Constitución
Distribuidora y Super 10	Talca
Julio Santa María	Curicó
María Loyola	Teno
Mayorista	Curicó

<b>Martes, Jueves</b>	
Hipersur 1	Talca
Hipersur 2	Talca
Hipersur 3	Talca
Hipersur 5	San Javier
<b>Martes, Jueves, Sábado</b>	
Bryc 3	Molina
Bryc Express	Molina
Punto Útil	Molina
Punto Útil	Lontué
Alejandra Rojas	Lontué
Punto Útil Boldo	Curicó
Punto Útil	Romeral
Alejandro Silva	Los Guaicos
Claudia Varas	Molina
Bryc 1	Curicó
Bryc 9	Curicó
Bryc Express	Curicó

Fuente: Proporcionado por la empresa.

**Cuadro 3.3: Cientes costa Curicó**

<b>Cliente</b>	<b>Ubicación</b>
Pabla Díaz	Iloca
Sandra Fuentes	Licantén
María Maldonado	Hualañé
Pamela Hernández	Iloca

Fuente: Proporcionado por la empresa.

**Cuadro 3.4: Clientes IX Región**

<b>Cliente</b>	<b>Ubicación</b>
<b>Temuco Norte</b>	
Bryc 13	Collipulli
Bryc 11	Traiguén
Bryc 17	Lautaro
Bryc 24	Curacautín
<b>Temuco Sur</b>	
Bryc 21	Nueva Imperial
Bryc 22	Carahue
Bryc 18	Pitrufquén
Bryc 10	Loncoche
Bryc 14	Lanco
Bryc 15	San José de la Mariquina
Cric	Los Lagos

**Fuente: Proporcionado por la empresa.**

### 3.4.3 Rutas actuales

Las rutas que posee la empresa actualmente por día son las siguientes<sup>1</sup>:

**Cuadro 3.5: Rutas actuales**

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Opermarket	Molina	Opermarket	Molina	Opermarket	Molina
Curicó	Curicó	Curicó	Curicó	Curicó	Curicó
Sexta	Hipersur	Sexta	Hipersur	Sexta	

**Fuente: Proporcionado por la empresa**

La ruta que sigue el camión N°3, sólo contempla la ciudad de Temuco, donde se encuentra una de las distribuidoras de la empresa, la cual se encarga luego de distribuir los productos a los clientes de la zona a través de su propia flota de camiones, por este motivo, en esta memoria sólo se abordarán las rutas realizadas por los camiones N°1 y N°2, las cuales están a cargo de la empresa.

El detalle de las rutas seguidas por los camiones N°1 y N°2 es la siguiente:

#### Camión N°1

*Lunes:*

Curicó – Teno – Santa Cruz – Peralillo – Población – Peumo – Chimbarongo

**Cuadro 3.6: Detalle ruta día Lunes camión 1**

Curicó	Teno	Santa Cruz	Peralillo	Población	Peumo	Chimbarongo
Bryc 1	Bryc 5	Bryc 19	Soledad Peña	Manuel Cerón	Elisa Pino	Camiruaga
Bryc 2			Jorge Araya			
Bryc 16						
Frutas y verduras						
Mayorista 10						

**Fuente: Elaboración propia**

1. Estas rutas son realizadas por los camiones N°1 y N°2.

*Martes:*

Curicó – Molina – Lontué – Talca – San Javier

**Cuadro 3.7: Detalle ruta día Martes camión 1**

Molina	Lontué	Talca	San Javier
Bryc 3	Bryc 82	Hipersur 3	Hipersur 5
Bryc 20	Alejandra Rojas	Hipersur 1	
Bryc 85		Hipersur 2	
Claudia Varas			

**Fuente: Elaboración propia.**

*Miércoles:*

Curicó – Teno – Santa Cruz – Peralillo – Población – Pichilemu<sup>2</sup>

**Cuadro 3.8: Detalle ruta día Miércoles camión 1**

Curicó	Teno	Santa Cruz	Peralillo	Población	Pichilemu
Bryc 2	Bryc 5	Bryc 19	Soledad Peña	Manuel Cerón	Marco Labarca
			Jorge Araya		
			Roberto Herrera		

**Fuente: Elaboración propia.**

*Jueves:*

Curicó – Molina – Lontué – Talca – San Javier

**Cuadro 3.9: Detalle ruta día Jueves camión 1**

Molina	Lontué	Talca	San Javier
Bryc 3	Bryc 82	Hipersur 3	Hipersur 5
Bryc 20	Alejandra Rojas	Hipersur 1	
Bryc 85		Hipersur 2	
Claudia Varas			

**Fuente: Elaboración propia.**

2. La ruta contempla Pichilemu sólo cada 15 días.

*Viernes:*

Curicó – Teno – Santa Cruz – Peralillo – Población – Machigue – Peumo – Chimbarongo

**Cuadro 3.10: Detalle ruta día Viernes camión 1**

Curicó	Teno	Santa Cruz	Peralillo	Población	Machigue	Peumo	Chimbarongo
Bryc 2	Bryc 5	Bryc 19	Soledad Peña	Manuel Cerón	Paula Peñaloza	Elisa Pino	Camiruaga
Mayorista 10			Jorge Araya				
Bryc 16			Roberto Herrera				
Ponciano Otondo							
Curaco							
Punto Útil							

**Fuente:** Elaboración propia.

*Sábado:*

Molina – Lontué – Hualañé – Licantén – Iloca

**Cuadro 3.11: Detalle ruta día Sábado camión 1**

Molina	Lontué	Hualañé	Licantén	Iloca
Bryc 3	Bryc 82	María Maldonado	Sandra Fuentes	Pabla Díaz
Bryc 20	Alejandra Rojas			Pamela Hernández
Bryc 85				
Claudia Varas				

**Fuente:** Elaboración propia.

Los pedidos de los clientes de Iloca, Licantén y Hualañé, sólo se cubren con una frecuencia de 1 vez cada 2 semanas aproximadamente, debido a la pequeña cantidad de clientes que existen actualmente y a la baja cantidad de mercadería solicitada, lo que se traduce en una baja rentabilidad para la empresa. Esta ruta se realiza con mayor frecuencia y regularidad en los meses de verano, ya que aumenta la cantidad de mercadería solicitada.

Los días Lunes, Miércoles y Viernes, el camión comienza la distribución a las 8:30hrs aproximadamente. Los días Martes, Jueves y Sábado, comienza la repartición a las 7:30hrs aproximadamente.

## Camión N°2

*Lunes:*

Talca – Cauquenes – Constitución

**Cuadro 3.12: Detalle ruta día Lunes camión 2**

Talca	Cauquenes	Constitución
Distribuidora y Super 10	Bryc 7	Bryc 8

Fuente: Elaboración propia.

*Martes:*

Curicó – Romeral – Los Guaicos

**Cuadro 3.13: Detalle ruta día Martes camión 2**

Curicó	Romeral	Los Guaicos
Bryc 1	Punto Útil	Alejandro Silva
Bryc 9		
Bryc 12		

Fuente: Elaboración propia.

*Miércoles:*

Talca – Cauquenes – Constitución

**Cuadro 3.14: Detalle ruta día Miércoles**

Talca	Cauquenes	Constitución
Distribuidora y Super 10	Bryc 7	Bryc 8

Fuente: Elaboración propia.

*Jueves:*

Curicó – Romeral – Los Guaicos

**Cuadro 3.15: Detalle ruta día Jueves camión 2**

Curicó	Romeral	Los Guaicos
Bryc 1	Punto Útil	Alejandro Silva
Bryc 9		
Frutas y verduras		
Bryc 12		

Fuente: Elaboración propia.



*Viernes:*

Talca – Cauquenes – Constitución

**Cuadro 3.16: Detalle ruta día Viernes camión 2**

Talca	Cauquenes	Constitución
Distribuidora y Super 10	Bryc 7	Bryc 8

**Fuente: Elaboración propia.**

*Sábado:*

Curicó – Romeral – Los Guaicos

**Cuadro 3.17: Detalle ruta día Sábado camión 2**

Curicó	Romeral	Los Guaicos
Bryc 1	Punto Útil	Alejandro Silva
Bryc 9		
Bryc 12		

**Fuente: Elaboración propia.**

Los días Lunes, Miércoles y Viernes, el camión comienza la distribución a las 7:30hrs aproximadamente. Los días Martes, Jueves y Sábado, comienza la repartición a las 8:30hrs aproximadamente.

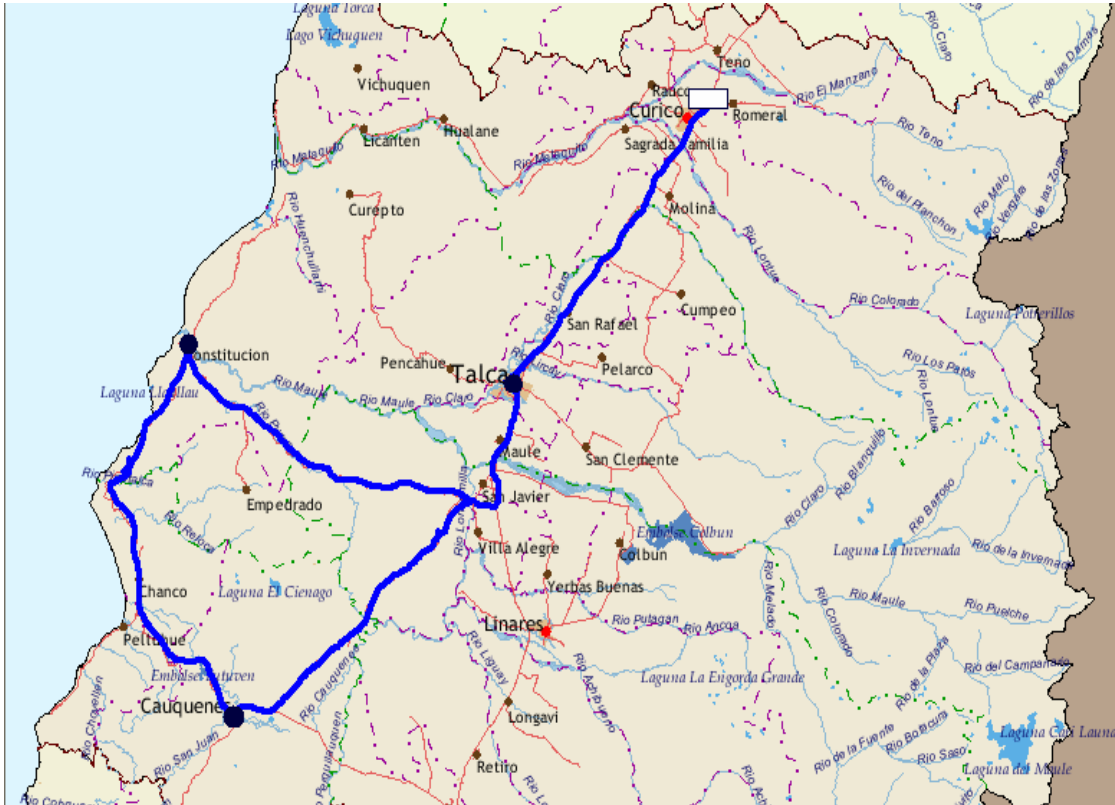




**Ruta N°3:**

Talca – Cauquenes – Constitución

**Figura 3.5: Representación de la ruta N°3**



Esta es la ruta más larga de las 4, ya que los clientes se encuentran ubicados en localidades a gran distancia del centro de distribución. Esta ruta tiene las siguientes particularidades:

- No presenta variaciones, es decir, se realiza la misma ruta los días Lunes, Miércoles y Viernes.
- Son muy pocos los clientes atendidos (sólo 3 clientes en 1 día).



**Observaciones finales:**

Cada una de estas rutas, sufren variaciones, es decir, algunos días se agregan localidades y otros días se recorren menos. En general las rutas son muy irregulares, existen días en que se atienden a pocos clientes, y otros días que se atiende a muchos de ellos en distintas localidades.

La ruta N°4 es la que sufre las mayores variaciones, ya que, las localidades de Hualañé, Licantén e Iloca, se cubren con mucha irregularidad (los días Sábados), pero en los meses de verano, aumenta su frecuencia.

Otro punto importante de mencionar es la capacidad de los camiones, ya que existe una diferencia significativa entre las capacidades de uno y otro. Esto a provocado algunos problemas, ya que, el camión N°1 (5.000kg) debe volver a buscar bandejas para continuar la distribución (en algunas ocasiones, cuando se distribuye a muchos clientes) como sucede los días Viernes, y por el contrario, el camión N°2 realiza rutas en la que se atienden a pocos clientes y con un bajo nivel de carga, y su capacidad es de 12.000kg.

### 3.5 COSTOS DE LA RUTA ACTUAL

#### 3.5.1 Costos de transporte considerados:

La empresa no cuenta con camiones propios para la distribución de los productos, por lo tanto contrata los servicios de la empresa de transportes *Sarmiento y María Angélica* para el arriendo de los camiones N°1 y N°2 respectivamente, empresas que forman parte de la Empresa de Transporte *Transtoral*, la cual pertenece al holding en el cual participa Maspan Ltda. Por tal motivo, no se lleva un control exacto de los costos del transporte y sólo se paga una cantidad de dinero fijo por el arriendo por día de cada uno de los camiones. En el siguiente cuadro, se detallan los costos por día.

**Cuadro 3.18: Costos fijos por día, camión N°1 y N°2**

Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado	
Openmarket	\$105.930	Molina	\$29.960	Openmarket	\$105.930	Molina	\$29.960	Openmarket	\$105.930	Molina	\$29.960
Curicó	\$8.560	Curicó	\$12.840	Curicó	\$8.560	Curicó	\$12.840	Curicó	\$8.560	Curicó	\$12.840
Sexta	\$47.450	Hipersur	\$35.000	Sexta	\$47.450	Hipersur	\$35.000	Sexta	\$47.450		
Total día	\$161.940	Total día	\$77.800	Total día	\$161.940	Total día	\$77.800	Total día	\$161.940	Total día	\$42.800

**Fuente: Proporcionado por la empresa**

Estos costos corresponden a los camiones N°1 y N°2

Total de las 4 rutas: \$239.740

Total semanal: \$684.220

Este valor incluye las 4 rutas realizadas a la semana a excepción del valor pagado por la ruta Curicó costa (Hualañé – Licantén - Iloca).

Dentro de estos costos, está incluido:

### 1. Peajes

Los peajes pagados por cada camión se detalla a continuación:

**Figura 3.19: Peajes pagados por camión 1**

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
\$ 4.000	\$5.900	\$700	\$5.900	\$4.000	\$700

Fuente: Elaboración propia

Los peajes pagados varían según la ruta a seguir:

El día Lunes (Ruta 1), se paga 3 peajes:

- Lateral Teno: \$700
- Lateral Chimbarongo: \$700
- Troncal Quinta: \$2.600

El día Martes (Ruta 2), se paga 2 peajes:

- Lateral Molina: \$700
- Río Claro:\$2.600 ida y vuelta.

El día Miércoles, se paga sólo 1 peaje, ya que la ruta 1 llega hasta Población (este día):

- Lateral Teno: \$700

El día Jueves, al igual que el Martes, se paga 2 peajes correspondiente a la ruta 2:

- Lateral Molina: \$700
- Río Claro:\$2.600 ida y vuelta.

El día Viernes, al igual que el Lunes, se paga los peajes correspondiente a la ruta 1:

- Lateral Teno: \$700
- Lateral Chimbarongo: \$700
- Troncal Quinta: \$2.600

El día Sábado, sólo se sigue la ruta 2 hasta Molina por lo tanto se paga 1 peaje:

- Lateral Molina: \$700



**Cuadro 3.20: Peajes pagados por camión 2**

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
\$ 5.200	\$0	\$5.200	\$0	\$5.200	\$0

Fuente: Elaboración propia

El día Lunes, Miércoles y Viernes (Ruta 3), se paga sólo 1 peaje:

- Río Claro: \$2.600 ida y vuelta

El día Martes, Jueves y Sábado (Ruta 4), no se paga peaje

## 2. Combustible

El pago por combustible de cada camión, se detalla a continuación:

**Cuadro 3.21: Dinero destinado a combustible para camión 1**

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
\$18.000	\$15.000	\$24.000	\$15.000	\$18.000	\$5.000

Fuente: Información proporcionada por chofer camión N°1

El día Miércoles se destina ese dinero en caso que la ruta contemple Pichilemu.

**Cuadro 3.22: Dinero destinado a combustible para camión 2**

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
\$45.000	\$2.800	\$45.000	\$2.800	\$45.000	\$2.800

Fuente: Información proporcionada por chofer camión N°2

## 3. Viáticos de comida

El viático de comida, corresponde a \$5.000 en caso que la ruta a seguir sea la N°1 y N°2.

Además dentro del arriendo se incluye la mantención de los camiones, los cambios de aceite y el salario pagado a los choferes.

## CAPÍTULO 4

# RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RELEVANTE

*El presente capítulo se basa en la recopilación de toda la información relevante que puede ser utilizada, ya sea en la elaboración del modelo, o en la utilización de alguna metodología. Esta información es aportada por la empresa y principalmente recolectada a través de mediciones en terreno al realizar cada una de las rutas con que cuenta la empresa. Por último, se realizará un análisis con toda la información que será interesante a la hora de comparar los resultados finales.*

## 4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

En esta sección del 4° capítulo, se recopilará la información con que cuenta la empresa, que será de gran utilidad en capítulos posteriores.

### 4.1.1 Clientes:

A continuación se presenta la tabla con los clientes correspondiente a cada una de las ciudades por Región, y la distancia desde el centro de distribución a cada una de estas ciudades:

**Cuadro 4.1: Distancias de clientes VI Región.**

Ciudad	Cliente	Distancia desde el centro de distribución (km)
Santa Cruz	Bryc 19	81
Peralillo	Jorge Araya Soledad Peña Roberto Herrera	106
Población	Manuel Cerón	113
Marchigue	Paula Peñaloza	120
Pichilemu	Marco Labarca	168
Peumo	Elisa Pino Ramírez y Moralez	89
Chimbarongo	Camiruaga Hnos.	31

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.2: Distancias de clientes VII Región**

<b>Ciudad</b>	<b>Cliente</b>	<b>Distancia desde el centro de distribución (km)</b>
Teno	Bryc 5 María Loyola	8
Romeral	Punto Útil	8
Los Guaicos	Alejandro Silva	11
Curicó	Bryc 2 Mayorista Cco. Angela Cabezas La Porteña Bryc 16 Colón Julio Santa María Mayorista Punto Útil Boldo Bryc 1 Bryc 9 Bryc Express	6
Lontué	Punto Útil Alejandra Rojas	13
Molina	Bryc 3 Bryc Express Punto Útil Claudia Varas	22
Talca	Distribuidora y Super 10 Hipersur 1 Hipersur 2 Hipersur 3	74
San Javier	Hipersur 5	91
Cauquenes	Bryc 7	212
Constitución	Bryc 8	182

Hualañé	María Maldonado	78
Licantén	Sandra Fuentes	99
Iloca	Pabla Díaz Pamela Hernández	133

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 Distribuidores :

Los distribuidores que posee la empresa son los siguientes :

**Cuadro 4.3 : Distribuidores de la empresa.**

Distribuidor	Ubicación
Supermercado 10	Talca
Ice Hause	Concepción
Maspan Ltda.	Temuco

Fuente : Proporcionado por la empresa

#### 4.1.3 Camiones:

Los camiones que son contratados por la empresa a transportes Sarmiento son los siguientes:

**Cuadro 4.4: Camiones utilizados en la empresa.**

Camión	Capacidad (kg)
Chevrolet Isuzu	5.000
Mercedes Benz	12.000
Iveco	25.000

Fuente: Proporcionado por la empresa

#### 4.1.4 Maquinaria:

La maquinaria utilizada para la carga y descarga de los camiones son las siguientes:

**Cuadro 4.5: Maquinaria utilizada en la empresa.**

Máquina	Nºde máquinas	Capacidad (kg)
Grúa	1	2.000
Traspaleta	2	2.500

**Fuente:** Proporcionado por la empresa

#### 4.1.5 Proveedores:

Los proveedores más importantes para la empresa, en relación al proceso de distribución, son los siguientes:

- Transportes Bravo
- Transportes Transtoral
- Copec
- Inamar S.A.
- Carlos Vásquez

#### 4.1.6 Contratación de servicios externos:

Actualmente la empresa contrata los servicios externos de transporte a la empresa *Transbravo*.

#### 4.1.7 Nivel de carga promedio por cliente

A continuación se presenta el nivel de carga promedio por cada ruta:

**Cuadro 4.6: Nivel de carga promedio por ruta**

Ruta	Nivel de carga (kg)
Ruta Curico 1(b2 - b16)	400
Ruta Opermarket (Talca - Cauquenes- Constitución)	1.300
Ruta Sexta 1 (Peralillo - b19 - Peumo- b5)	1.300
Ruta Sexta 2 (Peralillo - b19 - Peumo- b5 - Pichilemu)	1.500
Ruta Molina (b20-b3-b82-b85)	2.500
Ruta Curico 2 (b1 - b12 - b9- boldo- b86 )	5.420
Talca (Hipersur)	1.000
Iloca (CADA 15 DIAS)	240
Temuco (traspaso)	7.000

Fuente: Proporcionado por la empresa

#### Observaciones:

- La ruta de la Sexta región sufre variaciones al agregar cada 15 días a la ciudad de Pichilemu
- La ruta de Iloca, en verano aumenta su frecuencia y kilogramos al doble de lo señalado.
- El mayor nivel de carga pertenece a la ciudad de Temuco, por esta razón, se utiliza el camión de mayor capacidad de carga (25.000kg).

b: Bryc

#### 4.1.8 Frecuencia de visita semanal, costos y kilogramos transportados por destino:

La empresa cuenta con información sobre: la frecuencia semanal, los costos de transporte, y los kilogramos transportados por mes, por cada uno de los destinos que cubren las rutas.

**Cuadro 4.7: Frecuencia semanal, costos y kilogramos transportados.**

Destino	Frecuencia semanal	Precio unitario	Valor total	Mes	Kilogramos transportados	\$/kg
Openmarket	3	\$105.930	\$317.790	\$1.271.160	1.300	\$81
Curicó 1	3	\$8.560	\$25.680	\$102.720	400	\$21
Curicó 2	3	\$12.840	\$38.520	\$154.080	5.420	\$2,4
Sexta 1	2	\$37.450	\$74.900	\$299.600	1.300	\$29
Sexta 2	1	\$47.080	\$47.080	\$188.320	1.500	\$31
Hipersur	2	\$35.000	\$70.000	\$280.000	1.000	\$35
Molina	3	\$29.960	\$89.880	\$359.520	2.500	\$12
Temuco	1	\$380.000	\$380.000	\$1.520.000	7.000	\$54
		<b>\$656.820</b>	<b>\$1.043.850</b>	<b>\$3.980.400</b>	<b>20.420</b>	<b>\$33</b>

Fuente: Proporcionado por la empresa

#### Observaciones:

- La ruta Openmarket, la constituye principalmente la denominada **Ruta 3**, la cual está constituida por clientes de Talca, Cauquenes y Constitución.
- Curicó 1, se refiere a los clientes atendidos por el camión N°1 los días Lunes, Miércoles y Viernes.
- Curicó 2, se refiere a los clientes atendidos por el camión N°2 los días Martes, Jueves y Sábado.
- La ruta Sexta 2 es la misma ruta Sexta 1 pero incluye los clientes de la ciudad de Pichilemu.



#### 4.1.9 Comportamiento histórico de la demanda.

Según informaciones de la empresa, la demanda durante el año se comporta de manera muy regular, debido al producto que distribuye (Pan), el cual es de consumo habitual.

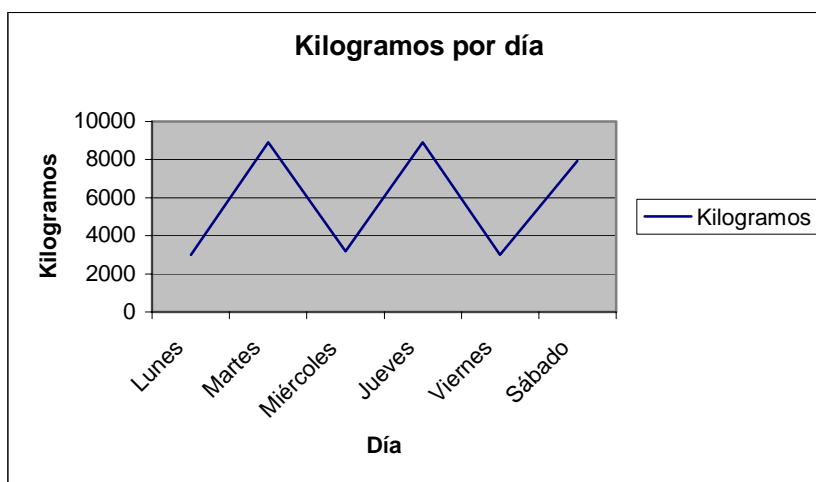
Considerando el nivel de carga transportado por ruta, se tiene una demanda diaria (calculada por semana) de:

**Cuadro 4.8: Demanda diaria**

Día	Kilogramos
Lunes	3.000
Martes	8.920
Miércoles	3.200
Jueves	8.920
Viernes	3.000
Sábado	7.920

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 4.1: Kilogramos promedio por día.**



Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por empresa

El gráfico presentado, muestra el comportamiento semanal de la cantidad de kilogramos distribuidos. Como se observa, los Martes y Jueves son los días donde aumenta considerablemente la cantidad de kilogramos transportados en promedio, ya que en estos días se abastece a la mayoría de los clientes de la ciudad de Curicó, mayor y por lo tanto principal mercado de la empresa.

Los valores graficados corresponden a los *promedios* de los kilogramos transportados, esto debido a que existe una diferencia generada en los últimos días de la semana (Jueves y Viernes) donde aumenta la demanda de los días correspondientes, ya que los clientes se abastecen para todo el fin de semana, (para los supermercados las ventas aumentan durante estos días), por lo tanto los pedidos son mayores.

Los clientes atendidos son siempre los mismos (existe lealtad de los clientes), sólo varían algunos clientes pequeños, lo cuales solicitan pedidos (generalmente de 1 a 3 bandejas) sin una frecuencia regular, pero que no significan un aumento significativo en las ganancias para la empresa. A continuación, se tiene un ejemplo de la cantidad de clientes atendidos en algunos meses:

- En Mayo de 2004, se atendió a 65 clientes.
- En Junio de 2004, se atendió a 62 clientes.

## 4.2 MEDICIONES EN TERRENO

En esta etapa, se realizará una recopilación de información en base a las mediciones realizadas en terreno, al estar presente en todo el proceso de distribución de los productos, desde la carga de los camiones, hasta la realización de las rutas.

### 4.2.1 Frecuencia de salida de los camiones:

La tabla presentada a continuación, corresponde a la frecuencia de salida de cada uno de los camiones encargados de la distribución de los productos:

**Cuadro 4.9: Frecuencia de salida de los camiones.**

Camión	Frecuencia
Chevrolet Isuzu	6 veces por semana
Mercedes Benz	6 veces por semana
Iveco	2 veces por semana

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.2 Flujo de carga:

A continuación se presenta la tabla correspondiente a los resultados de las mediciones de los flujos de carga por cada una de las rutas realizadas, además de la cantidad de bandejas descargadas en promedio:

**Cuadro 4.10: Flujo de carga y bandejas descargadas.**

Ruta	Flujo de carga	Bandejas descargadas
Nº 1	2.645,2kg	211
Nº 2	3.146,3kg	181
Nº 3	1.435,4kg	134
Nº 4	5.820kg	333

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3 Kilómetros recorridos:

En la siguiente tabla, se presentan los kilómetros promedio obtenidos por cada una de las rutas realizadas:

**Cuadro 4.11: Kilómetros recorridos.**

<b>Ruta</b>	<b>Kilómetros promedio</b>
Nº1	298km
Nº2	252km
Nº3	464,3km
Nº4	35km

**Fuente: Elaboración propia.**

#### 4.2.4 Costos de viaje

Para calcular los costos de combustible relacionados con los viajes, se consideran los kilómetros recorridos desde el centro de distribución a cada una de las localidades donde se encuentran ubicados los clientes y el valor del petróleo por litro a la fecha (\$356 por litro), teniendo en consideración la cantidad de kilómetros por litro que recorre cada camión (dato proporcionado por los choferes de la empresa).

El camión N°1 consume 0,22 litros por kilómetro, por lo tanto, el cuadro de costos es el siguiente:

**Cuadro 4.12: Distancia y costos asociados a camión N°1**

<b>Ciudad</b>	<b>Distancia desde el centro de distribución (km.)</b>	<b>Costo (combustible)</b>
Santa Cruz	81	\$6.344
Peralillo	106	\$8.302
Población	113	\$8.850
Marchigue	120	\$9.398
Pichilemu	168	\$13.158
Peumo	89	\$6.970
Chimbarongo	31	\$2.428
Teno	8	\$627
Curicó	6	\$470
Lontué	13	\$1.018
Molina	22	\$1.723
Talca	74	\$5.796
San Javier	91	\$7.127

Fuente: Elaboración propia.

El camión N°2 consume 0,29 litros por kilómetro, por lo tanto, el cuadro de costos es el siguiente:

**Cuadro 4.13: Distancia y costos asociados a camión N°2.**

<b>Ciudad</b>	<b>Distancia desde el centro de distribución (km.)</b>	<b>Costo (combustible)</b>
Romeral	8	\$826
Los Guaicos	11	\$1.136
Curicó	6	\$619
Talca	74	\$7.640
Constitución	182	\$18.790
Cauquenes	212	\$21.887
Hualañé	78	\$8.053
Licantén	99	\$10.221
Iloca	133	\$13.731

**Fuente: Elaboración propia.**

#### 4.2.5 Resultados de tiempos:

Dentro de las mediciones en terreno que se obtuvieron, un aspecto muy importante de considerar fueron las mediciones de los tiempos, tanto de la duración de la ruta, así como los tiempos de estadía y de espera en cada uno de los puntos de distribución (locales o clientes). Los resultados finales obtenidos, se presentan a continuación:

##### 4.2.5.1 Tiempos de viaje:

Estos tiempos se refieren a la cantidad de horas y/o minutos que demora realizar cada una de las rutas.

**Cuadro 4.14: Tiempos de duración de las rutas.**

<b>Ruta</b>	<b>Tiempo estimado de duración</b>
Nº1	9hrs 37min
Nº2	10hrs 22min
Nº3	10hrs 37min
Nº4 <sup>1</sup>	5hrs 12min

**Fuente: Elaboración propia.**

##### 4.2.5.2 Tiempos de estadía, de espera y de descarga:

A continuación se presentan los tiempos de estadía, espera y descarga promedio por cada uno de los clientes de las distintas rutas seguidas:

1. La ruta Nº4 no contempla la realización de la ruta Costa Curicó

**Cuadro 4.15: Tiempos de la Ruta N°1**

<b>Cliente</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Tiempo de estadía (min)</b>	<b>Tiempo de espera (min)</b>	<b>Tiempo de descarga (min)</b>	<b>Bandejas descargadas</b>
Bryc 1	Curicó	50	16	34	49
Bryc 2	Curicó	40	18	22	16
Bryc 16	Curicó	10	3	7	3
Frutas y verduras	Curicó	22	5	17	35
Mayorista 10	Curicó	27	10	17	18
Bryc 5	Teno	33	5	28	14
Jorge Araya	Peralillo	19	3	16	9
Soledad Peña	Peralillo	21	11	10	3
Roberto Herrera	Peralillo	5	2	3	5
Manuel Cerón	Población	10	2	8	7
Bryc 19	Santa Cruz	30	10	20	41
Elisa Pino	Peumo	8	1	7	7
Camiruaga Hnos.	Chimbarongo	24	7	17	11

**Fuente: Elaboración propia.**



**Cuadro 4.16: Tiempos de la Ruta N°2**

<b>Cliente</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Tiempo de estadía (min)</b>	<b>Tiempo de espera (min)</b>	<b>Tiempo de descarga (min)</b>	<b>Bandejas descargadas</b>
Bryc 3	Molina	39	8	31	40
Bryc 20	Molina	35	3	32	42
Claudia Varas	Molina	9	2	7	19
Bryc 85	Molina	27	3	24	2
Bryc 82	Lontué	25	6	19	22
Alejandra Rojas	Lontué	5	1	4	4
Hipersur 3	Talca	22	2	20	17
Hipersur 1	Talca	17	5	12	14
Hipersur 2	Talca	21	6	15	16
Hipersur 5	San Javier	20	5	15	10

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4.17: Tiempos de la Ruta N°3**

<b>Cliente</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Tiempo de estadía (min)</b>	<b>Tiempo de espera (min)</b>	<b>Tiempo de descarga (min)</b>	<b>Bandejas descargadas</b>
Sup. y distribuidora 10	Talca	40	18	22	21
Bryc 7	Cauquenes	83	22	61	77
Bryc 8	Constitución	47	17	30	31

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4.18: Tiempos de la Ruta N°4**

Cliente	Ubicación	Tiempo de estadia (min)	Tiempo de espera (min)	Tiempo de descarga (min)	Bandejas descargadas
Punto Útil	Curicó	12	2	10	12
Bryc 1	Curicó	63	6	57	154
Bryc 9	Curicó	45	9	36	98
Las Delicias	Curicó	2	0	2	1
Bryc 12	Curicó	62	7	55	63
Alejandro Silva	Los Guaicos	4	0	4	2
Punto Útil	Romeral	26	4	22	19

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.6 Horarios de Recepción

Los horarios de recepción por cada uno de los locales se presentan a continuación:

**Cuadro 4.19: Horarios de recepción.**

Recepción		
Local/Cliente	Horario Mañana	Horario Tarde
Bryc 1	8:30 - 13:00	15:00 - 18:30
Bryc 2	9:00 - 13:00	15:00 - 19:00
Bryc 3	8:00 - 13:00	15:00 - 19:00
Bryc 5	8:00 - 13:00	15:00 - 18:00
Bryc 7	8:30 - 13:00	15:00 - 19:00
Bryc 8	8:30 - 13:00	15:30 - 18:30
Bryc 9	8:00 - 13:00	15:00 - 19:00
Bryc 12	8:00 - 13:00	15:00 - 19:00
Bryc 16	8:30 - 13:00	15:00 - 18:30
Bryc 20	8:30 - 13:00	15:00 - 19:00
Bryc 82	8:00 - 12:30	15:00 - 19:00
Bryc 85	8:00 - 12:30	15:00 - 19:00
Hipersur 1	9:00 - 14:00	16:00 - 19:00
Hipersur 2	9:00 - 14:00	16:00 - 19:00
Hipersur 3	9:00 - 14:00	16:00 - 19:00
Hipersur 5	8:00 - 12:00	16:00 - 19:00
Mayorista 10 (Talca)	9:00 - 13:00	15:00 - 19:00
Mayorista 10 (Curicó)	9:00 - 12:30	15:00 - 18:30
Alejandra Rojas	10:30 - 13:00	13:00 - 22:00
Punto Útil (El Boldo)	8:00 - 13:00	13:00 - 21:00
Punto Útil (Romeral)	8:00 - 13:00	13:00 - 21:00
Las Delicias	8:30 - 13:00	13:00 - 20:00
Alejandro Silva	8:00 - 13:00	13:00 - 22:00
Soledad Peña	9:30 - 13:30	15:30 - 20:00
Jorge Araya	9:00 - 13:30	15:45 - 20:30
Elisa Pino	9:00 - 14:30	16:30 - 22:00
Camiruaga	9:00 - 13:00	15:00 - 20:00
Roberto Herrera	8:30 - 13:00	13:00 - 22:00
Manuel Cerón	8:30 - 13:00	13:00 - 22:00

**Fuente: Elaboración propia.**

### **4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.3.1 Análisis de las rutas:**

Cada una de las rutas realizadas tiene sus particularidades, las cuales serán analizadas a continuación:

La ruta N°1 es la que atiende a más clientes y la que sufre más variaciones en cuanto a la cantidad de kilómetros recorridos, desde 273km hasta 311km con un promedio de 298km por día. Esto se debe a la cantidad de clientes que abarca, ya que en algunas oportunidades no se alcanza a llegar a los locales o clientes en el horario que corresponde a la recepción de los productos, y por lo tanto se debe variar la ruta hacia las localidades donde los clientes y/o locales estén recepcionando la mercadería (cada local o cliente tiene su propio horario de recepción, el cual no debe ser inferior a 7 horas diarias).

La ruta N°2 es una de las más largas, en cuanto al tiempo de duración, a pesar de que sólo se recorren en promedio 252km. Esto se debe al largo tiempo de espera por el horario de recepción del último local atendido (Hipersur 5 de San Javier), el cual sólo a las 16:00hrs comienza su atención. Un aspecto importante que destacar de esta ruta, es que en 2 oportunidades sucedieron imprevistos que tuvieron como consecuencia el retorno a la central de distribución y la vuelta a la ciudad de Talca desde San Javier (para retirar encargos), por lo tanto un aumento en los tiempos y kilómetros de recorrido.

La ruta N°3 es la más larga, en cuanto a tiempo y kilómetros recorridos, de todas las rutas (más de 400km), y tiene la particularidad de ser la ruta que menos kilogramos transporta (alrededor de 1.500kg) y la que menos clientes y/o locales atiende (sólo 3 locales). En esta ruta los horarios de recepción no influyen, ya que a la hora del término de atención al mediodía, se debe viajar de una localidad a otra, llegando justo en el momento de apertura en la tarde o a lo más 15 minutos antes.

La ruta N°4 cuenta con la ayuda de un pioneta debido a la cantidad de kilogramos (alrededor de 6.000kg) y bandejas (alrededor de 300) que deben ser descargadas. Pese a la cantidad de kilómetros que se recorren (no más de 52km) cuando la ruta contempla la localidad de Romeral y Los Guaicos, la duración de esta ruta es en promedio de 5 horas y 12 minutos, debido a la dificultad de transportar la gran cantidad de bandejas hacia la

bodega de almacenamiento, incluso la ubicación de una de ellas es en la planta baja del local (Bryc 9) y resulta muy dificultoso llevar las bandejas una por una hacia el lugar.

#### **4.3.2 Análisis de los tiempos:**

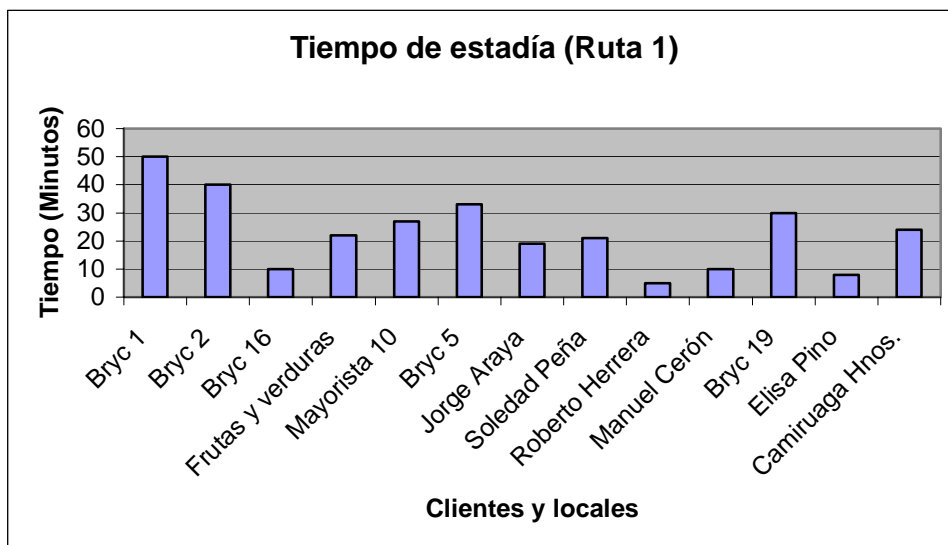
Los tiempos de descarga, se midieron considerando todo el proceso que implica la descarga, desde la entrega de la factura hasta la carga de las bandejas devueltas, debido a que no existe un orden correlativo para la realización de tales actividades, es decir, mientras se realiza el proceso de descarga, se revisa el producto, la factura y en algunas oportunidades se cargan las bandejas devueltas para optimizar el tiempo de estadía en los locales. En algunos casos también se incluye la realización y entrega de la guía de despacho (si existen devoluciones) y el pago de la mercadería.

Los tiempos de espera son menores cuando se atiende a los clientes, así como también son menores los tiempos de descarga, ya que sólo solicitan pedidos pequeños de máximo 10 bandejas.

#### **RUTA 1**

En la ruta N°1 el mayor tiempo de estadía ocurre en el local Bryc 1 de Curicó (50min), seguido por el local Bryc 2, también de la ciudad de Curicó (40min); esto debido a que la mayor cantidad de bandejas se descargan en estos locales y/o por la cantidad de camiones que se encontraron descargando en ese momento por lo cual resultó dificultoso encontrar un estacionamiento para el camión que permitiera la descarga más cerca de la bodega. Los tiempos de estadía menores, corresponden a los clientes pequeños como Roberto Herrera y Elisa Pino, y como excepción al local Bryc 16, debido a que sólo es un pequeño supermercado (Express) donde sólo se solicitan 2 o 3 bandejas como pedido.

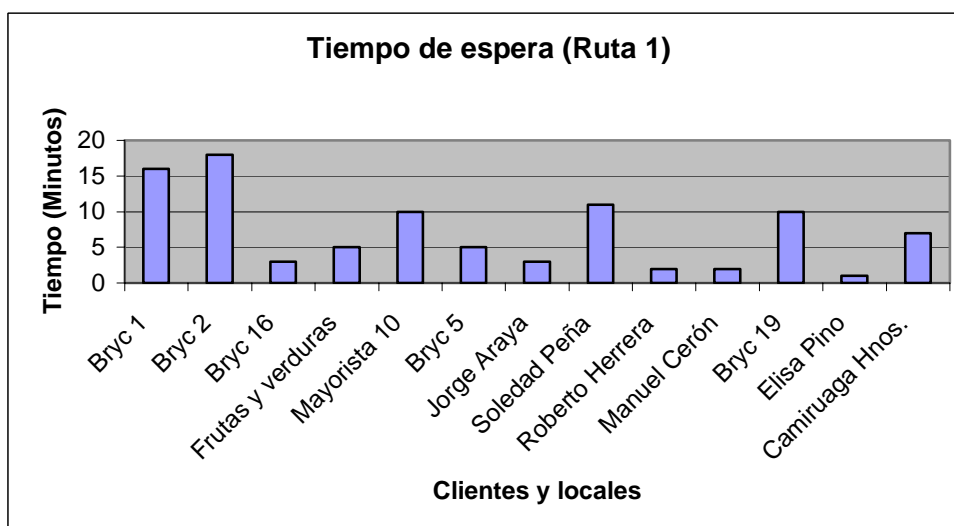
Gráfico 4.2: Tiempo de estadía ruta 1



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

El mayor tiempo de espera, corresponde también a los locales Bryc 1 (16min) y Bryc 2 (18min). El alto tiempo de espera promedio de los locales, se debió a la gran cantidad de camiones que se encontraban en cierto momento descargando, ya que se trata de los locales más grandes de la cadena de supermercados Bryc.

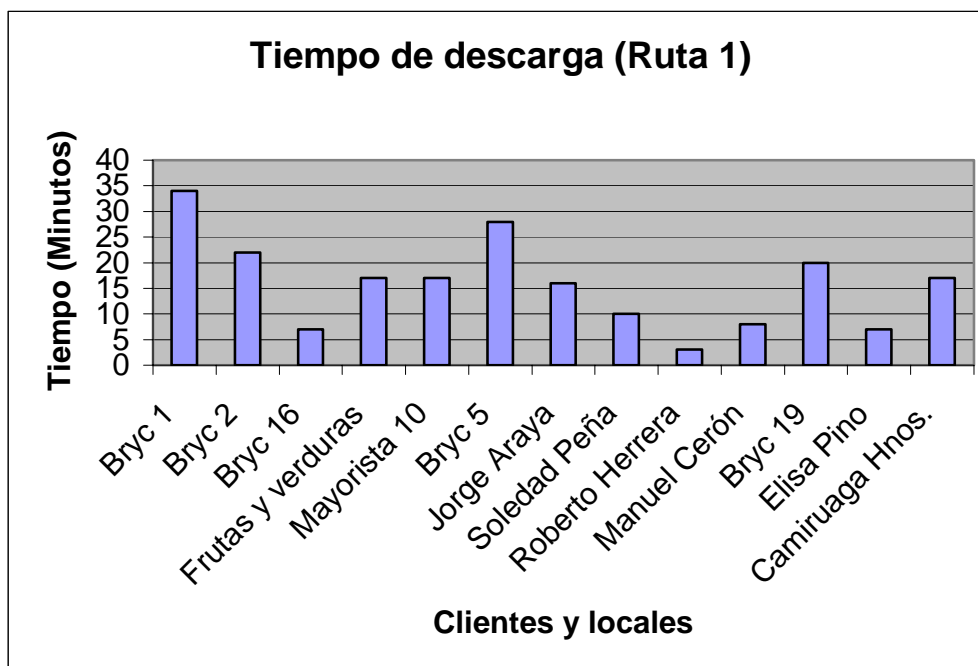
Gráfico 4.3: Tiempo de espera ruta 1



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

Los mayores tiempos de descarga corresponden a los locales Bryc 1 de Curicó y Bryc 5 de Teno (28min), esto debido a la cantidad de bandejas descargadas o a la lentitud de los recepcionistas.

Gráfico 4.4: Tiempo de descarga ruta 1

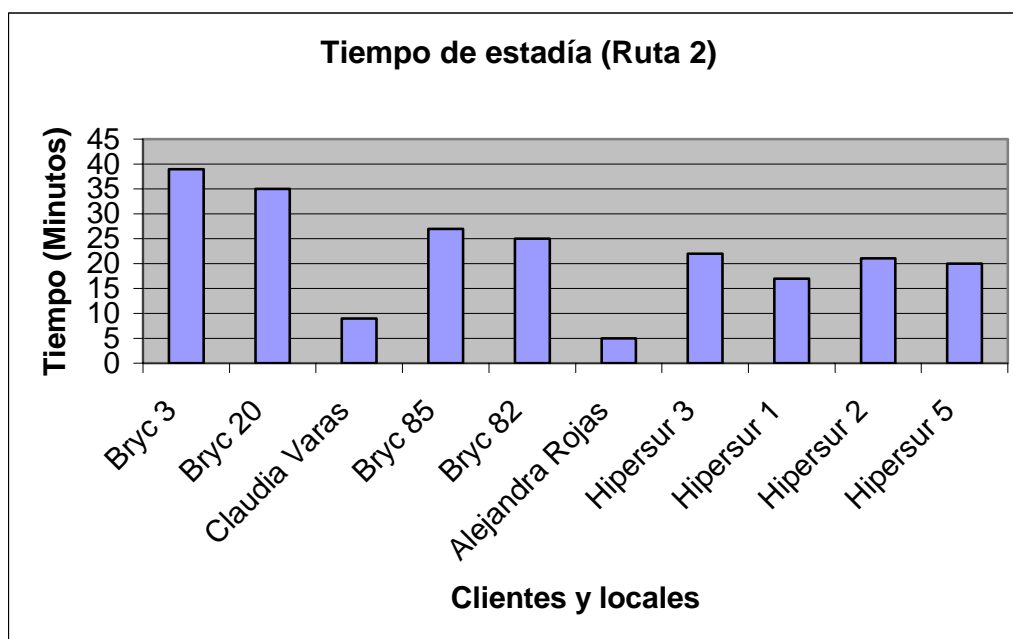


Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

## RUTA 2

En la ruta N°2, el tiempo de estadía mayor corresponde al local Bryc 3 de Molina (39min) donde se descarga la mayor cantidad de bandejas, en un horario de alta concentración de camiones descargando en dicho local, ya que sólo se puede abastecer a los locales de Molina hasta las 10:00hrs (Hora máxima que pueden circular los camiones por la localidad). Los tiempos de estadía mínimos corresponden también a los clientes pequeños.

Gráfico 4.5: Tiempo de estadía ruta 2

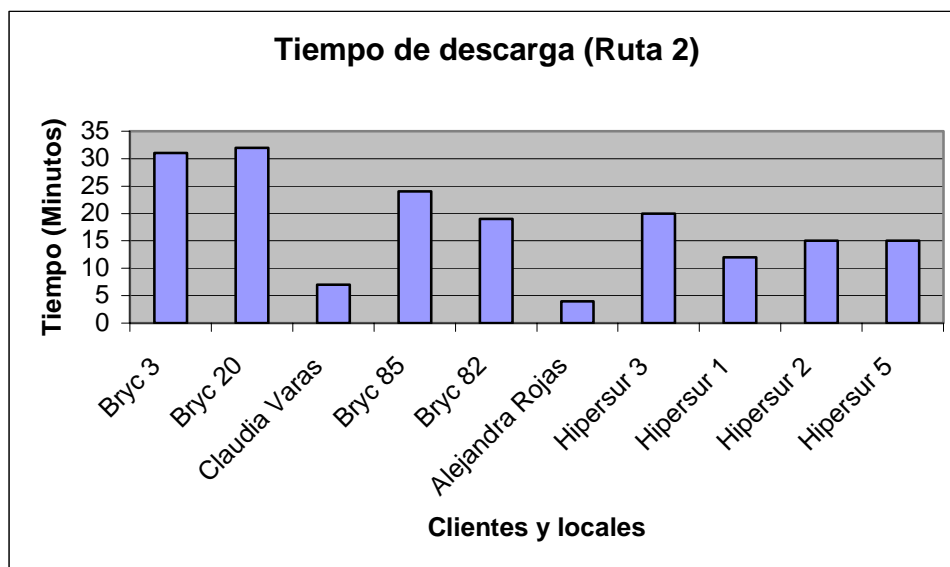


Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.



Los tiempos de descarga más altos corresponden a los locales Bryc 20 y Bryc 3 (32min y 31min respectivamente) de Molina, debido a que se descargan la mayor cantidad de bandejas (42 y 40 bandejas respectivamente).

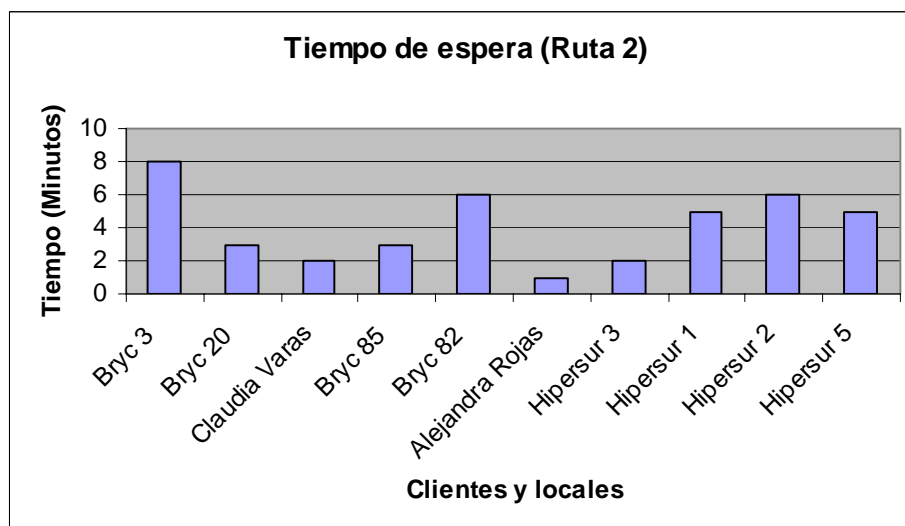
Gráfico 4.6: Tiempo de descarga ruta 2



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

Los tiempos de espera son bajos, los cuales no superan los 10 minutos en cada local o cliente.

Gráfico 4.7: Tiempo de espera ruta 2

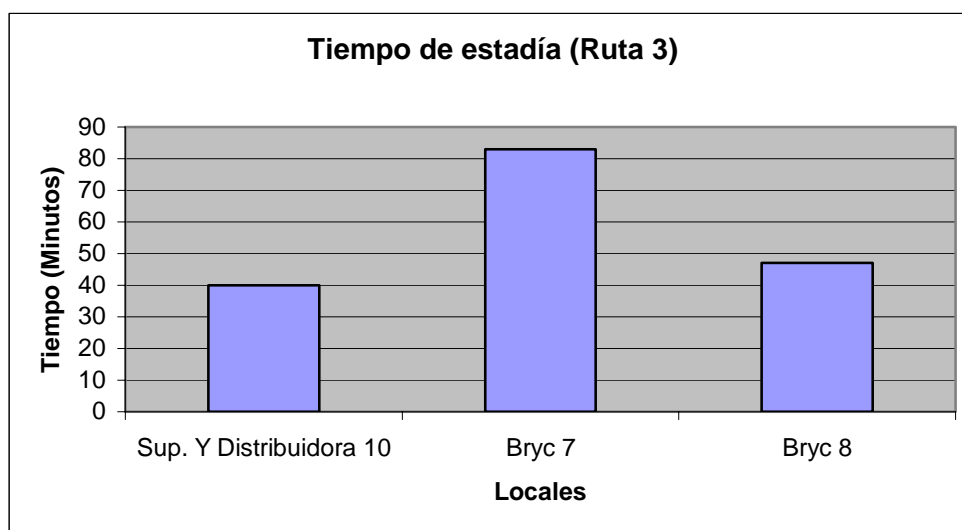


Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

### RUTA 3

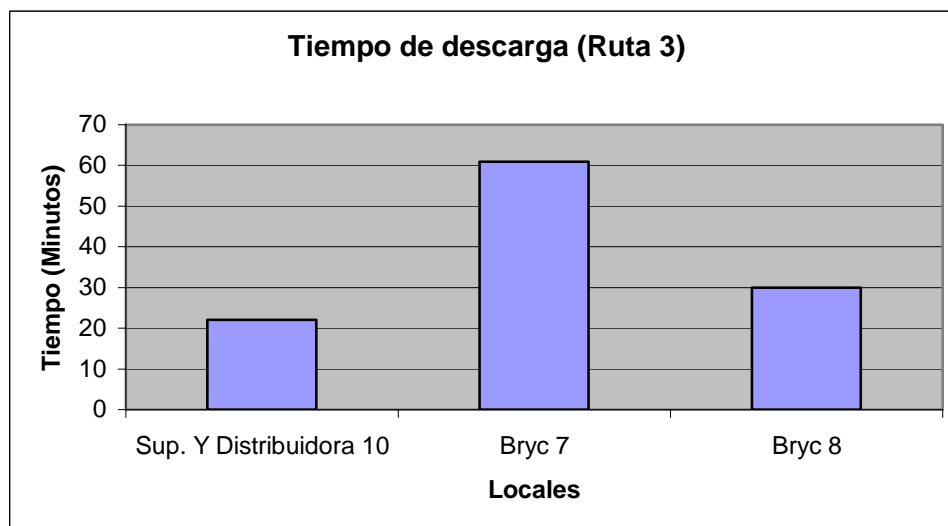
La ruta N°3 sólo contempla la distribución a 3 locales en diferentes localidades, donde el tiempo máximo de estadía pertenece al local Bryc 7 de Cauquenes con 83 minutos, donde se descargan en promedio 77 bandejas con un tiempo de descarga de 61 minutos, también el más alto dentro de los clientes atendidos en esta ruta.

Gráfico 4.8: Tiempo de estadía ruta 3



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

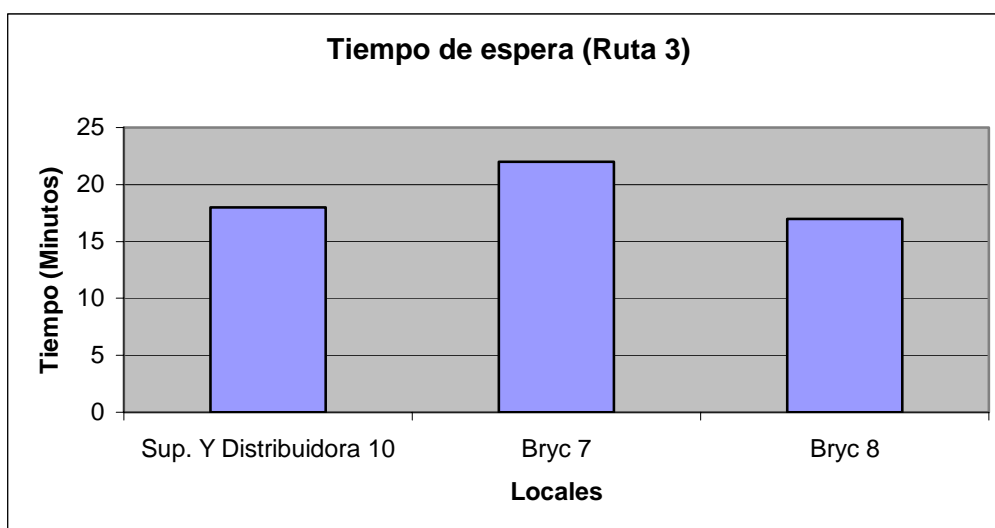
Gráfico 4.9: Tiempo de descarga ruta 3



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

Cabe destacar que los tiempos más altos de espera corresponden a esta ruta (entre 17min y 22min) y esto se debe en primer lugar a los horarios de recepción, ya que la Distribuidora y Supermercado 10, ubicado en la ciudad de Talca (1° cliente), comienza a recepcionar a las 9:00 horas de la mañana y el camión sale del centro de distribución a las 7:30hrs, por lo cual debe esperar unos minutos, al igual que en el local Bryc 8 de Constitución, al cual se arriba a las 15:15hrs aproximadamente y su horario de recepción en la tarde comienza a partir de las 15:30hrs. El segundo motivo de los altos tiempos de espera, se debe a la cantidad de camiones que descargan en estos locales, como sucede principalmente en el local Bryc 7 de Cauquenes, por lo tanto se debe esperar un lugar en el estacionamiento para comenzar con el proceso de la descarga.

Gráfico 4.10: Tiempo de espera ruta 3

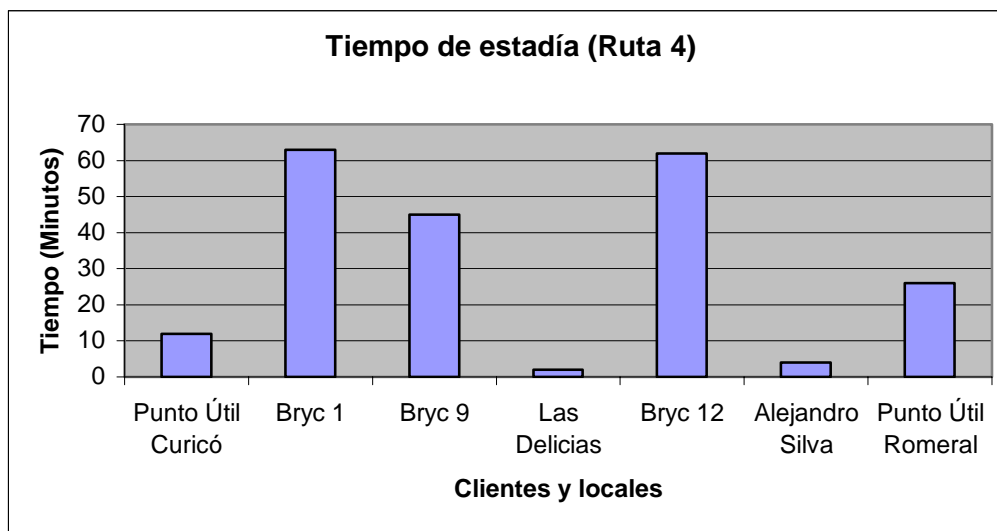


Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

## RUTA 4

La ruta N°4 se caracteriza por los altos tiempos de estadía en los 3 principales locales de distribución que contempla la ruta: Bryc 1, Bryc 9 y Bryc 12, todos pertenecientes a la ciudad de Curicó. Estos tiempos varían desde los 45 minutos (Bryc 9) hasta los 63 minutos (Bryc 1).

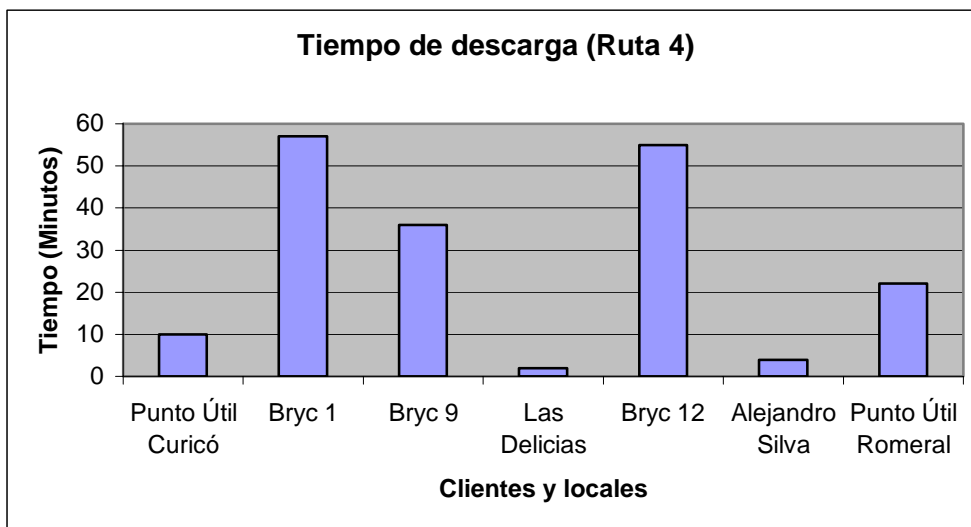
Gráfico 4.11: Tiempo de estadía ruta 4



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

Los tiempos de descarga también son altos a pesar de la ayuda con que cuenta el camionero. La razón de estos altos tiempos se debe a la gran cantidad de bandejas que se descargan en esta ruta, se debe considerar que por cada uno de estos locales se descargan 154, 98 y 63 bandejas respectivamente, cantidades muy superiores comparadas con las descargas realizadas en otras rutas.

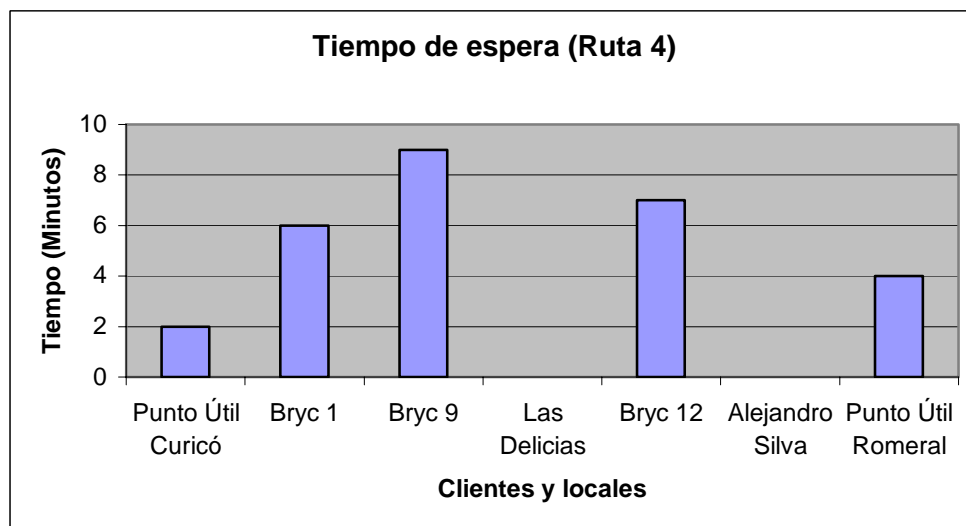
Gráfico 4.12: Tiempo de descarga ruta 4



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

Los tiempos de espera en promedio no son altos, la máxima espera se produce en el local Bryc 9 con 9 minutos. Los tiempos de espera menores corresponden a los clientes, donde la descarga se realiza al momento de la llegada.

Gráfico 4.13: Tiempo de espera ruta 4



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

# CAPÍTULO 5

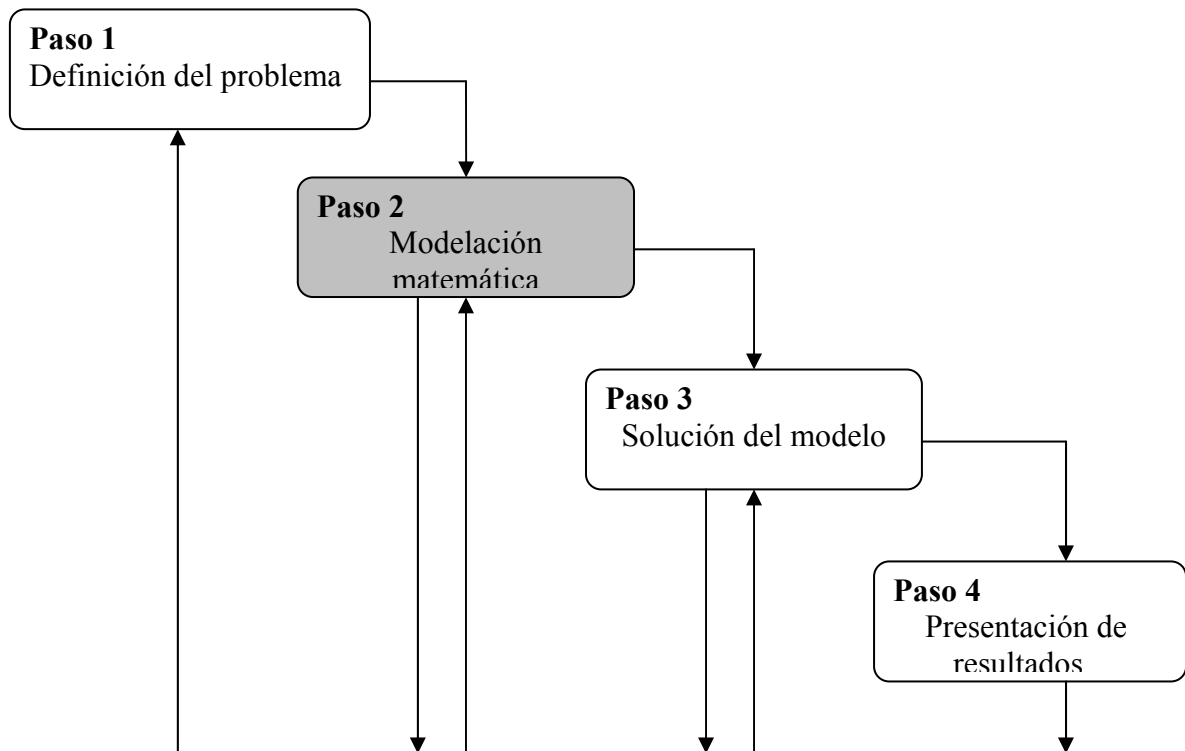
## MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE MASPAN

*Para resolver el problema de encontrar las rutas óptimas para abastecer a los clientes que posee la empresa, se construirá un modelo de transporte que se adapte a las condiciones de la empresa. En este capítulo, se presenta la metodología de formulación de dicho modelo aplicada a la situación actual con que se cuenta. A través de esta metodología, que comienza con la definición de las variables de decisión y el cálculo de los parámetros necesarios para ser utilizados, se pretende encontrar el modelo que mejor se adapte a la realidad de la empresa. Por último se presentará el modelo final con un análisis realizado al mismo.*

## 5.1 METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN

La metodología para la resolución del problema, la cual se utilizará a partir de este capítulo, es la que se presenta en la siguiente figura:

**Figura 5.1: Metodología de resolución de un modelo, paso 2**



El paso 1 fue realizado anteriormente en el capítulo 1 donde se presenta formalmente la definición del problema que dio origen al desarrollo de esta memoria, y que se pudo constatar a través del diagnóstico realizado a la empresa.

A continuación se procederá a la realización del paso más importante de esta metodología: “La modelación matemática”, la cual se definirá en el presente capítulo.

La modelación matemática es un procedimiento que reconoce y verbaliza un problema para posteriormente cuantificarlo, transformando las expresiones verbales en expresiones matemáticas. El proceso de modelación consta de cuatro pasos, definidos anteriormente en la metodología de trabajo, los cuales se ilustran en la siguiente figura:

**Cuadro 5.1: Etapas de la modelación matemática**

<b>Modelación Matemática</b>
<i>Paso 1:</i> Identificación de las variables de decisión
<i>Paso 2:</i> Identificación de la función objetivo
<i>Paso 3:</i> Identificación de las restricciones
<i>Paso 4:</i> Traducción de los elementos anteriores a un modelo matemático

Fuente: Página web [www.Icc.uma.es](http://www.Icc.uma.es)

## 5.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE DECISIÓN

En primer lugar, se realizará una diferenciación entre las variables de decisión (variables sobre las cuales se tiene control) y los parámetros del modelo (lo que no se puede modificar).

**Cuadro 5.2: Definición de variables y parámetros**

<b>Variables de decisión</b>	<b>Parámetros</b>
➤ Clientes (X)	➤ Costos de transporte (C)
➤ Camiones (V)	➤ Niveles de carga (N)
	➤ Tiempos de viaje (T)
	➤ Tiempos de estadía (e)
	➤ Capacidad de los camiones (P)

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.1 Variables de decisión.

Como se puede observar en la tabla anterior, existen 2 variables de decisión, (Variables binarias) las cuales se definen a continuación:

$$X_{ijr} = \begin{cases} 1 & \text{si el cliente } j \text{ desde } i \text{ se une a una ruta } r \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$V_{kr} = \begin{cases} 1 & \text{si el camión } k \text{ abastece a la ruta } r \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$



Donde  $i, j = 0, \dots, n$ ;  $n =$  Número de clientes incluyendo el centro de distribución ( $i=0$ ).  
 $k = 1, \dots, m$ ;  $m =$  Tipos de camiones.  
 $r = 1, \dots, p$ ;  $p =$  Cantidad de rutas.

Para las condiciones actuales que presenta la empresa, se tiene:

➤  $n = 20$

Debido a la cantidad de clientes que presenta la empresa, se realizará una agrupación de estos dependiendo de la localidad en la cual se encuentran ubicados. Por tal motivo, se tiene una cantidad de 20 clientes (localidades) para ser abastecidos. El cliente N° 0 corresponde al centro de distribución.

➤  $m = 2$

La empresa arrienda actualmente sólo 2 tipos de camiones con distintas capacidades.

➤  $p = 4$

La máxima cantidad de rutas que actualmente se pueden implementar son 4, debido a que la frecuencia de reparto es de 3 veces por semana (6 días hábiles).

### 5.2.2 Parámetros

Los parámetros necesarios de estimar para utilizar en este modelo son los siguientes:

➤ **Costos de transporte**

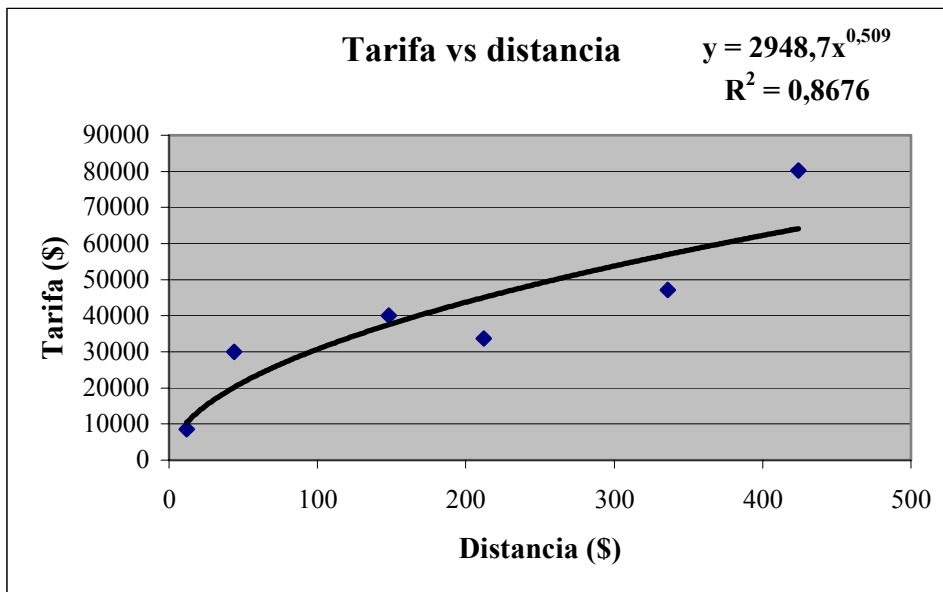
$C_{ijk}$ : Costo de transporte entre el cliente  $i$  y el cliente  $j$  asociados al camión  $k$ .

Para estimar el valor de los costos de transporte, se graficará la relación existente entre la tarifa pagada a la empresa de transporte proveedora de los vehículos por destino y la distancia recorrida para realizar ese destino por cada uno de los camiones que arrienda actualmente la empresa. Cabe destacar que el valor cobrado tiene una variabilidad de efecto de la cantidad de kilómetros vs la cantidad de volumen transportado.

Estos datos fueron proporcionados por la empresa<sup>1</sup> (costos).

1. Los datos graficados, así como los costos por cliente se encuentran disponibles en la sección de anexos.

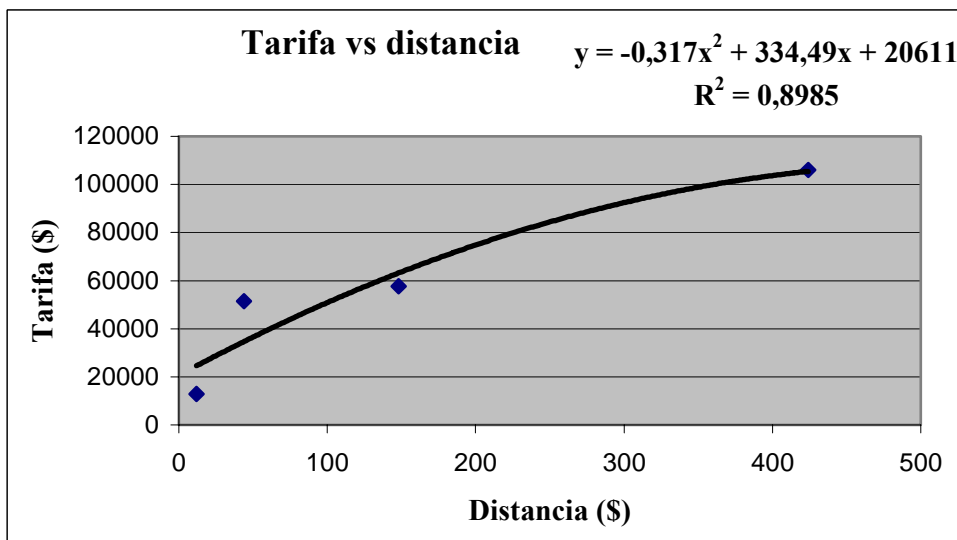
**Gráfico 5.1: Estimación de costos de transporte camión N°1**



**Fuente:** Elaboración propia en base a información proporcionada por la empresa

Como se observa en la gráfica, la ecuación que mejor describe el comportamiento de los costos para el camión N°1, es una curva potencial, cuyo factor de correlación es de un 86,76%.

**Gráfico 5.2: Estimación de costos de transporte camión N°2**



**Fuente:** Elaboración propia en base a información proporcionada por la empresa

Para el camión N°2, la ecuación que se utilizó para la estimación de los costos, es un polinomio de grado 2, cuyo factor de correlación es de un 89,85%, debido a que la curva logarítmica que mejor describe el comportamiento de los costos, sólo se puede

utilizar para distancias mayores a 7 Km., sino el resultado entrega un valor negativo que no corresponde. Afortunadamente la diferencia entre el factor de correlación de ambas curvas es mínima y corresponde a un 2,24%, por lo tanto se utilizará sin problemas la ecuación polinómica de grado 2.

➤ **Nivel de carga de los clientes**

$n_i$ : Nivel de carga del cliente  $i$

Para calcular el nivel de carga de cada cliente, se considera el nivel máximo obtenido en las mediciones en terreno y en base a la recolección de datos, debido a que si se considera el promedio, se estaría subestimando el problema de la capacidad de los camiones y crearía conflictos al momento de implementar las rutas (un leve aumento del nivel de carga puede no permitir la utilización de un determinado camión seleccionado). Por otro lado, si se considera el nivel máximo de carga medido, podría aumentar el costo general de implementar la ruta, pero se elimina en gran medida el problema de la capacidad y la ruta puede de igual forma ser implementada<sup>2</sup>.

➤ **Tiempos de viaje y estadía**

$t_{ij}$ : Tiempo de viaje del camión entre el cliente  $i$  y  $j$ .

$e_i$ : Tiempo de estadía en el cliente  $i$ .

Los tiempos de viaje y estadía entre cada uno de los clientes, son un parámetro importante de tener en cuenta, ya que nos brinda el tiempo de duración total de la ruta asignada, la cual no debe exceder las 8 horas si el camión sólo es manejado por 1 chofer<sup>3</sup>. Los tiempos de ruta incluyen no sólo los tiempos de viaje, sino también los tiempos de estadía en cada uno de los locales y clientes. Estos tiempos se obtuvieron a través de las mediciones en terreno y corresponden a la suma de los promedios de los tiempos de viaje y estadía entre cada uno de los locales o clientes abastecidos<sup>4</sup>.

2. Los niveles de carga por cliente, se encuentran en la sección de anexos.

3. Por reglamento, la cantidad de horas que un chofer puede manejar a la semana es de 45 horas. (Ver anexos).

4. La tabla con los tiempos de viaje se encuentra en la sección de anexos.

➤ **Capacidad de los camiones**

$P_k$ : Capacidad de transporte del camión  $k$ .

La capacidad de los camiones que actualmente arrienda la empresa es la siguiente:

**Cuadro 5.3: Capacidad de los camiones**

$V_k$ ( $k=1,2$ )	$P_k$ ( $k=1,2$ )
$V_1$	5.000kg
$V_2$	12.000kg

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 IDENTIFICACIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

La función objetivo que se busca, responde a la pregunta:

*¿Qué combinación de clientes, atendidos por un camión de igual capacidad, forman 4 rutas a un mínimo costo?*

Como se puede observar, la definición de la función objetivo, tiene relación con una minimización de costos, que involucra tanto a los clientes, como a las rutas y camiones utilizados para abastecer a cada cliente.

### 5.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS REESTRICCIONES

- Todo cliente debe pertenecer a una única ruta.
- Los clientes deben ser atendidos sólo una vez por ruta y por un único camión.
- Una ruta siempre debe comenzar y terminar en el centro de distribución.
- La ruta debe seguir un orden establecido.
- Los niveles de carga de los clientes atendidos en una ruta, no deben exceder la capacidad de transporte del camión que los abastece.
- El tiempo máximo de duración de una ruta, no debe ser mayor a 7 horas y 30 minutos.

**5.5 TRADUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS ANTERIORES A UN MODELO MATEMÁTICO**

**5.5.1 Presentación del modelo bajo las condiciones actuales**

Según los datos recolectados y la información obtenida anteriormente, el modelo de transporte para la asignación de rutas es el siguiente:

$$\mathbf{F.O:} \quad \text{Min } C = \sum_{r=1}^4 \sum_{k=1}^2 \sum_{j=0}^{20} \sum_{i=0}^{20} (V_{kr} \times C_{ijk} \times X_{ijr})$$

**S/A:**

Variables binarias:

$$X_{ijr} \in \{0,1\}$$

$$V_{kr} \in \{0,1\}$$

1. Cada ruta r debe ser abastecida por un único camión:

$$\sum_{k=1}^2 V_{kr} = 1 \quad \forall r = 1, \dots, 4$$

2. Todo cliente debe pertenecer a una única ruta:

$$\sum_{r=1}^4 X_{0jr} \leq 1 \quad \forall j = 1, \dots, 20$$

$$\sum_{r=1}^4 X_{i0r} \leq 1 \quad \forall j = 1, \dots, 20$$

$$\sum_{r=1}^4 (X_{1jr} + X_{j1r}) \leq 1 \quad \forall j = 2, \dots, 20$$

:

:

$$\sum_{r=1}^4 (X_{19jr} + X_{j19r}) \leq 1 \quad \forall j = 20$$

3. Toda ruta comienza desde el centro de distribución:

$$\sum_{j=1}^{20} X_{0jr} = 1 \quad \forall r = 1, \dots, 4$$

4. Toda ruta termina en el centro de distribución:

$$\sum_{i=1}^{20} X_{i0r} = 1 \quad \forall r = 1, \dots, 4$$

5. Todo cliente debe ser abastecido por una ruta y por un único camión:

$$\sum_{r=1}^4 \sum_{i=0}^{20} \sum_{j=0}^{20} X_{ijr} = 24$$

6. Todo cliente debe ser abastecido sólo una vez:

$$\sum_{r=1}^4 \sum_{i=0}^{19} X_{ijr} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, 20$$

7. Desde el cliente  $i$  se puede abastecer a sólo uno de los clientes  $j$ :

$$\sum_{r=1}^4 \sum_{j=0}^{20} X_{ijr} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, 20$$

8. Orden de la ruta:

$$\sum_{j=0}^{20} (X_{jir}) - \sum_{j=0}^{20} (X_{ijr}) = 0 \quad \forall r = 1, \dots, 4$$

$$\forall i = 1, \dots, 20$$

9. Tiempo máximo de duración de una ruta:

$$\sum_{i=0}^{20} \sum_{j=1}^{20} t_{ij} X_{ijr} + \sum_{j=1}^{20} e_j \left( \sum_{i=0}^{20} X_{ijr} \right) \leq 450 \quad \forall r = 1, \dots, 4$$

10. Nivel de carga permitido por ruta:

$$V_{kr} \times \left( \sum_{i=1}^{20} n_i \left( \sum_{j=0}^{20} X_{jir} \right) \right) \leq P_k \quad \forall r = 1, \dots, 4$$

$$\forall k = 1, 2$$

11. Eliminar índices repetidos:

$$\sum_{i=0}^{20} \sum_{j=0}^{20} X_{ijr} = 0 \quad \forall r=1, \dots, 4$$
$$\forall i=j$$

## 5.6 ANÁLISIS DEL MODELO

El modelo presentado anteriormente, corresponde a un *modelo de asignación* de rutas, con variables binarias X y V, cuyo significado es el siguiente:

- X: Clientes a atender por ruta.
- V: Camión a utilizar por ruta.

El modelo está compuesto por una cantidad de 1.772 variables, de las cuales 1.764 corresponden a la combinación de clientes-ruta (X) y sólo 8 de ellas corresponden a la combinación camión-ruta (V).

La función objetivo del modelo minimiza los costos de transporte de los productos entre los distintos clientes, y para ello, se considera el costo de abastecerlos con cada uno de los tipos de camiones con que la empresa trabaja actualmente. Dicha función objetivo corresponde a una función cuadrática, ya que considera la combinación de las dos variables X y V.

Las restricciones del modelo corresponden a 380, todas ellas son funciones lineales. A continuación se presenta el cuadro con el detalle del número de restricciones por cada una de ella:

**Cuadro 5.4: Cantidad de restricciones**

Restricción N°	Cantidad
1.	4
2.	230
3.	4
4.	4
5.	1
6.	20
7.	20
8.	80
9.	4
10.	8
11.	4
<b>Total<sup>5</sup></b>	<b>379</b>

**Fuente: Elaboración propia**

5. Al total de restricciones, se agrega la restricción correspondiente a la definición de las variables como binarias



De acuerdo a la estructura del modelo (Función objetivo cuadrática y restricciones lineales), éste se considera un modelo de programación cuadrática.

Como se dijo anteriormente, este modelo representa la situación actual de la empresa, las condiciones pueden variar con el tiempo, es decir, la empresa puede contratar el servicio de más camiones, realizar nuevos contratos con clientes o agregar una nueva ruta. A continuación se analizará el comportamiento del modelo en cada uno de los casos mencionados:

### **5.6.1 Caso 1: Incorporación de un nuevo camión a la flota**

Al agregar un nuevo camión a la flota actual, el número de variables crece en un 33,3%, lo que corresponde a  $1/3$ . Se agregan 884 variables al modelo (882 variables  $X$  y 2 variables  $V$ ), por lo tanto de 1.772 aumentan a 2.656 variables.

En cuanto a las restricciones, estas aumentan de 380 a 384, es decir, aumentan en sólo un 1,1%. La única restricción que se ve afectada en este caso, es la del nivel de carga permitido por ruta.

### **5.6.2 Caso 2: Incorporación de nuevo cliente**

En el caso de incorporar a un nuevo cliente al modelo, el número de variables crece en un 9,7%. Se agregan 172 variables al modelo (combinaciones clientes-rutas), por lo tanto de 1.772 aumentan a 1.944 variables.

Las restricciones del modelo aumentan de 380 a 410, es decir, se agregan 30 nuevas restricciones. Este aumento corresponde a un 7,8%. Las restricciones afectadas son las siguientes:

- Todo cliente debe pertenecer a una única ruta.  
24 nuevas restricciones.
- Todo cliente debe ser abastecido sólo 1 vez.  
1 nueva restricción.
- Desde el cliente  $i$  se puede abastecer a sólo uno de los clientes  $j$ .  
1 nueva restricción.
- Orden de la ruta.  
4 nuevas restricciones.

### 5.6.3 Caso 3: Incorporación de nueva ruta

Este último caso es similar al primero, ya que al modelo se agregan 882 nuevas variables  $X$  y 2 nuevas variables  $V$ .

El número de restricciones del modelo aumentan de 380 a 406, es decir, se agregan 26 nuevas restricciones. Este aumento corresponde a un 6,8%. Las restricciones afectadas son las siguientes:

- Cada ruta  $r$  debe ser abastecida por un único camión.  
1 nueva restricción.
- Toda ruta comienza desde el centro de distribución.  
1 nueva restricción.
- Toda ruta termina en el centro de distribución.  
1 nueva restricción.
- Orden de la ruta  
20 nuevas restricciones.
- Tiempo máximo de duración de una ruta  
1 nueva restricción.
- Nivel de carga permitido por ruta.  
1 nueva restricción.
- Eliminar índices repetidos.  
1 nueva restricción.

Si las condiciones de la empresa varían, como se presentó anteriormente, el modelo deberá necesariamente ser adaptado, al introducir o retirar nuevas variables y restricciones. Para ello, la empresa deberá modificar los parámetros y/o variables de decisión definidas en el modelo programado en C++<sup>6</sup>, así como también los archivos de lectura generados con los datos a utilizar en el modelo. La programación de la función objetivo y sus restricciones, se encuentran claramente especificadas para facilitar los cambios a realizar en el modelo. Si se requiere alguna modificación en cuanto a los tiempos de duración máximos de las rutas, esto se puede realizar por medio de una ventana que genera el programa, la cual solicita dicho dato. Esta ventana además solicita los archivos de lectura a utilizar, los cuales deberán ser modificados con anterioridad en caso de ser requerido.

6. La programación del modelo se encuentra en anexos 7.

# CAPÍTULO 6

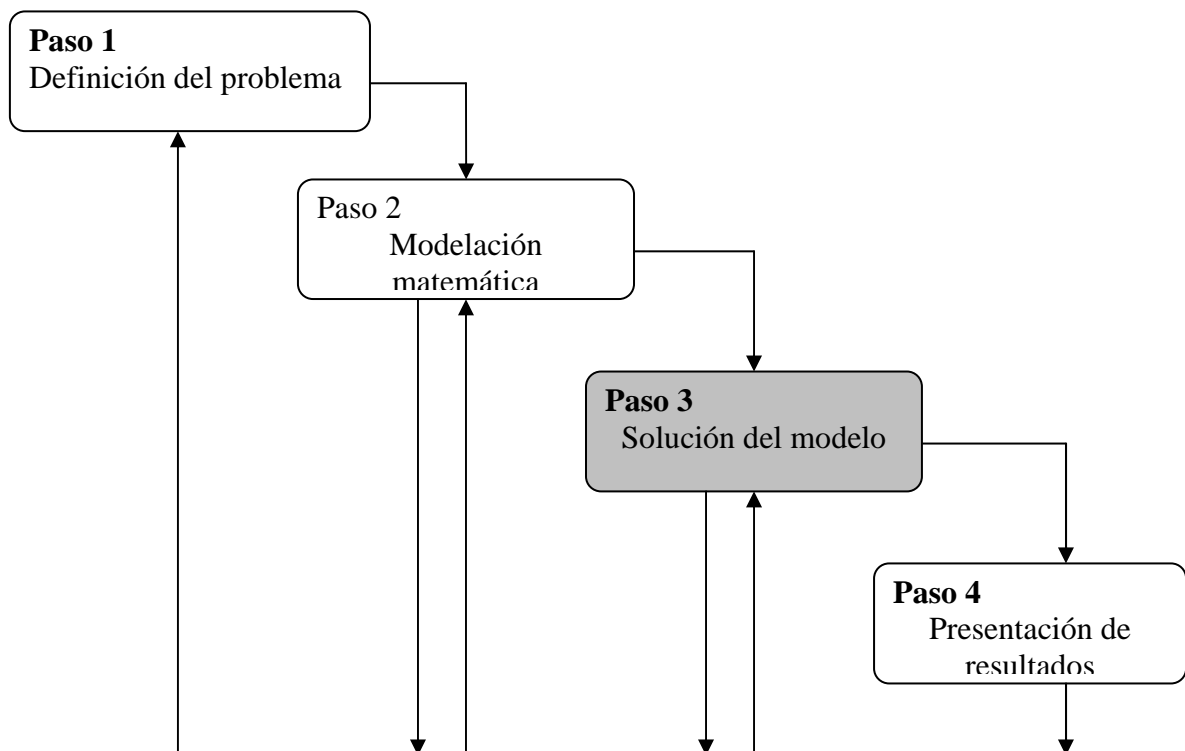
## SOLUCIÓN DEL MODELO

*En este capítulo se presenta, en primer lugar, el software computacional escogido para la resolución del modelo, sus características y funcionamiento. Luego a través de un ejemplo se demuestra la forma en que opera el programa, así como los resultados que entrega el modelo simplificado. Por último se muestra el resultado obtenido aplicando el modelo original y los análisis correspondiente de acuerdo al resultado obtenido finalmente.*

## 6.1 METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN

Una vez aceptado el modelo que mejor describe la situación actual de la empresa, se procederá a la siguiente etapa que corresponde a la resolución del problema, como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 6.1: Metodología de resolución de un modelo, paso 3**



Las etapas que corresponden a este paso y que se desarrollarán a continuación, son las siguientes:

**Cuadro 6.1: Etapas de la solución del modelo**

Solución del modelo
<i>Paso 1:</i> Elección de la técnica de resolución adecuada.
<i>Paso 2:</i> Generación de las soluciones del modelo.
<i>Paso 3:</i> Análisis de los resultados.
<i>Paso 4:</i> Si los resultados son inaceptables, revalidar el modelo matemático.

Fuente: Página web [www.Icc.uma.es](http://www.Icc.uma.es)

## 6.2 ELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE RESOLUCIÓN ADECUADA

Como se observa en el capítulo anterior, el problema ha sido planteado como un modelo de asignación utilizando variables binarias. La función objetivo representa una función cuadrática y las restricciones son ecuaciones lineales.

Debido a la cantidad de puntos de venta que posee la empresa, las variables del modelo llegan a ser 1.772, y la cantidad de restricciones 380, por tal motivo, se necesita de un programa que sea capaz de resolver modelos de gran envergadura.

En primer lugar, se intentó utilizar la herramienta computacional Ilog Cplex, pero se generaron problemas, debido a la poca información con que se cuenta del programa en la Universidad y a la complejidad de su utilización para resolver modelos de programación cuadrática, además de no encontrarse instalado en los computadores de la facultad.

Luego de descartada la utilización del programa mencionado anteriormente, surgió la posibilidad de resolver el modelo mediante un nuevo software denominado LINGO, programa especializado en resolver modelos de optimización, y cuya forma de operar, no resulta dificultosa a la hora de aprender a utilizarlo. La versión con la cual se trabajó fue “LINGO 9.0” Extended<sup>1</sup>, cuya capacidad de resolución de problemas no tiene límites, tanto para las restricciones como para las variables (enteras y no lineales).

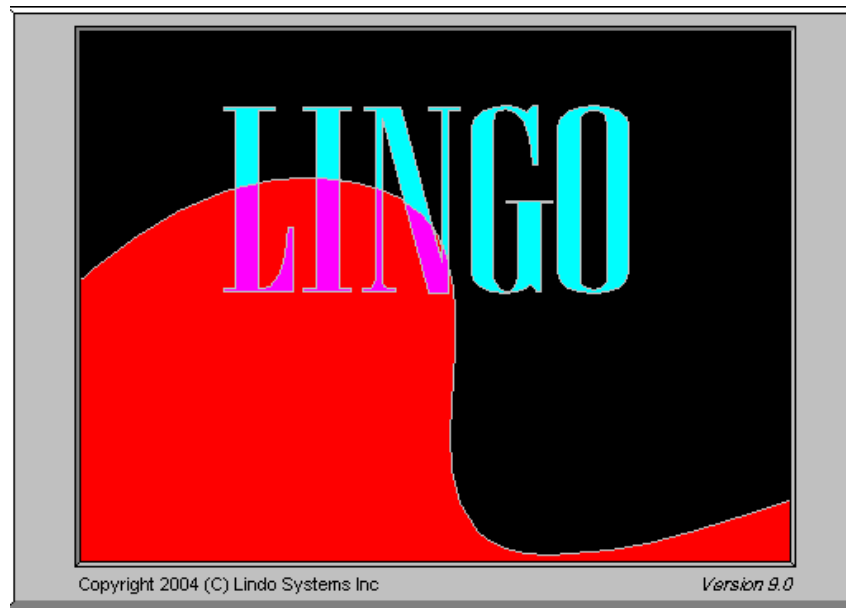
### 6.2.1 LINGO:

LINGO es una herramienta simple que permite utilizar el poder de la optimización lineal y no lineal para formular grandes problemas concisamente, resolverlos, y analizar la solución. La optimización ayuda a encontrar la respuesta que satisface el mejor resultado. Frecuentemente, estos problemas involucraban el uso mas eficiente de los recursos (dinero, tiempo, maquinaria, personal, etc.).

---

1. La licencia de la versión Extended del programa LINGO 9.0, fue solicitada y prestada por la compañía Lindo System, ubicada en E.E.U.U., por un período de 1 mes.

Figura 6.2: Programa LINGO



### 6.2.2 Lenguaje de modelación.

Para ingresar el modelo al programa LINGO, se desarrollará el código a través del lenguaje C++, debido al tamaño del modelo que dificulta ser escrito directamente en el programa.

El archivo generado en C++, se guardará con una extensión .lg4, para así poder ser reconocido y resuelto a través de LINGO. Esta es una de las modalidades para plantear y resolver distintos modelos de optimización.

Cabe destacar que existen procedimientos en lenguaje de LINGO que se deben respetar, como la inicialización del modelo y la declaración de las variables como binarias.

El procedimiento general se presenta a continuación:

Model:

Función Objetivo.

Restricciones.

Declaración de variables binarias.

End

### 6.2.3 Sintaxis de un modelo en LINGO:

La sintaxis para escribir los modelos en LINGO es muy sencilla y sus principales características se describen a continuación:

- Los nombres de las variables deben comenzar con un carácter alfabético (A-Z), los siguientes caracteres pueden ser alfabéticos, numéricos o subrayado (\_). Los nombres pueden ser de hasta 32 caracteres de longitud.
- Cada línea en LINGO finaliza con un punto y coma. Los punto y coma son requeridos. El modelo no se resolverá si falta algún punto y coma.
- Se pueden introducir comentarios, que serán ignorados por LINGO, comenzando con un signo de exclamación ! y terminando con un punto y coma. Los comentarios pueden ocupar varias líneas.
- Dado que la mayor parte de los computadores no tienen una tecla de menor o igual, LINGO ha adoptado como convención utilizar el símbolo  $\leq$  ó  $<$  para representar esta restricción. Lo mismo se usa  $\geq$  ó  $>$  para expresar mayor o igual.

#### *Uso de funciones de dominio de variables*

A menos que se especifique lo contrario, las variables en un modelo de LINGO son continuas y no negativas. Mas específicamente las variables pueden asumir cualquier valor real desde cero hasta mas infinito. En muchos casos este dominio para una variable puede ser inapropiado. Por ejemplo puede necesitarse que una variable asuma valores negativos, o solamente valores enteros. LINGO está provisto de cuatro funciones de dominio de variables que permiten sobrepasar el dominio por omisión de una variable:

**Cuadro 6.2: Funciones de dominio de variable**

<b>@GIN</b>	Limita la variable sólo a valores enteros
<b>@BIN</b>	Hace una variable binaria (0 ó 1)
<b>@FREE</b>	Permite que la variable tome cualquier valor real (positivo o negativo)
<b>@BND</b>	Limita la variable para que se ajuste a un rango finito

**Fuente:** Manual de Lingo. The modeling language and optimizar. Página 67.

Para el desarrollo del presente modelo, se necesitará declarar las variables como binarias, ya que se trata de un modelo de asignación.

**Ejemplos de uso de variables binarias:**

- @BIN(X); Transforma la variable escalar X en binaria
- @BIN(INCLUDE(4)); Transforma la variable INCLUDE(4) en binaria
- @FOR(ITEMS: @BIN(INCLUDE)); Transforma todas las variables del atributo INCLUDE en binarias

**6.2.4 Resolución de un modelo**

Para ordenar a LINGO a que resuelva el problema, se debe seleccionar el comando **Solve** del menú **LINGO**, o presionar el botón **Solve** de la barra de herramientas.

Si no hay errores en la formulación del problema durante la etapa de compilación, LINGO invocará al módulo de resolución adecuado para buscar la solución óptima.

**6.2.5 Dimensiones máximas.**

El número máximo de restricciones y variables que LINGO puede manejar depende de la versión. Los límites de las distintas versiones son:

**Cuadro 6.3: Dimensiones máximas**

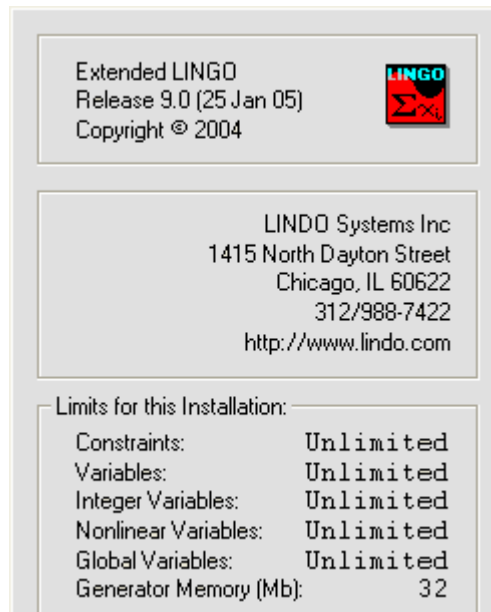
Versión	Restricciones	Variables	Variables enteras	Variables no lineales
Demo/Web	50	100	-	-
Solver Suite	250	500	50	50
Super	1.000	2.000	200	200
Hyper	4.000	8.000	800	800
Industrial	16.000	32.000	3.200	3.200
<b>Extended<sup>2</sup></b>	<b>Sin límite</b>	<b>Sin límite</b>	<b>Sin límite</b>	<b>Sin límite</b>

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por manual LINGO.

2. Versión a utilizar.



**Figura 6.3: Versión Extended**



### 6.3 EJEMPLO DEMOSTRATIVO

A continuación se presentará un ejemplo demostrativo, donde se aplicará el modelo desarrollado anteriormente, sólo considerando 3 clientes, 2 camiones y 2 rutas, el cual luego se resolverá a través del programa LINGO.

***Datos:***

Costos camión 1: 
$$\begin{pmatrix} 0 & 20 & 10 & 50 \\ 20 & 0 & 30 & 40 \\ 10 & 30 & 0 & 10 \\ 50 & 40 & 10 & 0 \end{pmatrix}$$

Costos camión 2: 
$$\begin{pmatrix} 0 & 30 & 20 & 60 \\ 30 & 0 & 40 & 50 \\ 20 & 40 & 0 & 20 \\ 60 & 50 & 20 & 0 \end{pmatrix}$$

Tiempos de viaje: 
$$\begin{pmatrix} 0 & 40 & 55 & 70 \\ 40 & 0 & 75 & 110 \\ 55 & 75 & 0 & 100 \\ 70 & 110 & 100 & 0 \end{pmatrix}$$

Tiempo máximo de duración de una ruta: 200 minutos.

**Cuadro 6.4: Datos niveles de carga y tiempos de estadía**

Cliente	Niveles de carga	Tiempos de estadía
0	0	0
1	400	20
2	500	10
3	600	15

**Cuadro 6.5: Datos capacidad de camiones**

Camión	Capacidad
1	500
2	1.000

**Cuadro 6.6: Tiempos de espera de los clientes**

Cliente	Tiempo de espera
1	20min
2	10min
3	15min

A continuación se ingresa el modelo al programa. Como este ejemplo no es extenso, el ingreso se realiza directamente al programa LINGO, es decir, no es necesario generar un archivo por medio de la programación del modelo en el lenguaje C++.

model :

!Función objetivo;

Min=

V11\*(20\*X011+20\*X101+10\*X021+10\*X201+50\*X031+50\*X301+30\*X121+30\*X211+40\*X131+40\*X311+10\*X231+10\*X321)+V21\*(30\*X011+30\*X101+20\*X021+20\*X201+60\*X031+60\*X301+40\*X121+40\*X211+50\*X131+50\*X311+20\*X231+20\*X321)+V12\*(20\*X012+20\*X102+10\*X022+10\*X202+50\*X032+50\*X302+30\*X122+30\*X212+40\*X132+40\*X312+10\*X232+10\*X322)+V22\*(30\*X012+30\*X102+20\*X022+20\*X202+60\*X032+60\*X302+40\*X122+40\*X212+50\*X132+50\*X312+20\*X232+20\*X322);

!Restricciones;

V11+V21=1;

V12+V22=1;

X011+X101+X021+X201+X031+X301+X121+X211+X131+X311+X231+X321+X012+X102+X022+X202+X032+X302+X122+X212+X132+X312+X232+X322=5;

X011+X012<=1;

X021+X022<=1;

X031+X032<=1;

X101+X102<=1;

X201+X202<=1;

X301+X302<=1;

```

X011+X021+X031=1;
X012+X022+X032=1;
X101+X201+X301=1;
X102+X202+X302=1;

X121+X122+X211+X212<=1;
X131+X132+X311+X312<=1;
X231+X232+X321+X322<=1;

X011+X012+X211+X212+X311+X312=1;
X021+X022+X121+X122+X321+X322=1;
X031+X032+X131+X132+X231+X232=1;

X101+X102+X121+X122+X131+X132<=1;
X201+X202+X211+X212+X231+X232<=1;
X301+X302+X311+X312+X321+X322<=1;

X011+X211+X311-X101-X121-X131=0;
X012+X212+X312-X102-X122-X132=0;
X021+X121+X321-X201-X211-X231=0;
X022+X122+X322-X202-X212-X232=0;
X031+X131+X231-X301-X311-X321=0;
X032+X132+X232-X302-X312-X322=0;

40*X011+40*X101+55*X021+55*X201+70*X301+70*X031+75*X121+75*X211+110*X131
+110*X311+100*X231+100*X321+20*(X011+X211+X311)+10*(X021+X121+X321)+15*(
X031+X131+X231)<=200;
40*X012+40*X102+55*X022+55*X202+70*X302+70*X032+75*X122+75*X212+110*X132
+110*X312+100*X232+100*X322+20*(X012+X212+X312)+10*(X022+X122+X322)+15*(
X032+X132+X232)<=200;

V11*(400*X011+500*X021+600*X031+500*X121+400*X211+600*X131+400*X311+600*
X231+500*X321)<=500;
V21*(400*X011+500*X021+600*X031+500*X121+400*X211+600*X131+400*X311+600*
X231+500*X321)<=1000;
V12*(400*X012+500*X022+600*X032+500*X122+400*X212+600*X132+400*X312+600*
X232+500*X322)<=500;
V22*(400*X012+500*X022+600*X032+500*X122+400*X212+600*X132+400*X312+600*
X232+500*X322)<=1000;

@BIN(X011);
@BIN(X101);
@BIN(X021);
@BIN(X201);
@BIN(X031);
@BIN(X301);
@BIN(X121);
@BIN(X211);
@BIN(X131);
@BIN(X311);
@BIN(X231);
@BIN(X321);
@BIN(X012);
@BIN(X102);
@BIN(X022);
@BIN(X202);
@BIN(X032);
@BIN(X302);
@BIN(X122);
@BIN(X212);
@BIN(X132);

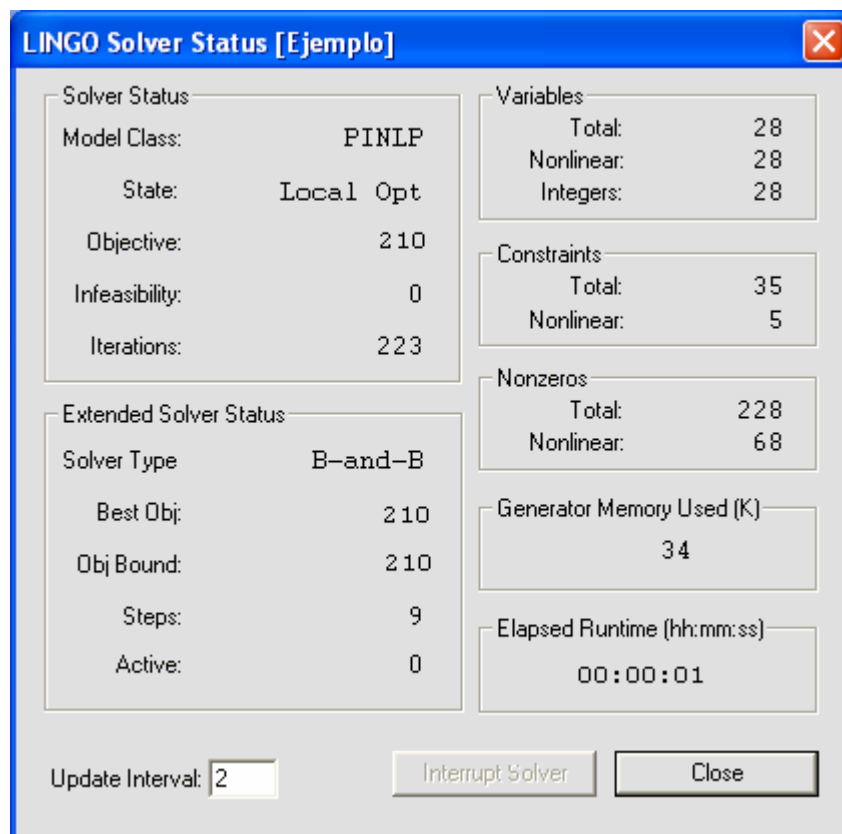
```

```

@BIN(X312);
@BIN(X232);
@BIN(X322);
@BIN(V11);
@BIN(V21);
@BIN(V12);
@BIN(V22);
END
    
```

Una vez ingresado el modelo, se aprieta el botón solve y se obtiene el resultado presentado en la ventana siguiente:

**Figura 6.4: Solución ejemplo**



```

Local optimal solution found.
Objective value:                210.0000
Extended solver steps:          9
Total solver iterations:        223
    
```

Variable	Value	Reduced Cost
V11	0.000000	-30.00000
X011	1.000000	0.000000
X101	0.000000	0.000000
X021	0.000000	0.000000
X201	1.000000	0.000000
X031	0.000000	0.000000
X301	0.000000	0.000000
X121	1.000000	50.00000
X211	0.000000	30.00000
X131	0.000000	20.00000
X311	0.000000	0.000000

X231	0.000000	0.000000
X321	0.000000	0.000000
V21	1.000000	0.000000
V12	0.000000	-20.000000
X012	0.000000	0.000000
X102	0.000000	0.000000
X022	0.000000	0.000000
X202	0.000000	0.000000
X032	1.000000	0.000000
X302	1.000000	0.000000
X122	0.000000	50.000000
X212	0.000000	30.000000
X132	0.000000	20.000000
X312	0.000000	0.000000
X232	0.000000	0.000000
X322	0.000000	0.000000
V22	1.000000	0.000000

El resultado final se resume a continuación:

Ruta 1:

Clientes: 0 – 1 – 2 – 0  Abastecidos por camión N°2

Ruta 2:

Clientes: 0 – 3 – 0  Abastecidos por camión N°2

Costo total por 2 rutas: \$210
--------------------------------

Si se analiza el resultado de la asignación de las rutas, resulta coherente, al cumplir cada ruta con las restricciones especificadas, es decir:

- La ruta comienza y termina en el centro de distribución ( $X_0$ ).
- Los clientes son abastecidos sólo 1 vez por una única ruta.
- La ruta 1 es abastecida por el camión N°2, ya que su nivel de carga es mayor a 500kg y a su vez menos a 1.000kg (900kg).
- La ruta 2 es abastecida también por el camión N°2, ya que su nivel de carga es mayor a 500kg y menor a 1.000kg (600kg).
- El tiempo de duración de la ruta N°1 es de 200 minutos, por lo tanto cumple con la condición de no exceder los 200 minutos máximos.
- El tiempo de duración de la ruta N°2 es de 155 minutos, por lo tanto tampoco excede el tiempo máximo de duración (200 minutos).

## 6.4 GENERACIÓN DE LAS SOLUCIONES DEL MODELO

### 6.4.1 Pasos a seguir

En primer lugar, aparecerá la ventana siguiente, donde se deben ingresar los datos requeridos por el modelo programado en C++<sup>3</sup>. Los datos se encuentran almacenados en archivos.txt. También, como se puede observar, el programa solicita el tiempo máximo de duración de cada ruta (Se considera el tiempo en minutos).

Figura 6.5: Ingreso de datos

```

C:\Documents and Settings\Paola\Escritorio\Pao\Memoria\LINGO\Programas C\generar.exe
Datos Camion 1: camion1.txt
Datos Camion 2: camion2.txt
Imprimiendo Funcion Objetivo...
Imprimiendo Restricciones...
    Cada ruta debe ser abastecida por un unico camion...
    Todo cliente debe pertenecer a una unica ruta...
        Para el centro de Distribucion...
        Para el termino en el centro de distribucion...
        Para los clientes restantes...
    Toda ruta comienza desde el centro de distribucion...
    Toda ruta termina en el centro de distribucion...
    Todo cliente deber ser abastecido por una ruta y por un unico camion...
    Todo cliente debe ser abastecido solo una vez...
    Desde el cliente i se puede abastecer a solo un cliente j...
    Orden de la ruta...
    Tiempo maximo de duracion de una ruta...
Ingrese el tiempo maximo de duracion de una ruta: 450
Tiempos: tiempos.txt
Estadia: estadia.txt
    Nivel de carga permitido por ruta...
Niveles: niveles.txt
    No repeticion de subindices...
Imprimiendo variables binarias...
Proceso finalizado...
  
```

Luego de ingresar los datos y presionar el botón **enter** del teclado, el modelo ingresa al programa LINGO para ser resuelto.

Una vez ingresado el modelo al programa, se aprieta el botón **solve** para obtener la solución.

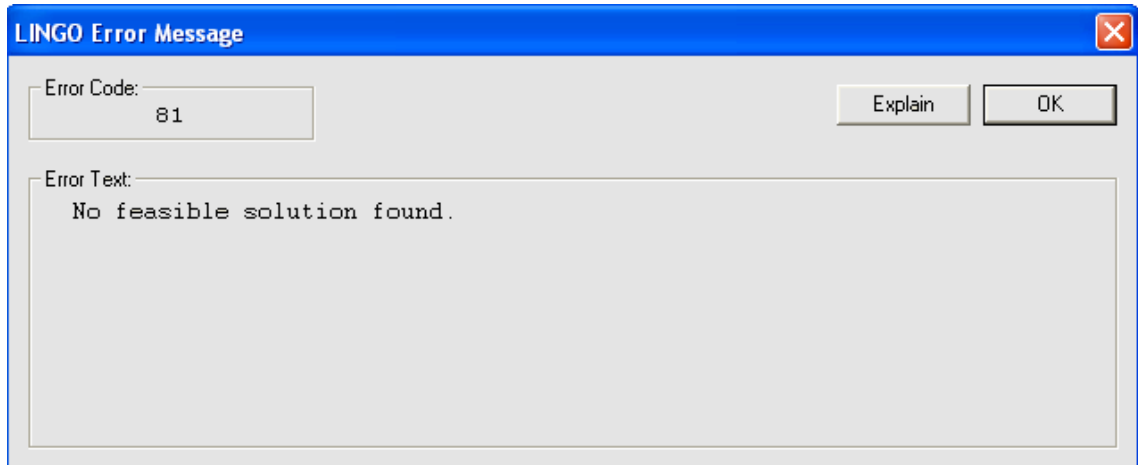
3. En la sección de anexos se muestra la programación del modelo.

### 6.4.2 Primer caso:

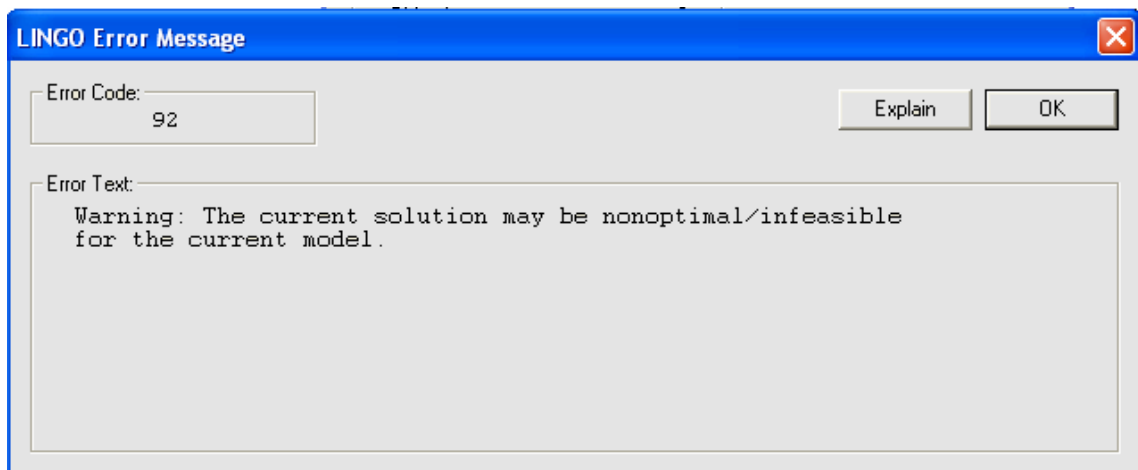
Solución del modelo original.

Las primeras ventanas en aparecer, son aquellas que señalan los errores generados:

**Figura 6.6: Primer error**



**Figura 6.7: Segundo error**



Luego, el programa muestra el estado de la solución generada:

**Figura 6.8: Resultado modelo original**



```
No feasible solution found.
Extended solver steps:                0
Total solver iterations:              1760
```

La solución encontrada para este caso es infactible<sup>4</sup>.

4. La explicación de este resultado se realizará en la sección de análisis.

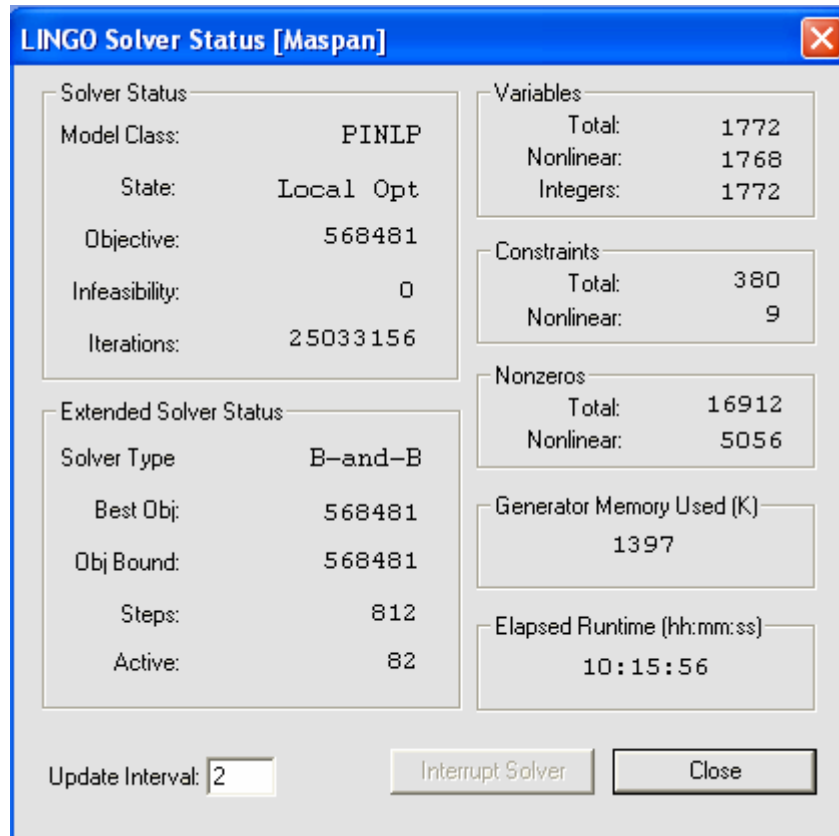


### 6.2.3 Segundo caso:

Variación en los tiempos máximos de duración de una ruta (450 y 720 minutos respectivamente).

El resultado generado, se presenta a continuación en la siguiente ventana:

**Figura 6.9: Resultado segundo caso**



```
Feasible solution found.
Objective value:                568481.0
Extended solver steps:          812
Total solver iterations:        25033156
```

Variable	Value	Reduced Cost
X0_11_1	1.000000	995.9990
X11_18_1	1.000000	9306.002
X18_19_1	1.000000	0.000000
X19_20_1	1.000000	19003.00
X20_0_1	1.000000	0.000000
V2_1	1.000000	30534.00
V1_2	1.000000	0.000000
X0_9_2	1.000000	0.000000
X8_0_2	1.000000	3340.000
X9_10_2	1.000000	6798.000
X10_12_2	1.000000	0.000000
X12_13_2	1.000000	0.000000
X13_15_2	1.000000	0.000000
X15_8_2	1.000000	0.000000

V1_3	1.000000	0.000000
X0_14_3	1.000000	13424.00
X14_16_3	1.000000	0.000000
X16_17_3	1.000000	0.000000
X17_0_3	1.000000	0.000000
V1_4	1.000000	0.000000
X0_1_4	1.000000	0.000000
X1_2_4	1.000000	0.000000
X2_3_4	1.000000	0.000000
X3_4_4	1.000000	373.4996
X4_5_4	1.000000	0.000000
X5_6_4	1.000000	0.000000
X6_7_4	1.000000	0.000000
X7_0_4	1.000000	0.000000

## 6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El resultado obtenido anteriormente, presenta las nuevas rutas obtenidas en base al modelo realizado en el capítulo anterior.

### 6.5.1 Análisis de tiempos

La primera observación importante de realizar, es el hecho de que el problema original no tiene solución, es decir es infactible. La restricción que originó el problema es la relacionada con los tiempos máximos de duración de cada ruta, los cuales no pueden exceder las 7 horas 30 minutos por cada una de ellas, las cuales tienen una frecuencia promedio de 3 veces por semana, con lo cual se completarían las 45 horas laborales semanales por chofer que debe cumplir la empresa según la nueva normativa laboral<sup>5</sup>. Este resultado era predecible debido al diagnóstico realizado a la empresa anteriormente, donde sólo una de las rutas respetaba esta restricción, aunque en ella no se incluía la ruta Curicó costa, la cual se incorporó para realizar la distribución de las nuevas rutas. Este incumplimiento de las horas de trabajo se debe principalmente a los tiempos de estadía en cada uno de los clientes, los cuales representan un elevado porcentaje de los tiempos de la ruta. Cabe destacar que los tiempos de estadía no sólo contemplan los tiempos de descarga, los cuales pueden ser manejables para la empresa, sino que contiene además los tiempos de espera, los cuales no se pueden controlar, ya que dependen del sistema de recepción de los clientes abastecidos.

A continuación, en la siguiente tabla, se muestran los porcentajes de los tiempos de estadía en relación al tiempo total de duración de una ruta, los cuales son los principales responsables de la infactibilidad del problema original.

**Cuadro 6.7: Análisis de tiempos rutas actuales**

Ruta N°	Tiempo total ruta	Tiempo de estadía	% tiempo de estadía	Tiempo de viaje	% tiempo de viaje
1	577min	334min	57,9%	243min	42,1%
2	622min	240min	38,6%	382min	61,4%
3	637min	170min	26,7%	467min	73,3%
4	312min	214min	68,6%	98min	31,4%

**Fuente: Elaboración propia.**

5. Para mayor información de la nueva ley laboral, ir a sección de anexos.

Como se puede observar, los porcentajes de estadía son considerablemente altos, en general representan el 44,6% de los tiempos totales de las rutas. Estos tiempos son importantes de considerar, debido a que son los únicos que pueden sufrir variaciones en las rutas, ya que los tiempos de viaje dependen exclusivamente de los kilómetros a recorrer.

Es importante destacar que los tiempos de estadía se componen a su vez de los tiempos de descarga y los tiempos espera. Los tiempos de descarga representan el mayor porcentaje del total de la estadía (69%), los cuales son mejorables, a diferencia de los tiempos de espera que no dependen de la empresa distribuidora sino de la eficiencia del sistema de recepción de cada una de las bodegas de los locales y de los clientes.

**Cuadro 6.8: Análisis tiempos de estadía de rutas actuales**

Ruta N°	Tiempo de estadía	Tiempo de descarga	% tiempo de descarga	Tiempo de espera	% tiempo de espera
1	334min	206min	61,7%	128min	38,3%
2	240min	179min	74,9%	61min	25,1%
3	170min	90min	52,9%	80min	47,1%
4	214min	186min	86,9%	28min	13,1%

**Fuente: Elaboración propia**


Por tal motivo, la realización de 4 rutas con una duración menor a 450 minutos, se hace infactible para la empresa, según las condiciones con las que actualmente realiza la distribución de los productos.


La siguiente alternativa que se evaluó, fue no considerar los tiempos de estadía en cada uno de los clientes, debido a la gran diferencia que ocurría en estos tiempos entre un día y otro (que se constató en las mediciones en terreno), pero esta alternativa fue eliminada al comprobar la gran influencia de estos tiempos en el tiempo total de duración de la ruta (que se analizó anteriormente), por lo tanto los resultados que se obtendrían, no reflejarían la realidad para la empresa.


La tercera alternativa a evaluar, fue aumentar los tiempos de duración de una ruta, de 450 minutos a 720 minutos, que corresponden a 12 horas diarias, sólo para 2 de las 4 rutas. Esta opción es factible si la empresa contrata los servicios de un nuevo camión para así cumplir con la normativa laboral.


Cabe destacar el tiempo que tardó el programa en encontrar el resultado (10hrs 15min.), con lo que se puede apreciar la lentitud de la resolución de un modelo con tales características a través de un software computacional.

A continuación se presentan y analizan los resultados de este segundo caso:

**Ruta 1:**                    0 – 11 – 18 – 19 – 20 – 0                     V2  
 Curicó – Hualañé – Licantén – Iloca  
 <= 720 minutos.

**Ruta 2:**                    0 – 9 – 10 – 12 – 13 – 15 – 8 – 0                     V1  
 Romeral – Los Guaicos – Lontué – Molina – San Clemente – Teno  
 <= 450 minutos.

**Ruta 3:**                    0 – 14 – 16 – 17 – 0                     V1  
 Talca – Cauquenes – Constitución  
 <= 720 minutos.

**Ruta 4:**                    0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 0                     V1  
 Santa Cruz – Peralillo – Población – Marchigue – Pichilemu – Peumo – Chimbarongo  
 <= 450 minutos

### 6.5.2 Comparación de rutas

Para realizar una mejor comparación entre las rutas encontradas y las anteriores, las notaciones de las nuevas rutas han sido cambiadas en función de la similitud con las antiguas:

**Cuadro 6.9: Comparación de rutas**

Ruta N°	Actual	Nueva
1	Curicó – Teno – Santa Cruz – Peralillo – Población – Marchigue – Pichilemu – Peumo – Chimbarongo	Santa Cruz – Peralillo – Población – Marchigue – Pichilemu – Peumo – Chimbarongo
2	Molina – Lontué – Talca – San Javier	Romeral – Los Guaicos – Lontué – Molina – San Clemente – Teno
3	Talca – Cauquenes – Constitución	Talca – Cauquenes – Constitución
4	Curicó – Hualañé – Licantén – Iloca – Romeral – Los Guaicos	Curicó – Hualañé – Licantén – Iloca

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, no existen grandes cambios en las nuevas rutas, incluso la ruta N°3 permanece de la misma forma. Esta ruta tiene la particularidad de ser la única que aumentó su tiempo de recorrido, en 30 minutos, ya que en la ciudad de Talca se considera el abastecimiento de todos los clientes.

La ruta N°1 fue reducida a la atención de 7 clientes, de esta manera, se reducen los tiempos de estadía que permite el cumplimiento de la restricción horaria, de esta manera la nueva ruta disminuyó su tiempo total en más de 2 horas.

La ruta N°2 es la que más variaciones sufrió. En primer lugar, el recorrido comienza por Romeral y termina Teno, pasando por un nuevo cliente incluido en la ruta: *San Clemente*. Un punto importante que mencionar sobre esta ruta, es la situación que se genera en Molina, debido a que los camiones sólo pueden circular hasta las 10:00hrs, razón por la cual, esta ruta sufrirá una modificación que no afecta a los costos totales de la ruta, es decir la nueva distribución será la siguiente:

Lontué – Molina – San Clemente – Romeral – Los Guaicos – Teno

De esta manera, los clientes de Romeral y Los Guaicos serán abastecidos al final de la ruta N°2, no afectando la cantidad de kilómetros recorridos por el camión. En cuanto a la duración del recorrido total, esta disminuyó en más de 3 horas en comparación con la distribución anterior.

La ruta N°4, al igual que la ruta N°1, sólo disminuyó la cantidad de clientes abastecidos, quedando exclusivamente para la atención de los clientes de Curicó y su costa.

A partir de esta nueva redistribución de las rutas, se asegura un mejoramiento en el nivel de servicio al cliente, al disminuir la cantidad de localidades abastecidas por día y como consecuencia, al disminuir los tiempos totales de duración de las rutas (a excepción de la ruta N°3). Para lograr una mayor calidad en el nivel de servicio, también se hace necesario mejorar otros factores como los tiempos de descarga que agilizan los tiempos de estadía en cada uno de los clientes; esto se puede lograr a través de la ayuda de un pioneta.

### 6.5.3 Análisis de costos

A continuación se presenta una tabla resumen con todos los datos correspondientes tanto a las rutas actuales como a las nuevas:

**Cuadro 6.10: Rutas actuales**

Ruta N°	kilogramos transportados	Camión N°	Tiempo ruta	Costo 1	Distancia ruta	Costo2
1	2.645kg	1	9hrs 37min(*)	\$164.518	348Km	\$57.982
2	3.146kg	1	10hrs 22min	\$98.134	193km	\$42.952
3	1.435kg	2	10hrs 37min	\$247.920	497km	\$108.551
4	5.820kg	2	5hrs 12min (**)	\$231.860	287km	\$90.498

Fuente: Elaboración propia.

**Observaciones:**

(\*) El tiempo de la ruta N°1, incluye a Pichilemu.

(\*\*) El tiempo de la ruta N°4, no incluye el recorrido Hualañé – Iloca – Licantén.

Los costos incluyen a todos los clientes.

**Cuadro 6.11: Rutas nuevas**

Ruta N°	kilogramos. transportados	Camión N°	Tiempo ruta	Costo 1	Distancia ruta	Costo2
1	1.298kg	1	7hrs 29min	\$147.303	336km	\$56.956
2	3.555kg	1	7hrs 16min	\$101.450	218km	\$45.699
3	2.124kg	1	11hrs 57min	\$135.467	497km	\$69.515
4	7.496kg	2	11hrs 6min	\$184.261	266km	\$87.156

**Fuente: Elaboración propia.**

En las tablas presentadas anteriormente, se observan los costos de implementación de cada una de las rutas con las que actualmente cuenta la empresa y las encontradas recientemente.

El costo 1, representa el costo de la ruta total calculada según el trayecto entre el cliente i y el cliente j, de acuerdo a la ecuación representativa de costos calculada en el capítulo anterior, para el camión que abastece dicha ruta.

El costo 2, representa el costo de la ruta total calculada según la distancia de la ruta completa, de acuerdo a la ecuación representativa de costos, para el camión correspondiente.

La diferencia entre dichos valores se debe a que los datos proporcionados por la empresa para encontrar la ecuación que mejor describe el comportamiento de los costos, fueron escasos y además representaban los costos de rutas. Por tal motivo, las ecuaciones resultantes son mejor representativas para calcular los costos de las rutas completas que para calcular costos entre clientes, ya que para distancias pequeñas el resultado se aleja de la realidad de manera considerable. Como la matriz de costos utilizada en la resolución del problema se basa en las distancias entre clientes, y existen clientes que se encuentran muy próximos unos a otros, los resultados finales se han traducido a los costos basados en las distancias totales de las rutas. Para efectos de la comparación de los resultados, los costos de las rutas actuales también han sido traducidas según las ecuaciones.

Para analizar los resultados de los costos totales y por los motivos descritos anteriormente, se utilizarán los costos 2 como referencia.

Para las rutas actuales, el costo total de implementación de las 4 rutas es el siguiente:

*Costo Total: \$299.983*

Para las nuevas rutas encontradas, el costo total de implementación de las 4 rutas es el siguiente:

*Costo Total: \$259.326*

La diferencia de costos entre las rutas actuales y las nuevas es de \$40.657, lo que representa un ahorro de un 13,6% al implementar las nuevas rutas. Como la frecuencia promedio de realización de cada una de las rutas es de 3 veces por semana, se tiene un ahorro semanal de \$121.971 y un ahorro mensual de \$487.884:

- *Costo semanal rutas anteriores* :  $\$299.983 * 3 = \$899.949$
- *Costo semanal rutas nuevas* :  $\$259.326 * 3 = \$777.978$
- *Ahorro semanal* :  $\$899.949 - \$777.978 = \$121.971$
- *Ahorro mensual* :  $\$121.971 * 4 = \$487.884$

Si se considera el costo de cada una de las nuevas rutas en comparación con las actuales, se observa que, la que presenta la mayor diferencia en costos es la ruta N°3 con un 48,7%, debido a que esta nueva ruta considera los costos del camión N°1, ya que sus niveles de carga son menores a 5.000kg. Este cambio de camión para abastecer dicha ruta, es el principal factor de la reducción en los costos totales. El segundo factor a considerar, es el hecho de abastecer en una sola ruta los distintos clientes que posee cada localidad, de esta manera se evita volver nuevamente a las localidades y por lo tanto, disminuye la distancia recorrida por la ruta. La excepción a esta regla lo constituye la localidad de Teno, ya que forma parte del trayecto de la ruta N°1, aunque por motivos de tiempo, sólo puede ser abastecida por la ruta N°2.



# CAPÍTULO 7

## PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### Y

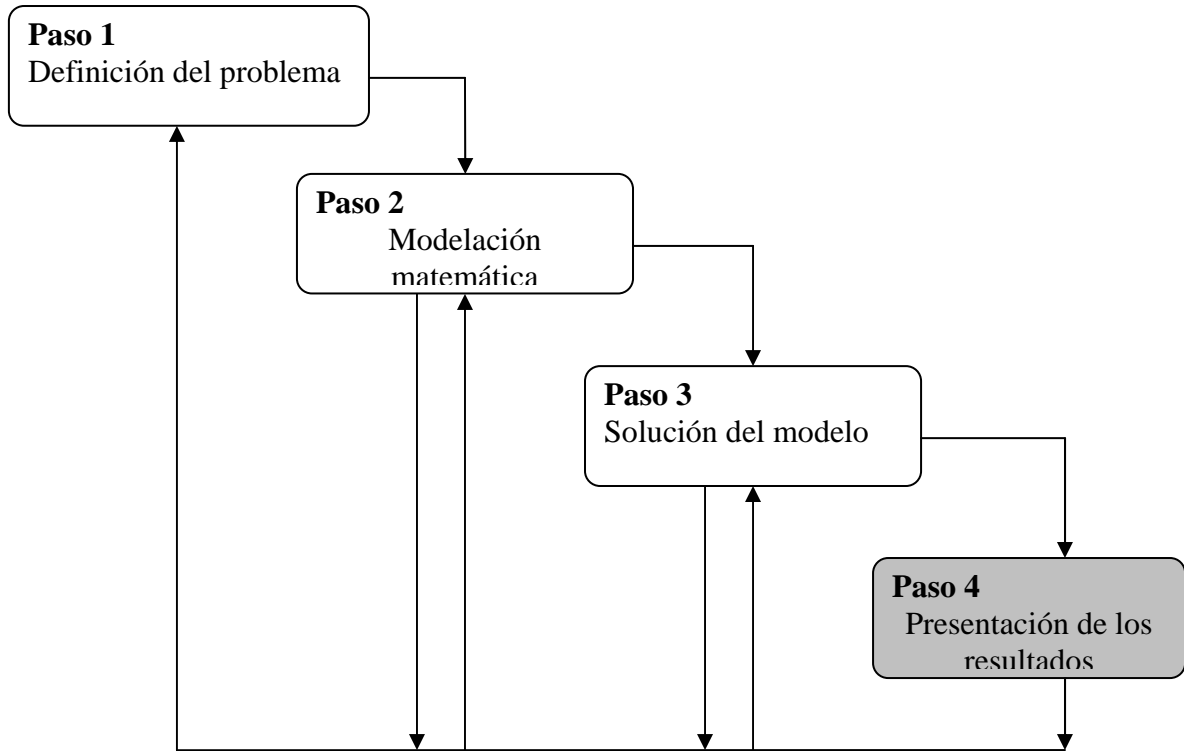
## RECOMENDACION DE IMPEMENTACIÓN

*En este último capítulo, se presentan los resultados formalmente, obtenidos en el capítulo anterior, de cada una de las rutas encontradas, para luego presentar las recomendaciones correspondientes para poder implementar las nuevas rutas, lo cual constituye la etapa final de la presente memoria.*

## 7.1 METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN

Como última etapa del proceso, se tiene finalmente la presentación formal de los resultados obtenidos, como se presenta en la figura:

**Figura 7.1: Metodología de resolución de un modelo, paso 4**



## 7.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos finalmente, obedecen a ciertas hipótesis impuestas anteriormente para la formulación del modelo aplicado.

### Hipótesis:

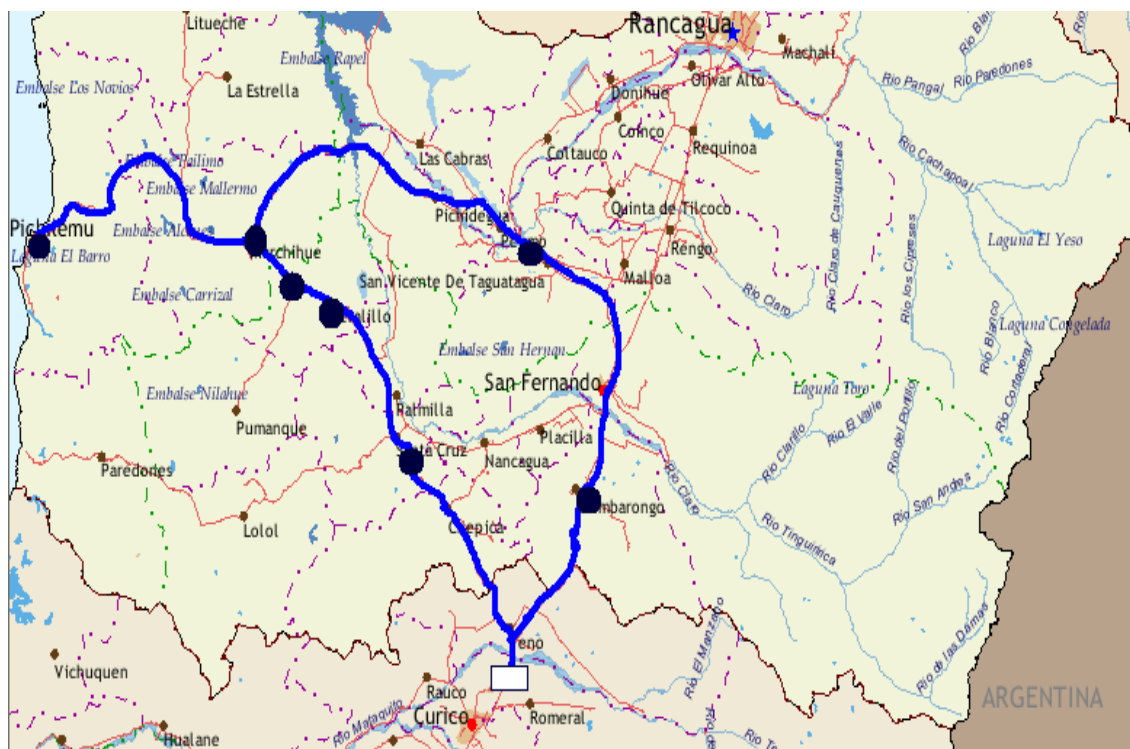
- Las rutas a encontrar son 4, las cuales se realizan con una frecuencia de 3 veces por semana.
- Los camiones destinados a abastecerlas son de 2 tipos, uno con capacidad 12.000kg, y otro con capacidad 5.000kg.
- Los tiempos de duración de cada ruta, según el tercer caso evaluado, no deben ser mayores a 12 horas.

Los detalles que presentan cada una de las nuevas rutas, se muestran a continuación:

### Ruta N°1:

Santa Cruz – Peralillo – Población – Marchigüe – Pichilemu – Peumo – Chimbarongo

**Figura 7.2: Representación de la ruta N°1**

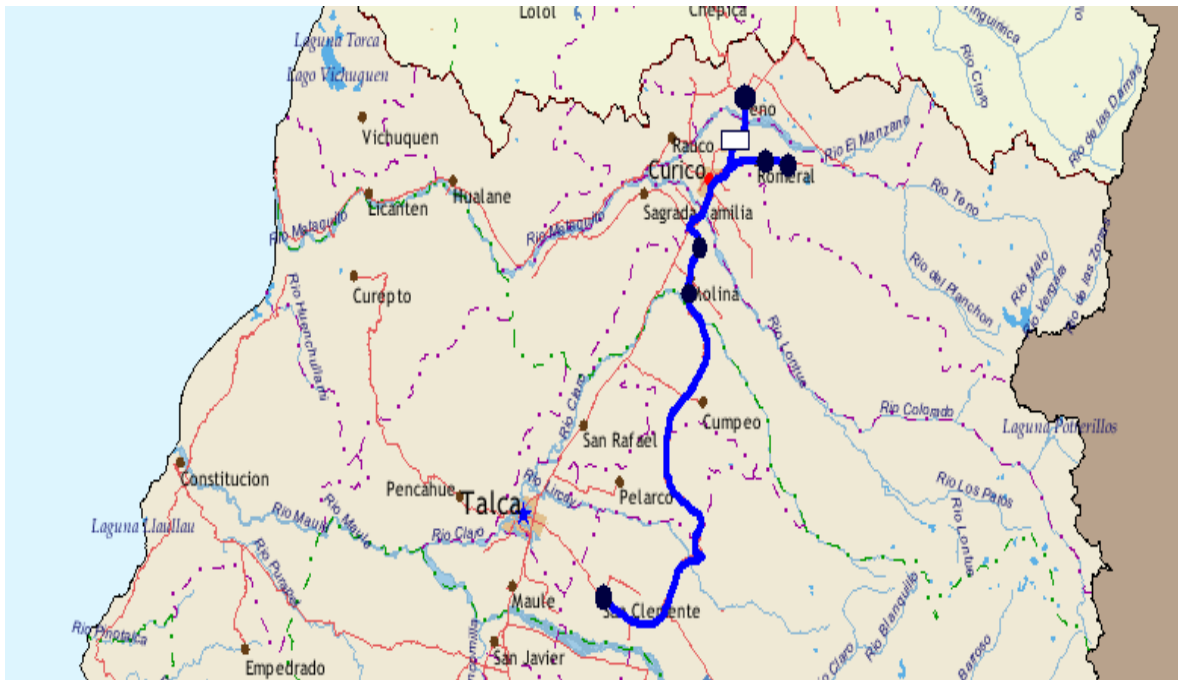


- Abastecida por camión N°1 (5.000kg.)
- Costo ruta: \$56.956
- Duración: 7hrs 29min

**Ruta N°2:**

Lontué – Molina – San Clemente – Romeral – Los Guaicos - Teno

**Figura 7.3: Representación de ruta N°2**



- Abastecida por camión N°1
- Costo ruta: \$45.699
- Duración: 7hrs 16min





### 7.3 RECOMENDACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN

#### 1. *Contratar los servicios de un nuevo camión y un nuevo chofer.*

Para poder realizar la implementación de las nuevas rutas, se necesita contratar el servicio de un nuevo camión de capacidad 5.000kg, ya que son 3 de las 4 rutas que necesitan ser abastecidas por un camión de similar capacidad.

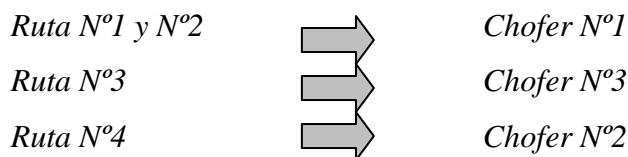
Para ello, la empresa tiene 2 opciones, las cuales se analizarán y se realizará la propuesta de implementación correspondiente:

##### ➤ **Contrato del servicio interno.**

Arrendar el camión a la empresa de transporte perteneciente al mismo holding de la empresa.

La empresa de transporte *Transtoral*, que brinde el servicio de arriendo de camiones, no posee actualmente otro camión de capacidad 5.000kg, pero cuenta con un camión de capacidad 8.000kg, cuyo costo es el mismo cobrado para el transporte de productos utilizando el camión de 5.000kg.

Si se contrata internamente el servicio de un nuevo camión, se necesitará la contratación de un nuevo chofer a cargo del nuevo camión. La distribución más conveniente para la empresa es la siguiente:



El chofer N°3 es la nueva contratación, y estaría a cargo de abastecer la ruta N°3, cuya duración total es de aproximadamente 12 horas, con una frecuencia de realización de 3 veces por semana, por lo cual cumpliría un horario de 36 horas semanales.

El chofer N°2, estaría a cargo de abastecer la ruta N°4, cuya duración total es de aproximadamente 11 horas, con una frecuencia de realización de 3 veces por semana, con lo cual cumpliría un horario de 33 horas semanales.

Por último, el chofer N°1, abastecería a las rutas N°1 y N°2 de duración promedio 7hrs y 30min, con lo cual cumpliría con las 45 horas de trabajo semanal requerido.

En cuanto a las horas que restan, tanto al chofer N°2 como al N°3, para completar su horario de trabajo semanal, se recomienda utilizarlas realizando funciones como chofer ayudante y/o pioneta. Esta última función es muy importante y necesaria para optimizar los tiempos de estadía en cada uno de los grandes locales a abastecer, principalmente en rutas que poseen grandes cantidades de bandejas (y por lo tanto kilogramos) a descargar.

**Cuadro 7.1: Implementación de rutas con contrato de camión interno.**

<b>Día</b>	<b>Horario</b>	<b>Ruta N°</b>	<b>Camión N°</b>	<b>Chofer</b>
<b>Lunes</b>	7:30hrs	3	3	3
	8:30hrs	1	1	1
<b>Martes</b>	7:30hrs	2	1	1
	8:30hrs	4	2	2
<b>Miércoles</b>	7:30hrs	3	3	3
	8:30hrs	1	1	1
<b>Jueves</b>	7:30hrs	2	1	1
	8:30hrs	4	2	2
<b>Viernes</b>	7:30hrs	3	3	3
	8:30hrs	1	1	1
<b>Sábado</b>	7:30hrs	2	1	1
	8:30hrs	4	2	2

Fuente: Elaboración propia.

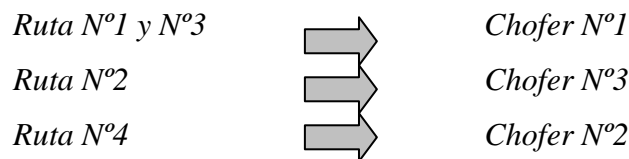


➤ **Contrato de servicio externo.**

En caso de no tener un camión disponible, arrendar a una empresa de transporte externa.

La empresa tiene una segunda opción de contratar los servicios de alguna empresa de transporte externa que posea dicho camión, al igual como sucede con el camión Iveco, el cual se arrienda a una empresa externa 2 veces por semana. El arriendo del nuevo camión sólo se realizaría 3 veces a la semana, los días Martes, Jueves y Sábado, para abastecer a la ruta N°2, ya que de las 3 rutas abastecidas por un camión de 5.000kg, es la que menos kilómetros recorre<sup>1</sup>. Este arriendo se debe realizar a través de un contrato por temporada.

El contrato externo del servicio, incluye la contratación de un nuevo chofer para dicho camión, por lo tanto, la nueva distribución que debería realizar la empresa, es la siguiente:



El chofer N°3, a través del nuevo camión contratado (N°3), abastecería a la ruta N°2, cuya duración es de aproximadamente 7hrs y 15min, cada 3 veces por semana.

El chofer N°2, realizaría una ruta de 11 horas de duración aproximada (Ruta N°4), con una frecuencia de 3 veces por semana, cumpliendo con un horario de 33 horas semanales.

En tanto, el chofer N°1, abastecería a las rutas N°1 y N°3, con una duración aproximada de 7hrs 30min, y 12hrs respectivamente, con una frecuencia de 3 veces por semana cada una de ellas, por lo tanto cumpliría con un horario laboral de 58 horas semanales, por sobre las 45 horas debidas.

1. El costo cobrado por las empresas externas es mayor que el cobrado por la empresa interna y tiene relación directa con los kilómetros recorridos.

En este caso, la empresa debiera contratar los servicios de un chofer ayudante para realizar las rutas N°1 y N°3, y a la vez que cumpla con la función de pioneta para así poder agilizar los tiempos de estadía.

En resumen, la propuesta de implementación se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro 7.2: Implementación de rutas con contrato de camión externo.**

<b>Día</b>	<b>Horario</b>	<b>Ruta N°</b>	<b>Camión N°</b>	<b>Chofer</b>
<b>Lunes</b>	7:30hrs	3	1	1
	8:30hrs	4	2	2
<b>Martes</b>	7:30hrs	2	3	3
	8:30hrs	1	1	1
<b>Miércoles</b>	7:30hrs	3	1	1
	8:30hrs	4	2	2
<b>Jueves</b>	7:30hrs	2	3	3
	8:30hrs	1	1	1
<b>Viernes</b>	7:30hrs	3	1	1
	8:30hrs	4	2	2
<b>Sábado</b>	7:30hrs	2	3	3
	8:30hrs	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

## 2. Considerar una ruta alternativa desde Molina hasta San Clemente.

Para la ruta N°2, que contempla las localidades de Lontué, Molina y San Clemente, entre otras, se recomienda utilizar una carretera alternativa entre Molina y San Clemente (Ruta del vino), la cual se representa en la figura 7.3. A través de esta ruta, la empresa puede ahorrarse los costos que implica el pago del peaje Río Claro.

**3. Contratar los servicios de un furgón para abastecer la ruta Costa Curicó.**

Una alternativa que puede ser considerada por la empresa, es separar la ruta Costa Curicó de la ruta N°4, así esta última ruta quedaría exclusivamente para la atención de los clientes de Curicó, que representan la mayor fuente de ingreso para la empresa. Para ello, se recomienda el arriendo o adquisición de un furgón, ya que la demanda a satisfacer de esta pequeña ruta no supera los 250kg (sólo contempla el abastecimiento de 4 clientes). De esta forma la empresa puede contar con los servicios de un cuarto vehículo sólo cuando sea necesario, ya que esta ruta tiene una frecuencia promedio de 1 vez cada 15 días.

**4. Realizar una capacitación a los trabajadores.**

Antes de implementar las nuevas rutas, es recomendable realizar una reunión con los trabajadores de la empresa involucrados en el proceso de distribución, para así darlas a conocer. De esta forma, los trabajadores podrán dar su opinión al respecto y plantear las dudas generadas o problemas que puedan suceder a raíz de la nueva distribución. La opinión de los trabajadores es muy relevante para la empresa, ya que ellos diariamente están involucrados en todo el proceso, y por lo tanto, son los que pueden realizar los principales aportes.

Esta reunión puede ser realizada una vez por semana durante un mes, presidida por el gerente de operaciones. En la última sesión, se deberá realizar una conclusión de todos los puntos planteados.

# CONCLUSIONES

## **CONCLUSIONES**

Luego de realizada la memoria, las conclusiones más relevantes se presentan a continuación:

- Luego de realizado el diagnóstico a la empresa, se concluye que la principal falencia de las rutas lo constituyen los elevados tiempos de duración que tienen cada una de ellas, esto debido a las largas estadías de los camiones en los distintos locales o clientes que abastece, ya sea por la ineficiencia del sistema de recepción, la gran cantidad de bandejas a descargar o las largas esperas.
- Para encontrar la nueva distribución de los clientes a las rutas, se aplicó un modelo de asignación, cuya función objetivo, minimizadora de costos, resultó ser una función cuadrática y sus restricciones, lineales. Este modelo fue creado en base a las condiciones que presenta la empresa actualmente, para así poder ser implementado su resultado a la brevedad.
- Como herramienta computacional para resolver este modelo, se escogió el programa “LINGO 9.0”, cuya versión Extended posee una capacidad ilimitada a la hora de resolver problemas de tal magnitud, a diferencia de otros softwares como WinQsb o Solver Excel. También se consideró, en primera instancia, utilizar otra herramienta computacional como lo constituye el programa Ilog Cplex, pero debido a la complejidad de su utilización, para modelos de programación cuadrática, y a la poca información existente acerca del programa, no fue utilizado para la resolución del modelo.
- La solución del modelo realizado para las condiciones actuales de la empresa, resultó ser infactible, debido a la imposibilidad del cumplimiento de la restricción horaria para cada una de las rutas. Por tal motivo, se planteó nuevamente dicha restricción sólo para 2 de las 4 rutas a encontrar, considerando como duración máxima de estas rutas, un tiempo de 12 horas por cada una.
- El tiempo que tardó el programa en resolver el modelo fue de aproximadamente 10 horas 15 minutos, por lo que queda demostrada la complejidad que posee el modelo.

- Las 4 rutas encontradas, no difieren en gran magnitud de las que posee actualmente la empresa, incluso una de ellas permanece de igual forma. La ruta que presenta la mayor diferencia es la N°2, ya que además de tener una nueva distribución, incluye a un nuevo cliente que próximamente se incorporará a la empresa, como es un nuevo local de supermercados Bryc, ubicado en la localidad de San Clemente.
- Para implementar las 4 nuevas rutas, respetando las normativas legales, se necesita la contratación de los servicios de un nuevo camión y un nuevo chofer para la empresa.
- El ahorro en costos para la empresa, debido a las nuevas rutas, es de un 13,6%. Este ahorro se debe principalmente a que la ruta que más kilómetros recorre, es abastecida por el camión que presenta la menor capacidad de transporte, y por lo tanto, el de menor costo.
- Entre las recomendaciones finales planteadas para la implementación de las nuevas rutas, se cuenta la contratación, ya sea interna o externa, de un nuevo camión de capacidad 5.000kg (sólo para 3 días a la semana); la realización de la ruta N°2, a través de un camino alternativo entre Molina y San Clemente; el arriendo o adquisición de un furgón para abastecer la ruta Costa Curicó y la realización de sesiones de capacitación para los trabajadores de la empresa involucrados en el proceso de distribución.
- En caso de que la contratación del nuevo camión sea a través de la empresa de transporte interna, se puede realizar una distribución de las funciones de cada chofer, ya sea como chofer ayudante o pioneta. Este escenario es el más conveniente para la empresa.
- En caso de que la contratación del camión sea externa, los costos pueden llegar a ser más elevados para la empresa y además necesitaría de los servicios de un nuevo chofer ayudante y que cumpla también con la labor de pioneta.

***Cumplimiento de objetivos.***

- El objetivo general se cumplió, ya que fue creado el modelo que mejor representaba las condiciones con las que actualmente opera la empresa. Este modelo se puso en práctica, al ser resuelto por medio del programa computacional LINGO, y a pesar de la infactibilidad de su solución, se presentó un nuevo caso adaptando la restricción del modelo que provocaba el problema, encontrándose el resultado que mejor se adecuaba a la realidad de la empresa.
- Fue realizado el estudio de los procesos del sistema de distribución de la empresa, a través del diagnóstico de su situación actual, llegando incluso a formalizar los procesos de despacho y recepción, que la empresa no poseía. El proceso de carga y de despacho, también fueron puntos importantes que se abordaron, describieron y analizaron en el diagnóstico realizado.
- El modelo necesario para encontrar las nuevas rutas, fue creado considerando las condiciones actuales de la empresa y resuelto a través de una herramienta computacional.
- Finalmente, fue realizada una recomendación de implementación, tomando en cuenta 2 escenarios posibles, el arriendo de un nuevo camión a través de la empresa de transporte interna (Transtoral), o a través de una empresa de transporte externa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Libro: Investigación de operaciones.  
Autor: Hamdy Taha.  
Sexta edición.
  
- Apuntes: Distributionlogistik.  
Technische Universität von Dresden.  
Prof. Dr. Rainer Lasch.
  
- La clase ejecutiva  
Logística, el arte de dirigir la orquesta.  
El mercurio, 24 de Mayo al 26 de Julio de 2003.
  
- Cuadro de distancias entre ciudades.  
Atlas Geográfico de Chile.  
Instituto geográfico militar.  
1º edición.
  
- Manual de LINGO. The modeling language and optimizer.  
Lindo System Inc.
  
- Página web: <http://www.monografias.com/trabajos5/visualcurso/visualcurso.shtml>
  
- Página web: <http://www.monografias.com/trabajos15/logistica>.
  
- Página web: <http://www.mapas.moptt.cl/>
  
- Página web: <http://www.Icc.uma.es>  
La investigación operativa.



- Página web: <http://sitios.cl/servicios/distancias.htm>
  
- Página web: [www.mintrab.cl](http://www.mintrab.cl)  
Ministerio del trabajo.
  
- Página web: [www.dt.gob.cl](http://www.dt.gob.cl)  
Ministerio del trabajo.

# ANEXOS

**ANEXO 1**

**DOCUMENTACIÓN UTILIZADA**

El programa de realización de las facturas tiene el siguiente formato:

**Facturación**

<b>Nota de venta:</b> <b>Fecha de emisión:</b>  <b>Fecha de despacho:</b> <b>Cuenta de cargo</b> <b>RUT Cliente:</b> <b>Razón social:</b> <b>Estado de la nota:</b> <b>Observación:</b>	<b>Solicitud de pedido:</b> <b>Fecha de pedido:</b> <b>Hora de pedido:</b> <b>Solicitado por:</b>  <b>Vendedor:</b> <b>Sucursal:</b>	<b>N° Planilla:</b>   <b>Tipo documento:</b>
---	--	---

Producto	UM.	Descripción	Precio	D%	Cantidad	Total

**Pedidos**

<b>Nota de venta N°:</b>			<b>Solicitud de pedido:</b>			
<b>Fecha de emisión:</b>			<b>Fecha de pedido:</b>			
<b>F/Despacho</b>	<b>Nota de venta</b>	<b>S.P.N°</b>	<b>Rut Cliente</b>	<b>Sucursal</b>	<b>Estado</b>	<b>Monto</b>

**Facturación notas de venta**

<b>N° planilla:</b>	<b>Ruta:</b>
<b>Fecha de despacho:</b>	<b>Vehículo</b>

<b>Nota de venta N°:</b>	
<b>Cliente:</b>	<b>Sucursal:</b>
<b>Neto \$:</b>	<b>IVA \$:</b>
<b>Vendedor:</b>	<b>Cuenta de cargo:</b>
	<b>Total:</b>

<b>Documento:</b>	<b>Fecha de fac:</b>
<b>N° inicial:</b>	

---

**Factura**

<b>Código</b>	<b>Descripción producto</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>

**Movimiento interno de bandejas**

<b>Fecha:</b>	<b>Despachador:</b>	<b>N°:</b>
<b>Chofer:</b>		
<b>Patente:</b>		

**Maspan Ltda.**

Cliente	Factura	Bandejas despachadas	V° B° chofer

Bandejas devueltas	V° B° chofer

**Bodeguero**

**Control de fletes**

<b>Fecha de salida:</b>	<b>Hora:</b>
<b>Fecha de llegada:</b>	<b>Hora:</b>
<b>Camión patente:</b>	
<b>Chofer:</b>	
<b>Salida de:</b>	<b>Destino a:</b>
<b>N° de pallets:</b>	<b>Kilos:</b>
<b>Guía o factura N°:</b>	
<b>Cliente:</b>	
<b>Recibe:</b>	
<b>Km. Salida:</b>	<b>Km. Llegada:</b>

<b>Viático comida \$:</b>	
<b>Viático noche \$:</b>	<b>Vale N°:</b>
<b>Peajes \$:</b>	<b>Anticipo \$:</b>
<b>Otros \$:</b>	<b>Gastos \$:</b>
<b>Total gastos \$:</b>	<b>Saldo \$:</b>

<b>Observaciones:</b>
<b>Firma Chofer</b>



**ANEXO 2**

**FORMATO DE TOMA DE  
MEDICIONES**



**ANEXO 3**

**CLASIFICACIÓN DE LOS  
CLIENTES Y  
NIVELES DE CARGA PROMEDIO**

A continuación se presenta la clasificación realizada a los clientes en base a la localidad de ellos y los niveles de carga correspondientes. Estos datos se recopilaron en terreno y en base a información aportada por la empresa. Cabe destacar que se ha incorporado una nueva localidad (San Clemente), debido a que próximamente se abrirá un nuevo local Bryc que será abastecido por Maspan. El nivel de carga de este nuevo local, es un dato no conocido, por lo tanto se estimó un valor correspondiente al nivel de carga de un local con las mismas características del que se está construyendo.

### Cuadro de clasificación y niveles de carga de los clientes

Cliente $x_i$ ( $i=1\dots,19$ )	Localidad	Niveles de carga (kg) $n_i$ ( $i=1\dots,19$ )
1	Santa Cruz	490
2	Peralillo	218
3	Población	101
4	Marchigue	80
5	Pichilemu	120
6	Peumo	126
7	Chimbarongo	163
8	Teno	273
9	Romeral	361
10	Los Guaicos	17
11	Curicó	7.256
12	Lontué	530
13	Molina	2.124
14	Talca	307
15	San Clemente	250
16	Cauquenes	1.265
17	Constitución	552
18	Hualañé	80
19	Licantén	80
20	Iloca	80

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 4**  
**DISTANCIAS**

A continuación se presentan los datos correspondientes a la distancia (en kilómetros) existente entre los distintos clientes incluyendo el centro de distribución. Todos estos datos se recopilaron a través de las mediciones en terreno y a través de la página web <http://sitios.cl/servicios/distancias.htm>, perteneciente a vialidad.

**Cuadro de distancias entre clientes en kilómetros**

$d_{ij}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	81	106	113	120	168	89	31	8	8	11	6	13	22	74	88	212	182	78	99	133
1	81	0	25	32	39	87	83	55	73	89	92	87	94	103	155	173	293	263	159	180	214
2	106	25	0	7	14	62	101	72	98	114	117	112	119	128	180	191	318	288	184	205	239
3	113	32	7	0	7	55	108	79	105	121	124	119	126	135	187	198	325	295	191	212	246
4	120	39	14	7	0	48	116	88	112	128	131	126	133	142	194	206	332	302	198	219	253
5	168	87	62	55	48	0	79	137	160	176	179	174	181	190	242	304	380	350	246	267	301
6	89	83	101	108	116	79	0	58	81	97	100	95	102	111	163	176	301	271	167	188	222
7	31	55	72	79	88	137	58	0	23	39	42	37	44	53	105	118	243	213	109	130	164
8	8	73	98	105	112	160	81	23	0	16	19	14	21	30	82	98	220	190	86	107	141
9	8	89	114	121	128	176	97	39	16	0	3	12	19	28	80	92	218	188	84	105	140
10	11	92	117	124	131	179	100	42	19	3	0	15	22	31	83	95	221	191	87	108	143
11	6	87	112	119	126	174	95	37	14	12	15	0	7	16	68	82	206	176	72	93	127
12	13	94	119	126	133	181	102	44	21	19	22	7	0	9	61	79	199	169	79	100	134
13	22	103	128	135	142	190	111	53	30	28	31	16	9	0	52	70	190	160	88	109	143
14	74	155	180	187	194	242	163	105	82	80	83	68	61	52	0	17	138	108	140	167	195
15	88	173	191	198	206	304	176	118	98	92	95	82	79	70	17	0	157	128	164	186	220
16	212	293	318	325	332	380	301	243	220	218	221	206	199	190	138	157	0	103	278	299	333
17	182	263	288	295	302	350	271	213	190	188	191	176	169	160	108	128	103	0	248	269	303
18	78	159	184	191	198	246	167	109	86	84	87	72	79	88	140	164	278	248	0	21	55
19	99	180	205	212	219	267	188	130	107	105	108	93	100	109	167	186	299	269	21	0	34
20	133	214	239	246	253	301	222	164	141	140	143	127	134	143	195	220	333	303	55	34	0

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5

**ESTIMACIÓN DE COSTOS**

Para estimar los costos, se graficaron los siguientes datos correspondientes a los camiones que arrienda actualmente la empresa.

**Datos para estimar costos camión N°1**

<b>Destino</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Tarifa (\$)</b>
Curicó	12	8.560
Molina	44	29.960
Talca	148	40.000
Sexta 1	214	33.705
Sexta 2	336	47.080
Openmarket	424	80.250

**Fuente: Datos proporcionados por la empresa.**

**Datos para estimar costos camión N°2**

<b>Destino</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Tarifa (\$)</b>
Curicó	12	12.840
Molina	44	51.360
Talca	148	57.780
Openmarket	424	105.930

**Fuente: Datos proporcionados por la empresa.**



Los costos estimados pertenecientes al camión N°1 se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro de costos de camión N°1**

C <sub>iii</sub>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	27.609	31.660	32.708	33.724	40.023	28.965	16.933	8.498	8.498	9.993	7.340	10.880	14.221	26.368	28.799	45.054	41.688	27.084	30.578	35.536
1	27.609	0	15.177	17.209	19.032	28.632	27.954	16.933	26.186	28.965	29.458	28.632	29.782	31.201	38.416	40.625	53.121	50.279	38.917	41.454	45.270
2	31.660	15.177	0	7.939	11.298	24.097	30.891	26.002	30.420	32.855	33.292	32.560	33.580	34.850	41.454	42.724	55.382	52.658	41.920	44.291	47.889
3	32.708	17.209	7.939	0	7.939	22.671	31.963	27.260	31.507	33.866	34.291	33.580	34.572	35.807	42.267	43.514	55.999	53.305	42.724	45.054	48.598
4	33.724	19.032	11.298	7.939	0	21.154	33.147	28.799	32.560	34.850	35.263	34.572	35.536	36.741	43.065	44.400	56.610	53.945	43.514	45.805	49.297
5	40.023	28.632	24.097	22.671	21.154	0	27.260	36.076	39.042	40.982	41.336	40.745	41.571	42.610	48.194	54.127	60.637	58.152	48.598	50.667	53.854
6	28.965	27.954	30.891	31.963	33.147	27.260	0	23.292	27.609	30.262	30.735	29.943	31.046	32.412	39.413	40.982	53.854	51.052	39.902	42.382	46.124
7	16.933	16.933	26.002	27.260	28.799	36.076	23.292	0	14.546	19.032	19.764	18.529	20.237	22.248	31.508	33.436	48.295	45.162	32.113	35.126	39.535
8	8.498	26.186	30.420	31.507	32.560	39.042	27.609	14.546	0	12.093	13.198	11.298	13.888	16.653	27.782	30.420	45.912	42.610	28.464	31.812	36.609
9	8.498	28.965	32.855	33.866	34.850	40.982	30.262	19.032	12.093	0	5.158	10.445	13.198	16.078	27.435	29.458	45.699	42.382	28.125	31.508	36.476
10	9.993	29.458	33.292	34.291	35.263	41.336	30.735	19.764	13.198	5.158	0	11.702	14.221	16.933	27.954	29.943	46.018	42.724	28.632	31.963	36.741
11	7.340	28.632	32.560	33.580	34.572	40.745	29.943	18.529	11.298	10.445	11.702	0	7.939	12.093	25.257	27.782	44.401	40.982	26.002	29.620	34.711
12	10.880	29.782	33.580	34.572	35.536	41.571	31.046	20.237	13.888	13.198	14.221	7.939	0	9.023	23.898	27.260	43.626	40.144	27.260	29.943	35.672
13	14.221	31.201	34.850	35.807	36.741	42.610	32.412	22.248	16.653	16.078	16.933	12.093	9.023	0	22.033	25.632	42.610	39.042	28.799	32.113	36.872
14	26.368	38.416	41.454	42.267	43.065	48.194	39.413	31.508	27.782	27.435	27.954	25.257	23.898	22.033	0	12.472	36.210	31.963	36.476	39.902	43.178
15	28.799	40.625	42.724	43.514	44.400	54.127	40.982	33.436	30.420	29.458	29.943	27.782	27.260	25.632	12.472	0	38.667	34.850	39.535	42.151	45.912
16	45.054	53.121	55.382	55.999	56.610	60.637	53.854	48.295	45.912	45.699	46.018	44.401	43.626	42.610	36.210	38.667	0	31.201	51.719	53.672	56.696
17	41.688	50.279	52.658	53.305	53.945	58.152	51.052	45.162	42.610	42.382	42.724	40.982	40.144	39.042	31.963	34.850	31.201	0	48.799	50.860	54.036
18	27.084	38.917	41.920	42.724	43.514	48.598	39.902	32.113	28.464	28.125	28.632	26.002	27.260	28.799	36.476	39.535	51.719	48.799	0	13.888	22.671
19	30.578	41.454	44.291	45.054	45.805	50.667	42.382	35.126	31.812	31.508	31.963	29.620	29.943	32.113	39.902	42.151	53.672	50.860	13.888	0	17.748
20	35.536	45.270	47.889	48.598	49.297	53.854	46.124	39.535	36.609	36.476	36.741	34.711	35.672	36.872	43.178	45.912	56.696	54.036	22.671	17.748	0

Fuente: Elaboración propia

Los costos estimados pertenecientes al camión N°2 se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro de costos de camión N°2**

C <sub>ii2</sub>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	45.625	52.505	54.361	56.185	67.858	47.869	30.676	23.267	23.267	24.252	22.607	24.906	27.816	43.627	47.591	77.276	70.988	44.773	50.619	59.491
1	45.625	0	28.775	30.990	33.174	47.312	46.190	38.049	43.339	47.870	48.701	47.312	49.252	51.700	64.841	68.990	91.402	86.655	65.781	70.548	77.675
2	52.505	28.775	0	22.937	25.232	40.131	51.161	43.051	50.347	54.623	55.407	54.097	55.926	58.232	70.548	72.934	94.923	90.651	71.425	75.860	82.447
3	54.361	30.990	22.937	0	22.937	38.049	53.038	45.057	52.238	56.443	57.214	55.926	57.724	59.990	72.075	74.412	95.837	91.699	72.934	77.276	83.711
4	56.185	33.174	25.232	22.937	0	35.936	55.146	47.591	54.097	58.232	58.989	57.724	59.491	61.717	73.571	76.064	96.721	92.715	74.412	78.661	84.946
5	67.858	47.312	40.131	38.049	35.936	0	45.057	60.486	66.014	69.662	70.328	69.215	70.768	72.720	82.993	93.000	101.942	98.850	83.712	87.321	92.572
6	47.869	46.190	51.161	53.038	55.146	45.057	0	38.945	45.625	50.074	50.890	49.527	51.431	53.834	66.710	69.662	92.572	87.977	67.630	72.291	79.245
7	30.676	38.049	43.051	45.057	47.591	60.486	38.945	0	28.137	33.174	34.100	32.553	34.715	37.448	52.238	55.667	83.174	77.475	53.304	58.737	66.941
8	23.267	43.339	50.347	52.238	54.097	66.014	45.625	28.137	0	25.882	26.852	25.232	27.495	30.360	45.908	50.347	78.856	72.720	47.033	52.772	61.472
9	23.267	47.870	54.623	56.443	58.232	69.662	50.074	33.174	25.882	0	21.612	24.579	26.852	29.728	45.341	48.701	78.465	72.291	46.471	52.238	61.226
10	24.252	48.701	55.407	57.214	58.989	70.328	50.890	34.100	26.852	21.612	0	25.557	27.816	30.676	46.190	49.527	79.051	72.934	47.312	53.038	61.717
11	22.607	47.312	54.097	55.926	57.724	69.215	49.527	32.553	25.232	24.579	25.557	0	22.937	25.882	41.891	45.908	76.064	69.662	43.051	48.977	57.978
12	24.906	49.252	55.926	57.724	59.491	70.768	51.431	34.715	27.495	26.852	27.816	22.937	0	23.596	39.835	45.057	74.621	68.086	45.057	50.890	59.741
13	27.816	51.700	58.232	59.990	61.717	72.720	53.834	37.448	30.360	29.728	30.676	25.882	23.596	0	37.147	42.472	72.720	66.014	47.591	53.304	61.961
14	43.627	64.841	70.548	72.075	73.571	82.993	66.710	52.238	45.908	45.341	46.190	41.891	39.835	37.147	0	26.206	60.734	53.038	61.226	67.630	73.783
15	47.591	68.990	72.934	74.412	76.064	93.000	69.662	55.667	50.347	48.701	49.527	45.908	45.057	42.472	26.206	0	65.312	58.232	66.941	71.859	78.856
16	77.276	91.402	94.923	95.837	96.721	101.942	92.572	83.174	78.856	78.465	79.051	76.064	74.621	72.720	60.734	65.312	0	51.700	89.100	92.283	96.844
17	70.988	86.655	90.651	91.699	92.715	98.850	87.977	77.475	72.720	72.291	72.934	69.662	68.086	66.014	53.038	58.232	51.700	0	84.068	87.650	92.858
18	44.773	65.781	71.425	72.934	74.412	83.712	67.630	53.304	47.033	46.471	47.312	43.051	45.057	47.591	61.226	66.941	89.100	84.068	0	27.495	38.049
19	50.619	70.548	75.860	77.276	78.661	87.321	72.291	58.737	52.772	52.238	53.038	48.977	50.890	53.304	67.630	71.859	92.283	87.650	27.495	0	31.617
20	59.491	77.675	82.447	83.711	84.946	92.572	79.245	66.941	61.472	61.226	61.717	57.978	59.741	61.961	73.783	78.856	96.844	92.858	38.049	31.617	0

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 6**

**TIEMPOS DE RUTA**

Los tiempos de estadía se calcularon en base a la recopilación de datos en terreno. Se consideró el tiempo de estadía promedio en cada local o cliente. Para la localidad de San Clemente, se estimó un tiempo de estadía en base al nivel de carga descargado.

**Cuadro de tiempos de estadía por localidad**

<b>Cliente <math>x_i</math> (<math>i=1\dots,19</math>)</b>	<b>Localidad</b>	<b>Tiempos de estadía (min) <math>e_i</math> (<math>i=1\dots,19</math>)</b>
1	Santa Cruz	30
2	Peralillo	45
3	Población	10
4	Marchigue	10
5	Pichilemu	25
6	Peumo	8
7	Chimbarongo	24
8	Teno	33
9	Romeral	26
10	Los Guaicos	4
11	Curicó	333
12	Lontué	30
13	Molina	110
14	Talca	120
15	San Clemente	20
16	Cauquenes	83
17	Constitución	47
18	Hualañé	20
19	Licantén	13
20	Iloca	10

**Fuente: Elaboración propia**

Los tiempos de viaje entre cada uno de los clientes se presentan a continuación en la siguiente tabla:

**Cuadro de tiempos de viaje entre el cliente  $i$  y  $j$**

$t_{ij}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	41	61	69	78	150	94	28	9	16	24	15	25	30	60	70	156	180	90	110	145
1	41	0	20	28	37	109	60	40	32	57	65	56	66	71	101	164	197	221	131	151	186
2	61	20	0	8	17	89	66	124	52	77	85	76	86	91	121	189	217	241	151	171	206
3	69	28	8	0	9	81	58	116	60	85	93	84	94	99	129	199	225	249	159	179	214
4	78	37	17	9	0	72	83	141	69	94	102	93	103	108	138	203	234	258	168	188	223
5	150	109	89	81	72	0	60	122	141	166	174	165	175	180	210	295	306	330	240	260	295
6	94	60	66	58	83	60	0	58	85	110	118	109	119	124	154	155	250	274	184	204	239
7	28	40	124	116	141	122	58	0	19	44	52	43	53	58	88	83	184	208	118	138	173
8	9	32	52	60	69	141	85	19	0	25	33	24	34	39	69	82	165	189	99	119	154
9	16	57	77	85	94	166	110	44	25	0	8	16	26	31	61	75	157	181	99	119	154
10	24	65	85	93	102	174	118	52	33	8	0	24	34	39	69	78	165	189	107	127	162
11	15	56	76	84	93	165	109	43	24	16	24	0	10	15	45	70	141	165	75	95	130
12	25	66	86	94	103	175	119	53	34	26	34	10	0	15	40	65	131	155	85	105	140
13	30	71	91	99	108	180	124	58	39	31	39	15	15	0	35	58	121	145	90	110	145
14	60	101	121	129	138	210	154	88	69	61	69	45	40	35	0	15	96	120	135	155	190
15	70	164	189	199	203	295	155	83	82	75	78	70	65	58	15	0	170	100	173	180	230
16	156	197	217	225	234	306	250	184	165	157	165	141	131	121	96	170	0	131	216	236	271
17	180	221	241	249	258	330	274	208	189	181	189	165	155	145	120	100	131	0	240	260	295
18	90	131	151	159	168	240	184	118	99	99	107	75	85	90	135	173	216	240	0	20	55
19	110	151	171	179	188	260	204	138	119	119	127	95	105	110	155	180	236	260	20	0	35
20	145	186	206	214	223	295	239	173	154	154	162	130	140	145	190	230	271	295	55	35	0

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 7  
**PROGRAMACIÓN**

```

#include <stdio.h>
#include <stdio.h>

#define MAX_TAM_ARCHIVO 128
#define _C 20

int main() {
    int R=4,//rutas
        K=2,//camiones
        C=_C,//clientes
        CIJK[C+1][C+1][K],// Costos
        T[C+1][C+1], //tiempos
        E[C+1], //estadía
        P[K], //capacidades
        n[C+1], //niveles
        duracion_maxima_ruta;
    P[0]=5000;P[1]=12000;

    char
    nombre_archivo1[MAX_TAM_ARCHIVO],nombre_archivo2[MAX_TAM_ARCHIVO],
    O,nsalida[MAX_TAM_ARCHIVO]="salida.lg4";

    FILE* fsalida=fopen(nsalida, "w");
    if(!fsalida) {
        printf("No se puede escribir el archivo %s\n", nsalida);
        return 0;
    }

    printf("Datos Camion 1: ");
    scanf("%s",nombre_archivo1);

    printf("Datos Camion 2: ");
    scanf("%s",nombre_archivo2);

    FILE* file=fopen(nombre_archivo1, "r");
    if(!file) {
        printf("No se puede leer el archivo %s\n", nombre_archivo1);
        return 0;
    }

    for(int i=0;i<=C;i++) {
        for(int j=0;j<=C;j++) {
            fscanf(file,"%d",&CIJK[i][j][0]);
        }
    }
    fclose(file);

    file=fopen(nombre_archivo2, "r");

```

```

if(!file) {
    printf("No se puede leer el archivo %s\n", nombre_archivo2);
    return 0;
}

for(int i=0;i<=C;i++) {
    for(int j=0;j<=C;j++) {
        fscanf(file,"%d",&CIJK[i][j][1]);
    }
}

fclose(file);

for(int i=0;i<=C;i++) {
    for(int j=0;j<=C;j++) {
        for(int k=0;k<K;k++) {
            if(i!=j) {
                CIJK[i][j][k]=2;
            }
        }
    }
}

// FUNCION OBJETIVO
printf("Imprimiendo Funcion Objetivo...\n");
fprintf(fsaldida, "model:\n!Funcion objetivo;\nMin= ");
for(int r=1;r<=R;r++){
    for(int k=1;k<=K;k++){
        fprintf(fsaldida,"V%d_%d*(",k,r);
        for(int i=0;i<=C;i++){
            for(int j=0;j<=C;j++){
                if(i!=j) {
                    if(i==0 && j==1){
                        fprintf(fsaldida, "%d*X%d_%d_%d",CIJK[i][j][k-1],i,j,r);
                    } else {
                        fprintf(fsaldida, " + %d*X%d_%d_%d",CIJK[i][j][k-1],i,j,r);
                    }
                }
            }
        }
        fprintf(fsaldida, ")\n");
        if(k!=1){
            fprintf(fsaldida, "+");
        }
    }
}

fprintf(fsaldida, ";\n!Restricciones;\n");
printf("Imprimiendo Restricciones...\n");

```



```

printf("\tCada ruta debe ser abastecida por un unico camion...\n");
//CADA RUTA DEBE SER ABASTECIDA POR UN UNICO CAMION
for(int r=1;r<=R;r++){
    for(int k=1;k<=K;k++){
        if(k!=K) {
            fprintf(fsalida, "V%d_%d + ",k,r);
        } else {
            fprintf(fsalida, "V%d_%d",k,r);
        }
    }
    fprintf(fsalida, "=1;\n");
}

```

```

//TODO CLIENTE DEBE PERTENECER A UNA UNICA RUTA
printf("\tTodo cliente debe pertenecer a una unica ruta...\n");

```

```

printf("\t\tPara el centro de Distribucion...\n");
//PARA EL CENTRO DE DISTRIBUCION
for(int j=1;j<=C;j++) {
    for(int r=1;r<=R;r++){
        if(r!=R) {
            fprintf(fsalida, "X0_%d_%d + ",j,r);

        } else {
            fprintf(fsalida, "X0_%d_%d",j,r);
        }
    }
    fprintf(fsalida, "<=1;\n");
}

```

```

//PARA EL TERMINO EN EL CENTRO DE DISTRIBUCION
printf("\t\tPara el termino en el centro de distribucion...\n");
for(int r=1;r<=R;r++){
    if(r!=R) {
        fprintf(fsalida, "X%d_0_%d + ",j,r);

    } else {
        fprintf(fsalida, "X%d_0_%d",j,r);
    }
}
    fprintf(fsalida, "<=1;\n");
}

```

```

//PARA LOS CLIENTES RESTANTES
printf("\t\tPara los clientes restantes...\n");
for(int m=1;m<C;m++) {
    for(int j=m+1;j<=C;j++) {
        for(int r=1;r<=R;r++){
            if(r!=R) {

```

```

        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d + X%d_%d_%d +",m,j,r,j,m,r);

    } else {
        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d + X%d_%d_%d",m,j,r,j,m,r);
    }
}
fprintf(fsalida, "<=1;\n");
}
fprintf(fsalida, "\n");
}

printf("\tToda ruta comienza desde el centro de distribucion...\n");
//TODA RUTA COMIENZA DESDE EL CENTRO DE DISTRIBUCION
for(int r=1;r<=R;r++){
    for(int j=1;j<=C;j++){
        if(j!=C) {
            fprintf(fsalida, "X0_%d_%d +",j,r);
        } else {
            fprintf(fsalida, "X0_%d_%d",j,r);
        }
    }
    fprintf(fsalida, "=1;\n");
}

printf("\tToda ruta termina en el centro de distribucion...\n");
//TODA RUTA TERMINA EN EL CENTRO DE DISTRIBUCION
for(int r=1;r<=R;r++){
    for(int j=1;j<=C;j++){
        if(j!=C) {
            fprintf(fsalida, "X%d_0_%d +",j,r);
        } else {
            fprintf(fsalida, "X%d_0_%d",j,r);
        }
    }
    fprintf(fsalida, "=1;\n");
}

printf("\tTodo cliente deber ser abastecido por una ruta y por un unico camion...\n");
//TODO CLIENTE DEBE SER ABASTECIDO POR UNA RUTA Y POR UN UNICO
CAMION
for(int r=1;r<=R;r++){
    for(int i=0;i<=C;i++){
        for(int j=0;j<=C;j++){
            if(j==C && i==C && r==R) {
                fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d",i,j,r);
            } else {
                fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d +",i,j,r);
            }
        }
    }
}
}

```

```

}
fprintf(fsalida,"=24;\n");

printf("\tTodo cliente debe ser abastecido solo una vez...\n");
//TODO CLIENTE DEBE SER ABASTECIDO SOLO UNA VEZ
for(int j=1;j<=C;j++){
  for(int i=0;i<C;i++){
    for(int r=1;r<=R;r++){
      if(i==C-1 && r==R) {
        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d",i,j,r);
      } else {
        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d + ",i,j,r);
      }
    }
  }
}
fprintf(fsalida, "=1;\n");
}

printf("\tDesde el cliente i se puede abastecer a solo un cliente j...\n");
//DESDE EL CLIENTE I SE PUEDE ABASTECER A SOLO UN CLIENTE J
for(int i=1;i<=C;i++){
  for(int j=0;j<=C;j++){
    for(int r=1;r<=R;r++){
      if(j==C && r==R) {
        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d",i,j,r);
      } else {
        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d + ",i,j,r);
      }
    }
  }
}
fprintf(fsalida, "<=1;\n");
}

printf("\tOrden de la ruta...\n");
//ORDEN DE LA RUTA
for(int i=1;i<=C;i++){
  for(int r=1;r<=R;r++){
    fprintf(fsalida, "(");
    for(int j=0;j<=C;j++){
      if(j==C) {
        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d",j,i,r);
      } else {
        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d + ",j,i,r);
      }
    }
    fprintf(fsalida, ")-(");
    for(int j=0;j<=C;j++){
      if(j==C) {
        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d",i,j,r);
      } else {
        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d + ",i,j,r);

```

```

    }
}
fprintf(fsalida, ")=0;\n");
}
}

printf("\tTiempo maximo de duracion de una ruta...\n");
//TIEMPO MAXIMO DE DURACION DE UNA RUTA
printf("Ingrese el tiempo maximo de duracion de una ruta: ");
scanf("%d",&duracion_maxima_ruta);

printf("Tiempos: ");
scanf("%s",nombre_archivo1);

printf("Estadia: ");
scanf("%s",nombre_archivo2);

file=fopen(nombre_archivo1, "r");
if(!file) {
    printf("No se puede leer el archivo %s\n", nombre_archivo1);
    return 0;
}

for(int i=0;i<=C;i++) {
    for(int j=0;j<=C;j++) {
        fscanf(file,"%d",&T[i][j]);
    }
}

fclose(file);
file=fopen(nombre_archivo2, "r");
if(!file) {
    printf("No se puede leer el archivo %s\n", nombre_archivo1);
    return 0;
}

for(int i=0;i<=C;i++) {
    fscanf(file,"%d",&E[i]);
}

fclose(file);

for(int r=1;r<=R;r++){
    for(int j=1;j<=C;j++){
        for(int i=0;i<=C;i++){
            fprintf(fsalida, "%d*X%d_%d_%d + ",T[i][j],i,j,r);
        }
    }
    for(int j=1;j<=C;j++){
        fprintf(fsalida, "%d*(",E[j]);
    }
}

```

```

for(int i=0;i<=C;i++){
    if(i==C){
        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d",i,j,r);
    } else {
        fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d + ",i,j,r);
    }
}
fprintf(fsalida, "");
if(j!=C){
    fprintf(fsalida, "+");
}
}
fprintf(fsalida, "<=%d;\n",duracion_maxima_ruta);
}

printf("\tNivel de carga permitido por ruta...\n");
//NIVEL DE CARGA PERMITIDO POR RUTA
printf("Niveles: ");
scanf("%s",nombre_archivo2);

file=fopen(nombre_archivo2, "r");
if(!file) {
    printf("No se puede leer el archivo %s\n", nombre_archivo2);
    return 0;
}

for(int i=0;i<=C;i++) {
    fscanf(file,"%d",&n[i]);
}

fclose(file);
for(int r=1;r<=R;r++){
    for(int k=1;k<=K;k++){
        fprintf(fsalida, "V%d_%d*(",k,r);
        for(int j=0;j<=C;j++){
            fprintf(fsalida, "%d*(",n[j]);
            for(int i=0;i<=C;i++){
                if(i==C){
                    fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d",i,j,r);
                } else {
                    fprintf(fsalida, "X%d_%d_%d + ",i,j,r);
                }
            }
        }
        fprintf(fsalida, "");
        if(j!=C) {
            fprintf(fsalida, "+");
        }
    }
    fprintf(fsalida, "<=%d;\n",P[k-1]);
}

```

```
}

//NO REPETICION DE SUBINDICES
printf("\tNo repeticion de subindices...\n");
for(int r=1;r<=R;r++) {
    for(int j=0;j<=C;j++) {
        if(j==C) {
            fprintf(fsalida,"X%d_%d_%d",j,j,r);
        } else {
            fprintf(fsalida,"X%d_%d_%d + ",j,j,r);
        }
    }
    fprintf(fsalida, "=0;\n");
}
printf("Imprimiendo variables binarias...\n");
//VARIABLES BINARIAS
//LAS X's
for(int r=1;r<=R;r++){
    for(int j=0;j<=C;j++){
        for(int i=0;i<=C;i++){
            fprintf(fsalida, "@BIN(X%d_%d_%d);\n",i,j,r);
        }
    }
}
for(int k=1;k<=K;k++){
    for(int r=1;r<=R;r++){
        fprintf(fsalida, "@BIN(V%d_%d);\n",k,r);
    }
}
fprintf(fsalida,"END\n");
fclose(fsalida);
printf("Proceso finalizado...\n");
getchar();getchar();
}
```

**ANEXO 8**

**NORMATIVAS LABORALES**

---

**Nueva ley de jornada laboral:**

A contar del 1º de enero de 2005 la duración de la jornada ordinaria de trabajo no puede exceder de 45 horas semanales. De esta forma, los trabajadores que verán reducida su jornada de trabajo son los siguientes:

- a) Los dependientes que tengan convenido en su contrato individual o colectivo de trabajo una jornada ordinaria de 46, 47 ó 48 horas semanales, la que se reducirá, por el propio ministerio de la ley, a 45.
- b) Los trabajadores que estén afecto a una jornada bisemanal de 96 horas pactada de conformidad al artículo 39 del Código del Trabajo, la que se reducirá a 90 horas distribuidas en un máximo de 12 días.
- c) Los trabajadores que están regidos por un sistema excepcional de distribución de jornada de trabajo y descansos en conformidad al artículo 38 del Código del Trabajo, autorizada por la Dirección del Trabajo mediante resolución, que haya sido otorgada tomando como parámetro un promedio superior a 45 horas semanales. En este caso, deberá solicitarse su modificación a la Dirección del Trabajo antes del 01.01.2005, fecha de entrada en vigencia de la nueva normativa sobre reducción de jornada. La modificación en tanto se traduzca en una alteración de la distribución de la jornada autorizada, deberá contar necesariamente con el acuerdo de los trabajadores. Si no existe acuerdo la modificación solicitada sólo podrá estar referida la duración diaria de la respectiva jornada excepcional. Sin perjuicio de lo anterior, se podrá solicitar la dictación de una nueva Resolución, caso en el cual deberá contarse con el acuerdo de los respectivos trabajadores y darse cumplimiento a los requisitos legales y administrativos para ello. Finalmente, cabe indicar que si las partes o el empleador no solicitan la modificación del sistema excepcional o la autorización de un nuevo sistema excepcional, la respectiva Resolución se entiende caducada a partir del 01.01.2005.
- d) Los trabajadores que estén afectos a una jornada parcial de 31 ó 32 horas semanales conforme al artículo 40 bis del Código del Trabajo, la que se reducirá, por el propio ministerio de la ley, a 30 horas semanales.
- e) Los trabajadores choferes y auxiliares de la locomoción colectiva interurbana y de servicios interurbanos de transporte de pasajeros, los choferes de vehículos de carga terrestre interurbana y el personal que se desempeña a bordo de ferrocarriles, que están afectos a una jornada de entre 181 a 192 horas mensuales, ésta se verá reducida, por el propio ministerio de la ley, a 180 horas mensuales.



**Multas por exceso de jornada laboral:**

las empresas que tengan entre 1 a 49 empleados deberán cancelar 1 UTM por trabajador. Si tienen entre 50 a 199, cancelarán 5 UTM por trabajador, y aquellas que tengan más de 200 personas, deberán cancelar 10 UTM por trabajador. Las empresas de hasta 9 trabajadores podrán cambiar la multa por capacitación, con el fin de que no vuelva a incurrir en falta.