



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**COSTO ÓPTIMO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA
UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL**

Roberto Andres Samayoa Morales

Asesorado por el Msc. Ing. José Luis Duque Franco

Guatemala, noviembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COSTO ÓPTIMO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA
SIDERÚRGICA UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ROBERTO ANDRES SAMAYOA MORALES

ASESORADO POR EL MSC. ING. JOSÉ LUIS DUQUE FRANCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Inga. Rossana Margarita Castillo Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández García
EXAMINADOR	Ing. Luis Pedro Ortiz de León
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

COSTO ÓPTIMO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 2 de agosto 2016.



Roberto Andres Samayoa Morales

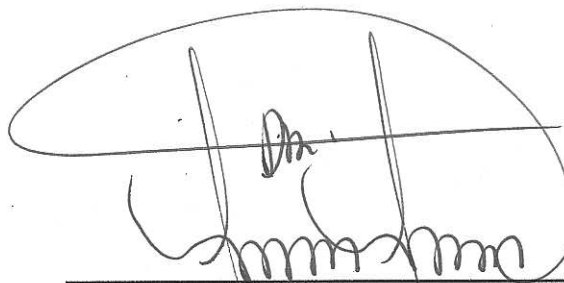
Ingeniero
José Francisco Gómez Rivera
Director
Escuela Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Ingeniero Gómez:

Me dirijo a usted para informarle que el estudiante Roberto Andrés Samayoa Morales, de la carrera de Ingeniería Industrial quien se identifica con número de carné universitario 201313953, ha concluido el Trabajo de Graduación titulado: **"COSTO ÓPTIMO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL"**.

Después de asesorar y efectuar las revisiones correspondientes, considero que dicho trabajo llena satisfactoriamente los requisitos existentes en la Facultad de Ingeniería, procediendo por este medio a su aprobación.

Agradeciendo su atención a la presente, me suscribo a usted.



M. A. Ing. José Luis Duque Franco

Asesor

Ing. JOSÉ LUIS DUQUE FRANCO; M.Sc.
Ingeniero Industrial
Colegiado No. 5459



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **COSTO ÓPTIMO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL**, presentado por el estudiante universitario **Roberto Andres Samayoa Morales**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

*Nora Leonor Elizabeth García Tobar
Ingeniera Industrial
Colegiado No. 8121*

Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, julio de 2017.

/mgp



REF.DIR.EMI.192.017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **COSTO ÓPTIMO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL**, presentado por el estudiante universitario **Roberto Andrés Samayoa Morales**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2017.



/mgp

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.560-2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **COSTO ÓPTIMO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL**, presentado por el estudiante universitario: **Roberto Andres Samayoa Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, noviembre de 2017



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la fuerza y sabiduría necesarias para lograr este éxito alcanzado. Por guiarme y acompañarme cada día.
Mis padres	Claudia Morales y Roberto Samayoa, por su enorme esfuerzo, su gran amor y apoyo incondicional.
Mis hermanos	Lucía y Javier Samayoa, porque me inspiran a ser mejor cada día y a demostrarle al mundo que no hay imposibles.
Mi abuela	Julia, por estar conmigo a pesar de la distancia y el tiempo.
Mi gran familia	Por su apoyo y cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por las personas que conocí, los conocimientos que adquirí y las oportunidades que recibí.

Facultad de ingeniería

Por brindarme las herramientas y la capacidad necesaria para desenvolverme de mejor manera en el ambiente laboral, buscando siempre el desarrollo de la sociedad y de mi país.

Mis amigos

Andrea, Mario, Hugo, Marielena, Daniel y Diego, futuros colegas, por acompañarme y brindarme su amistad a lo largo de mi etapa universitaria.

Mi asesor

Msc. Ing. José Luis Duque Franco, por su apoyo y asesoría en este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. La empresa.....	1
1.1.1. Historia	1
1.1.2. Misión	3
1.1.3. Visión.....	3
1.1.4. Tipo de organización	3
1.1.5. Organigrama.....	3
1.2. Jefe de departamento <i>supply chain</i> y planeamiento.....	4
1.2.1. Funciones	4
1.2.2. Principales procesos.....	5
1.2.2.1. Planificación.....	5
1.2.2.2. Programación	5
1.2.2.3. Logística	6
1.3. Jefe de sector <i>supply chain</i> Guatemala.....	6
1.3.1. Funciones	6
1.3.2. Principales procesos.....	7
1.3.2.1. Almacenamiento	7
1.3.2.2. Despacho.....	7

	1.3.2.3.	Expedición.....	7
1.4.		Área de programación y despacho	8
	1.4.1.	Funciones.....	8
	1.4.2.	Principales procedimientos.....	8
1.5.		Modelos determinísticos de investigación de operaciones.....	8
	1.5.1.	Optimización no lineal	9
		1.5.1.1. Programación no lineal.....	9
		1.5.1.2. Métodos de búsqueda.....	9
	1.5.2.	Optimización lineal	10
		1.5.2.1. Programación lineal.....	10
		1.5.2.2. Transporte y asignación	10
		1.5.2.3. Redes.....	11
1.6.		Costos	12
	1.6.1.	Definición.....	12
	1.6.2.	Tipos de costos	12
1.7.		Mano de obra	13
	1.7.1.	Mano de obra indirecta.....	13
	1.7.2.	Outsourcing	13
1.8.		<i>Solver</i> ® en <i>MS-Excel</i> ®	14
	1.8.1.	<i>MS-Excel</i> ®	14
	1.8.2.	Complemento <i>Solver</i> ®	15
1.9.		Método <i>Branch and Bound</i> en <i>WINQSB</i> ®.....	15
	1.9.1.	<i>WINQSB</i> ®	15
	1.9.2.	Problema del agente viajero.....	16
1.10.		Segmentación de mercado	16
	1.10.1.	Definición.....	16
	1.10.2.	Tipos de segmentación de mercados.....	17
	1.10.3.	Segmentación geográfica.....	17

2.	SITUACIÓN ACTUAL.....	19
2.1.	Función del área de programación	19
2.2.	Organigrama del área de programación	19
2.3.	Entorno general del proceso de programación de transporte y despacho	20
2.4.	Descripción del proceso de programación.....	23
2.4.1.	Pedido de ventas	23
2.4.1.1.	Página web	24
2.4.1.2.	Vendedores directos	25
2.4.1.3.	Vendedores indirectos	25
2.4.2.	Liberación del pedido.....	26
2.4.3.	Programación de despacho y transporte	26
2.4.4.	Consolidación	27
2.5.	Descripción del proceso de carga	27
2.5.1.	Despacho programado	28
2.5.2.	Medidas de seguridad	29
2.6.	Análisis de la mano de obra actual	31
2.6.1.	Descripción de puestos	31
2.6.2.	Descripción de jornadas de trabajo	33
2.6.3.	<i>Outsourcing</i>	33
2.7.	Equipo y herramientas básicas.....	34
2.7.1.	Herramientas	34
2.7.2.	Equipo	34
2.7.3.	Maquinaria	35
2.7.4.	Equipo de seguridad.....	35
2.8.	Análisis de costos	36
2.8.1.	Costo de mano de obra	37
2.8.2.	Costo de transporte de entrega	37

3.	PROPUESTA PARA OPTIMIZAR EL COSTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	41
3.1.	Indicadores de un sistema logístico de programación.....	41
3.1.1.	Los objetivos de la logística.....	41
3.1.2.	Los costos de la logística	41
3.2.	Diseño de la red de distribución logística	42
3.2.1.	Factores que influyen en la red	42
3.2.2.	Elementos de la red	43
3.3.	Descripción de la técnica a utilizar en la segmentación geográfica de mercado.....	43
3.4.	Análisis de las variables de decisión	43
3.4.1.	Clientes	44
3.4.2.	Rutas.....	44
3.4.3.	Transporte	45
3.4.3.1.	Disponibilidad	45
3.4.3.2.	Costos y tipos de transporte.....	45
3.4.3.2.1.	<i>Pick up</i>	45
3.4.3.2.2.	Camión.....	45
3.4.3.2.3.	Plataforma.....	46
3.4.4.	Producto	46
3.4.4.1.	Características del producto.....	46
3.4.4.2.	Estado del producto	47
3.5.	Propuesta del modelo a optimizar	48
3.5.1.	Prioridad de las variables y restricciones	48
3.5.2.	Fijación de restricciones	49
3.5.2.1.	Restricciones de clientes.....	49
3.5.2.2.	Restricciones de rutas.....	49
3.5.2.3.	Restricciones de transportes	50
3.5.2.4.	Restricciones de productos	50

3.6.	Transporte y asignación con <i>Solver</i> ®.....	50
3.6.1.	Generalidades	50
3.6.2.	Métodos de resolución de optimización de <i>Solver</i> ®.....	51
3.6.2.1.	Gradiente Reducido Generalizado.....	52
3.6.2.2.	Simplex.....	52
3.6.2.3.	Evolucionario	52
3.7.	Resolución del problema de redes con WINQSB®	52
3.7.1.	Selección de nodos y distancias.....	53
3.8.	Indicadores de calidad.....	53
3.8.1.	Capacidad.....	53
3.8.2.	Tiempo.....	53
3.8.3.	Distancia recorrida.....	54
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	55
4.1.	Personal involucrado en el nuevo método de programación ...	55
4.1.1.	Programa de capacitación al personal involucrado	55
4.2.	Tiempo de implementación del nuevo método	56
4.2.1.	Diagrama de Gantt	56
4.3.	Segmentación geográfica de mercado	57
4.4.	Red de distribución logística.....	59
4.4.1.	Elementos de la red de distribución.....	59
4.4.1.1.	Ubicación de clientes.....	59
4.4.1.2.	Ubicación de la empresa	59
4.4.1.3.	Distancias	60
4.5.	Documentación de pedidos a despachar.....	61
4.5.1.	Hoja de pedidos.....	61
4.6.	Aplicación de <i>Solver</i> ®	63

4.6.1.	Planteamiento	63
4.6.2.	Función objetivo	66
4.6.3.	Restricciones.....	66
4.6.4.	Modelización en <i>Solver</i> ®.....	67
4.6.5.	Excepciones	80
4.7.	Aplicación de WINQSB®.....	89
4.7.1.	Planteamiento	89
4.7.2.	Definición de los casos.....	90
4.7.3.	Nodos y distancias	90
4.8.	Documentación final.....	94
4.8.1.	Ficha técnica de despacho.....	95
5.	SEGUIMIENTO O MEJORA	97
5.1.	Indicadores de calidad	97
5.1.1.	Capacidad	97
5.1.2.	Tiempo de despacho	97
5.1.3.	Distancia recorrida	98
5.2.	Resultados obtenidos.....	98
5.2.1.	Interpretación	99
5.3.	Cuantificación de ahorros reales	100
5.4.	Acciones correctivas	101
5.5.	Actualizaciones de pedidos.....	101
5.6.	Ventajas y beneficios	101
	CONCLUSIONES.....	103
	RECOMENDACIONES	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	107
	ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la empresa.....	4
2.	Transporte y asignación	11
3.	Diagrama de redes.....	11
4.	Interfaz de <i>MS-Excel</i> ®	14
5.	Organigrama del área de programación.....	19
6.	Proceso general de programación de transporte y despacho 1	20
7.	Proceso general de programación de transporte y despacho 2	21
8.	Proceso general de programación de transporte y despacho 3	22
9.	Información que incide en el proceso de programación	23
10.	Interfaz del sitio <i>web</i> de la empresa	25
11.	<i>Solver</i> ® en la barra de tareas de <i>MS-Excel</i> ®.....	51
12.	Métodos de resolución de <i>Solver</i> ®	51
13.	Diagrama de Gantt del proceso de implementación	56
14.	Segmentación del territorio de Guatemala según regiones y distancias	57
15.	Ubicación de clientes en el territorio guatemalteco	60
16.	Interfaz de la aplicación.....	63
17.	Función de la celda objetivo en <i>MS-Excel</i> ®.....	66
18.	Matriz de rollos de la región Guatemala.....	68
19.	Matriz de control de transporte para rollos de la región Guatemala	68
20.	Matriz de rollos de la región Verapaces	69
21.	Matriz de control de transporte para rollos de la región Verapaces	69
22.	Matriz de rollos de la región Nororiente.....	70

23.	Matriz de control de transporte para rollos de la región Nororiente	70
24.	Matriz de rollos de la región Norte	71
25.	Matriz de control de transporte para rollos de la región Norte	71
26.	Matriz de rollos de la región Suroccidente	72
27.	Matriz de control de transporte para rollos de la región Suroccidente	72
28.	Matriz de rollos de la región Noroccidente	73
29.	Matriz de control de transporte para rollos de la región Noroccidente	73
30.	Matriz de productos estándar de la región Suroccidente	74
31.	Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Suroccidente	74
32.	Matriz de productos estándar de la región Noroccidente	75
33.	Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Noroccidente	75
34.	Matriz de productos estándar de la región Nororiente	76
35.	Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Nororiente	76
36.	Matriz de productos estándar de la región Norte	77
37.	Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Norte	77
38.	Matriz de productos estándar de la región Guatemala	78
39.	Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Guatemala	78
40.	Matriz de productos estándar de la región Verapaces	79
41.	Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Verapaces	79
42.	Matriz ajustada de rollos de la región Verapaces	81

43.	Matriz ajustada de control de transporte para rollos de la región Verapaces	81
44.	Matriz ajustada de rollos de la región Nororiente	82
45.	Matriz ajustada de control de transporte para rollos de la región Nororiente	82
46.	Matriz ajustada de productos estándar de la región Suroccidente	83
47.	Matriz ajustada de control de transporte para productos estándar de la región Suroccidente.....	83
48.	Matriz ajustada de productos estándar de la región Nororiente	84
49.	Matriz ajustada de control de transporte para productos estándar de la región Nororiente.....	84
50.	Matriz ajustada de productos estándar de la región Norte	85
51.	Matriz ajustada de control de transporte para productos estándar de la región Norte.....	85
52.	Matriz ajustada de productos estándar de la región Guatemala	86
53.	Matriz ajustada de control de transporte para productos estándar de la región Guatemala.....	86
54.	Matriz ajustada de productos estándar de la región Verapaces.....	87
55.	Matriz ajustada de control de transporte para productos estándar de la región Verapaces	87
56.	Interfaz de WINQSB®	89
57.	Matriz general de ingreso de información	90
58.	Matriz de entrada del caso 1	91
59.	Matriz de salida del caso 1	91
60.	Matriz de entrada del caso 2	91
61.	Matriz de salida del caso 2.....	92
62.	Matriz de entrada del caso 3	92
63.	Matriz de salida del caso 3.....	92
64.	Matriz de entrada del caso 4	93

65.	Matriz de salida del caso 4	93
66.	Matriz de entrada del caso 5.....	94
67.	Matriz de salida del caso 5	94
68.	Ficha técnica de despacho	95

TABLAS

I.	Matriz de competencias laborales del analista de despacho	32
II.	Horarios de trabajo de analistas de despacho	33
III.	Medidas de seguridad en el proceso de carga	36
IV.	Costo por kilómetro de transporte de un tipo de transporte	37
V.	Distancias por departamento de la República de Guatemala. Parte 1	38
VI.	Distancias por departamento de la República de Guatemala. Parte 2	39
VII.	Regiones de Guatemala	44
VIII.	Características del producto, por unidad, relacionadas con el transporte.....	47
IX.	Regiones por departamentos.....	58
X.	Información de la empresa en estudio	60
XI.	Agrupación de pedidos según región y anillo	62
XII.	Consolidación de la información de entrada de la aplicación	64
XIII.	Consolidación de la información de entrada de la aplicación 2	65
XIV.	Consolidación de la información de entrada de la aplicación 3	65
XV.	Conversión de cantidad de camiones en toneladas equivalentes	67
XVI.	Tabla de resumen No. 1. Asignación en toneladas según tipo de transporte.....	88
XVII.	Tabla de resumen No. 2. Asignación en quetzales según regiones	88

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
km	Kilómetro

GLOSARIO

<i>MS-Excel®</i>	Programa informático que permite realizar tareas contables y financieras a través de funciones específicas trabajadas en hojas de cálculo.
<i>Outsourcing</i>	Contratación y delegación a largo plazo de uno o más procesos no críticos para un negocio, a un proveedor especializado.
<i>Solver®</i>	Complemento de <i>MS-Excel®</i> que sirve para identificar la cantidad en la que se debe combinar ciertas variables para alcanzar un objetivo, ateniéndose a condiciones y restricciones.
<i>Supply Chain</i>	Área de una empresa encargada de gestionar y organizar todas las actividades de adquisición, producción y distribución de los bienes que una compañía pone a disposición de sus clientes.
<i>WINQSB®</i>	Paquete de herramientas informáticas que permite el análisis y resolución de modelos matemáticos, problemas administrativos, de producción, proyectos, inventarios y transporte.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación aborda la problemática común de la falta de un método para decidir la asignación óptima de transporte en la industria. El área de transporte y despacho de la empresa siderúrgica en estudio está encargada de analizar, consolidar y entregar las rutas de entrega al transporte tercerizado que contrata la misma.

Anteriormente, el error humano y la gran variabilidad en los costos de distribución hacían de este proceso de decisión una caja negra dentro del departamento. Con el método propuesto se logra estandarizar la asignación de transporte, así como obtener el costo óptimo de la red de distribución.

El método propuesto reúne una cantidad robusta de variables que inciden en el proceso y las ordena de forma estratégica. La disponibilidad y el tipo de transporte, el tipo de producto de entrega, las posibles rutas, las ubicaciones de los clientes, entre otras, forman parte del grupo de variables con las que el método interactúa para devolver información valiosa para el área y para la consolidación óptima de las rutas de transporte.

El costo óptimo que entrega el método es una proyección que se valida en el mismo trabajo de graduación, en el capítulo 5. Adicional a esto, cabe decir que se emplean herramientas informáticas que tienen la capacidad de resolver algoritmos complejos de programación lineal aplicados a la logística de transporte, las cuales fueron las bases del presente documento.

OBJETIVOS

General

Determinar el costo óptimo de la red de distribución de una empresa siderúrgica.

Específicos

1. Diseñar y estandarizar el proceso de programación de transporte y despacho.
2. Definir los costos de la red de distribución con el fin de reducirlos.
3. Segmentar geográficamente la cartera de clientes de la empresa.
4. Establecer regiones y rutas óptimas para la nueva red de distribución.
5. Analizar y priorizar las variables de decisión para mejorar la productividad de la red de distribución.
6. Optimizar y resolver casos complejos de programación lineal con herramientas informáticas de ingeniería.
7. Implementar indicadores de calidad para medir, evaluar y mejorar el proceso continuamente.

INTRODUCCIÓN

La empresa en estudio se dedica a la fabricación de productos de acero como láminas y rollos con distintos acabados, grosores y fines de uso. En la actualidad, empresas pequeñas y medianas conforman el segmento comercial de la compañía, trabajando el producto final de la empresa para su propio beneficio o para servicio de reventa en ferreterías y constructoras en todo el territorio guatemalteco.

El eje central es la forma en la que la empresa siderúrgica hace llegar a sus clientes los productos, pues en la mayoría de los casos se necesita de transporte pesado para llevar la carga de decenas de toneladas que el mercado exige diariamente. La importancia de la estandarización del proceso de programación de transporte radica, concretamente, en la disminución del error humano y la optimización de los recursos de la empresa. Muchas veces las empresas confían en el personal encargado de programar las rutas de transporte y dejan a un lado la incertidumbre que puede provocar el hecho de realizar este proceso empíricamente.

El presente trabajo de graduación se enfocará en diseñar un proceso estándar de programación de transporte haciendo uso de herramientas informáticas disponibles para la resolución de problemas y casos de programación lineal, con el fin de optimizar los costos en el aprovechamiento de los recursos de transporte.

1. GENERALIDADES

1.1. La empresa

Debido a políticas de privacidad de la empresa en estudio, se omitirá el nombre de la misma y rasgos que la identifiquen en el resto del trabajo de graduación y, en adelante, se le nombrará Empresa Siderúrgica. En este capítulo se presenta a la empresa, de dónde viene y a dónde pretende llegar, con el fin de dar un enfoque al trabajo de graduación a ejecutar.

Es una empresa productora de aceros planos y largos, con centros productivos localizados en Argentina, México, Colombia, Estados Unidos y Guatemala. Es líder en el mercado latinoamericano con procesos integrados para la fabricación de acero y derivados. Como resultado de su calidad, servicio y ubicación geográfica, se convierte en un proveedor elegido tanto en sus mercados locales como en las Américas, donde se demandan sus productos de acero en forma creciente y sostenida.

1.1.1. Historia

La Organización Techint –“*Compagnia Tecnica Internazionale*”– fue fundada como empresa internacional en 1945. El fundador fue un ingeniero, gerente y empresario innovador, y una fuerza clave detrás del desarrollo de la industria siderúrgica italiana en la década de los 30's. La compañía recientemente fundada comenzó brindando servicios de ingeniería a un número creciente de clientes en América Latina y Europa. Luego, siguieron las actividades de construcción.

A finales de los 60 la construcción de Propulsora Siderúrgica fue una decisión estratégica, no solo como negocio sino como desarrollo del recurso humano. La incorporación de jóvenes ingenieros al equipo directivo, así como técnicos y operarios con poca experiencia, aportó una nueva forma de ver los negocios.

En 1992, Techint adquiere la siderúrgica estatal Somisa. Junto con Propulsora Siderúrgica, nace Siderar. Para 1998, la empresa venezolana Sidor se integró al proyecto y fue privatizada. En 2005 nace la empresa siderúrgica en estudio, integrada por la alianza de tres grandes empresas, Hylsa, Siderar y Sidor, como iniciativa del grupo Techint.

En 2007 esta empresa se consolida en Centroamérica, oficialmente contando con el único centro productivo de la región en Villa Nueva, Guatemala. La Empresa Siderúrgica cuenta además con una red completa de centros de servicio, distribución y bodegas ubicadas en distintos puntos de El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica.

En mayo de 2013 se culmina la modernización de la planta industrial en Villa Nueva, la cual tuvo una inversión de 27 millones de dólares. La inversión incluyó la modernización de una línea de galvanizado que permitió un incremento del 35 % de la capacidad de producción de la planta, permitiéndole a la planta producir 160 mil toneladas de acero terminado al año, y así cubrir una mayor proporción del mercado para el sector de la construcción formal, industrial y vivienda de la región. En la actualidad la empresa fabrica aceros laminados, recubiertos, largos, tubos y perfiles, con centros productivos localizados en Centroamérica que complementan sus polos productivos localizados en México y Argentina.

1.1.2. Misión

La misión de la empresa, en sus propias palabras, es: “crear valor con nuestros clientes, mejorando la competitividad y productividad conjunta, a través de una base industrial y tecnológica de alta eficiencia y una red comercial global”.

1.1.3. Visión

La visión de la empresa, en sus propias palabras, es: “ser una empresa siderúrgica líder en América, comprometida con el desarrollo de sus clientes, a la vanguardia en parámetros industriales y destacada por la excelencia de sus recursos humanos”.

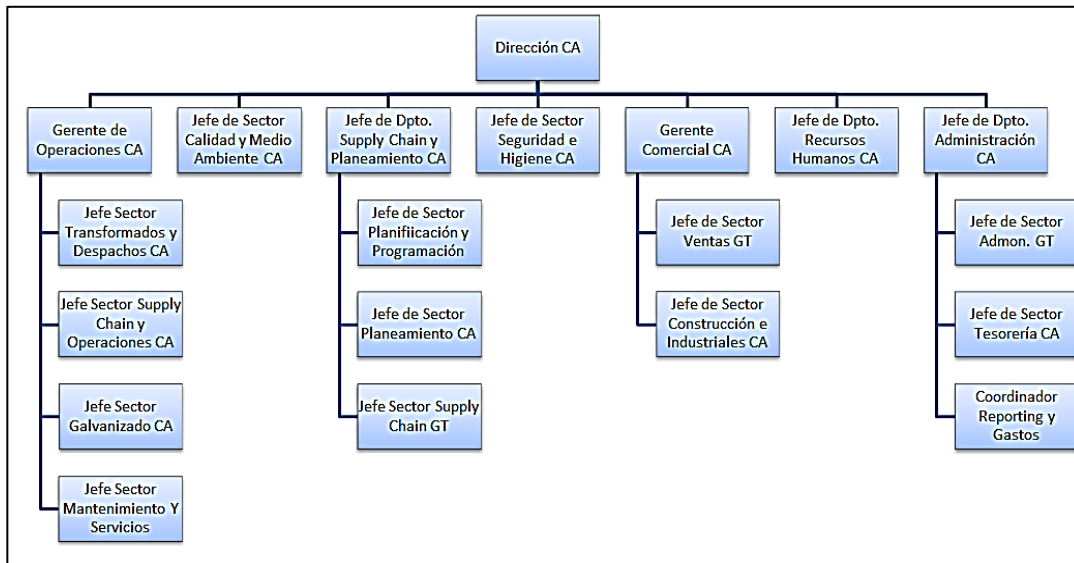
1.1.4. Tipo de organización

La Empresa Siderúrgica, según el sector de actividad, pertenece tanto al sector primario como al sector secundario, ya que extrae la materia prima directamente de la naturaleza y así mismo la transforma. Es considerada también una empresa privada, regional y lucrativa.

1.1.5. Organigrama

A continuación se representan en forma gráfica las áreas que dirigen y gestionan la empresa. Se debe tomar en cuenta que la sede principal de la región Centroamérica se encuentra en Guatemala. La denominación “C.A.” se refiere a Centroamérica.

Figura 1. Organigrama de la empresa



Fuente: elaboración propia.

1.2. Jefe de departamento *supply chain* y planeamiento

Su función general es garantizar la planificación, programación y distribución de la producción de las plantas de la región de acuerdo a cada una de las necesidades y unidades de negocio, cumpliendo con las ofertas de servicio acordadas con los clientes al mínimo costo para la empresa.

1.2.1. Funciones

- Garantizar el planeamiento de la gestión comercial de la empresa.
- Determinar los precios de venta en conjunto con la Dirección y Gerencia Comercial.
- Desarrollar e implementar procedimientos comerciales.

- Analizar, proponer mejoras y actualizar los procesos comerciales de la región.
- Diseñar e implementar indicadores de gestión comercial.
- Dar mantenimiento de bases de datos y desarrollar sistemas, con la finalidad de cumplir con los planes de ventas en forma competitiva y rentable, y así contribuir a alcanzar los márgenes de rentabilidad propuestos por la empresa.
- Asegurar el cumplimiento de los estándares de servicios y satisfacción de clientes.

1.2.2. Principales procesos

Las actividades que coordina el jefe de *supply chain* componen el resultado final de los procesos que tiene a cargo. Este resultado representa la garantía del cumplimiento de las ofertas de servicio acordadas con los clientes al mínimo costo para la empresa.

1.2.2.1. Planificación

Inicia con la elaboración del plan comercial industrial que viene dado con los pronósticos de la demanda, a fin de balancear requerimientos de clientes, producciones de línea, niveles de inventarios y requerimientos logísticos en la región comercial.

1.2.2.2. Programación

Comienza cuando se tienen los pronósticos de la demanda, en donde dirige la programación de la aplicación de las órdenes de producción en las

diferentes plantas, a fin de optimizar la utilización de las líneas de producción administrando cupos y movimiento físico de materiales.

1.2.2.3. Logística

Después de haber trabajado la programación, dirige la contratación de transporte marítimo y terrestre de materia prima y productos, controlando el cumplimiento de las condiciones pautadas, a fin de optimizar los procesos logísticos en términos de tiempos y costos.

1.3. Jefe de sector *supply chain* Guatemala

Es la persona encargada de gestionar dentro de la cadena de suministro la entrega a tiempo de las órdenes de clientes, cumpliendo con los requerimientos acordados y orientando a la organización a maximizar el servicio al cliente asegurando acciones de mejora.

1.3.1. Funciones

- Gestionar el despacho diario.
- Revisar existencias disponibles y no disponibles para despachar y no desatorarlas.
- Promover la mejora continua de los sistemas y de la gestión.
- Elaborar el mapa logístico.
- Hacer buen uso de los medios logísticos del cliente.
- Formular y administrar el presupuesto del área mediante el cumplimiento de los lineamientos dictados por la empresa, así como el seguimiento y control de la ejecución del mismo.

1.3.2. Principales procesos

Los procesos que tiene a cargo el jefe de sector de *supply chain* Guatemala van de acuerdo a sus funciones. Se enfocarán los procesos en el tema a tratar del trabajo de graduación.

1.3.2.1. Almacenamiento

Controla las salidas del almacén en donde se tiene el producto terminado. Ingresar el producto terminado directamente de producción y se lleva el control de las entradas. Por medio de procedimientos específicos también estos se asignan a diferentes consumidores. Por último, se controlan las salidas de productos.

1.3.2.2. Despacho

El proceso inicia cuando se reciben órdenes de compras provenientes del área de ventas. Estas órdenes son analizadas sin tomar en cuenta la reducción de costos y de equipo innecesario. El proceso finaliza con las órdenes de despacho preparadas para ser cargadas en transporte pesado.

1.3.2.3. Expedición

Es la continuación del proceso de despacho. Luego de haber sido entregadas las órdenes de despacho, se lleva a cabo un monitoreo de todas las rutas que seguirán los transportistas para dejar el producto en su destino.

1.4. Área de programación y despacho

El área de programación y despacho consta de 5 personas encargadas de asignar diariamente rutas para la entrega de los productos a los consumidores. El coordinador de programación y despacho es la persona a cargo del área y gestiona todos los casos especiales que los programadores consideren de mayor relevancia.

1.4.1. Funciones

- Programar las rutas óptimas de transporte para entrega del producto.
- Consolidar órdenes de despacho.
- Notificar a planta los productos próximos a despachar.

1.4.2. Principales procedimientos

- Consolidación de órdenes de despacho
- Actualización de la base de datos de despacho a clientes Actualización de la bitácora diaria de problemas y fallas

1.5. Modelos determinísticos de investigación de operaciones

Los modelos determinísticos son aquellos en que se hace la suposición de que se cuenta con todos los datos pertinentes con certeza. Es decir, cuando el modelo es analizado se contará con toda la información necesaria para tomar una decisión.

1.5.1. Optimización no lineal

Es un método utilizado para determinar los valores de las variables que intervienen en un proceso o sistema para que el resultado sea el mejor posible. El modelo que se optimiza cumple con características específicas de la no linealidad:

- Relaciones no proporcionales
- Relaciones no aditivas
- Eficiencias o ineficiencias de escala

1.5.1.1. Programación no lineal

Es un modelo de programación matemática en el cual por lo menos una de las funciones de restricción o la función objetivo, o ambas, son no lineales. El modelo se resuelve mediante un algoritmo específico.

1.5.1.2. Métodos de búsqueda

Los métodos de búsqueda son métodos iterativos que utilizan algoritmos complejos para encontrar la mejor solución con una función u objetivo no lineal. Una gran variedad de programas computacionales en la actualidad tiene la capacidad de resolver problemas de optimización no lineal, pero gran parte de esa capacidad depende de la capacidad del equipo de cómputo que se utilice para resolver el problema con velocidad.

1.5.2. Optimización lineal

Al igual que el método de optimización no lineal, es un método utilizado para determinar los valores de las variables que intervienen en un proceso o sistema para encontrar el mejor resultado. Las restricciones son lineales estrictamente.

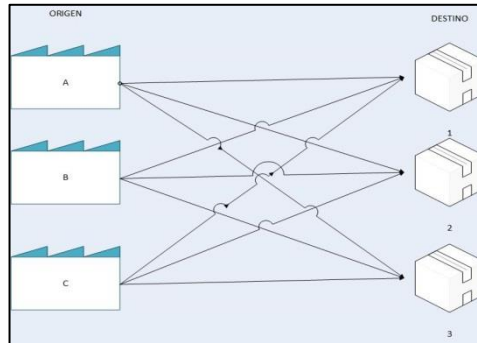
1.5.2.1. Programación lineal

La programación lineal corresponde a un algoritmo a través del cual se resuelven situaciones reales en las que se pretende identificar y resolver dificultades para aumentar la productividad respecto a los recursos (principalmente los limitados y costosos), aumentando así los beneficios. El objetivo primordial de la programación lineal es optimizar, es decir, maximizar o minimizar funciones lineales en varias variables reales con restricciones lineales, optimizando una función objetivo también lineal.

1.5.2.2. Transporte y asignación

Es un método de optimización especial que tiene como finalidad llevar unidades de un punto origen hacia otro punto llamado destino. El objetivo primordial de este modelo es minimizar costos relacionados con el plan de rutas escogido, cumpliendo con las restricciones y requerimientos que se le anteponen.

Figura 2. **Transporte y asignación**

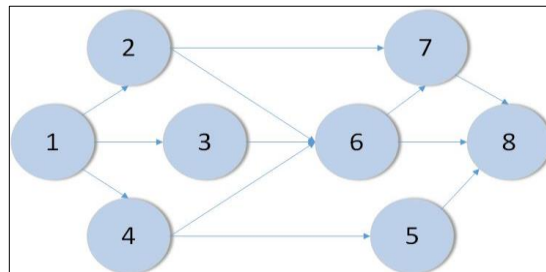


Fuente: elaboración propia.

1.5.2.3. **Redes**

Es un tipo de modelación que permite la resolución de problemas de programación mediante algoritmos específicos creados para ese fin. Las redes son gráficas que representan un flujo en sus ramales. Las redes están formadas por nodos y arcos. Una cadena se forma cuando constituye un conjunto de arcos y nodos que van de forma continua. Se le llama ruta al conjunto de nodos que constituye una cadena.

Figura 3. **Diagrama de redes**



Fuente: elaboración propia.

1.6. Costos

Desde la perspectiva económica, un costo no es más que la vinculación válida entre un objetivo y los factores considerados necesarios para su obtención. Desde un concepto contable, el costo tiene una acepción más restringida que desde el punto de vista económico: es la suma de valores, cuantificables en dinero, que representan consumos de factores de producción realmente incurridos o efectivamente desembolsados para llevar adelante el acto de gestión cuyo costo se trate. En cualquiera de las dos, existe un común denominador que es el sacrificio que se tiene para alcanzar un propósito.

1.6.1. Definición

Son los sacrificios o esfuerzos realizados para adquirir o producir bienes o servicios independientemente de si han sido consumidos o no.

1.6.2. Tipos de costos

Los costos descritos a continuación están relacionados con la distribución, es decir, aquellos generados como consecuencia de trasladar el producto finalizado hacia el consumidor. El costo logístico es variable porque depende directamente de la forma en que se efectúen los pedidos, dónde se hallen los clientes, el tiempo de permanencia en el almacén, etc.

- Costo de *stock*: es el costo de las existencias de un determinado producto, tanto en almacenes como en la superficie de ventas. Aquí también se integran costos ocultos tales como obsolescencia, seguro, roturas, etc.

- Costo de almacenaje: es el costo debido a mantener las existencias de un producto.
- Costo de *picking*: es el costo debido a la preparación de un pedido. Este es variable y conlleva actividades como la movilización por una bodega para encontrar el producto requerido.
- Costo de transporte: el costo de transporte depende de:
 - La distancia
 - El peso
 - La urgencia de la entrega
 - La modalidad de envío (tren, camión, barco, etc.)

1.7. Mano de obra

Representa el esfuerzo del trabajo humano que se aplica en la elaboración del producto. La mano de obra directa y *outsourcing* son las variables que conllevan mano de obra en el presente caso de estudio.

1.7.1. Mano de obra indirecta

Constituye el esfuerzo laboral que aplican los trabajadores que no están físicamente relacionados con el proceso productivo, sea por acción manual o por operación de una máquina o equipo. El costo del esfuerzo laboral que desarrollan los trabajadores es el costo de la mano de obra indirecta.

1.7.2. Outsourcing

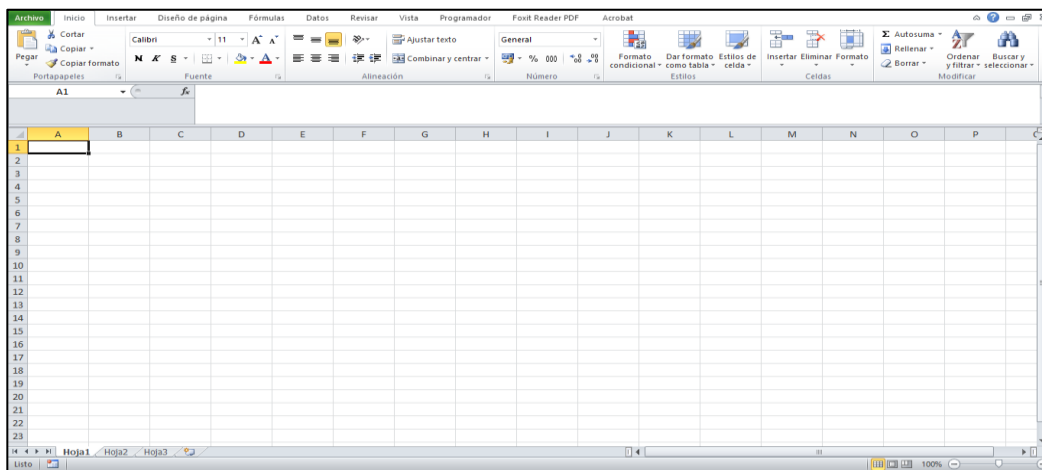
Es la externalización de la mano de obra. Se refiere a la contratación y delegación a largo plazo de uno o más procesos no críticos para un negocio, a

un proveedor más especializado para conseguir una mayor efectividad que permita orientar los mejores esfuerzos en una compañía a las necesidades para el cumplimiento de una misión.

1.8. Solver® en MS-Excel®

Es una herramienta que sirve para saber en qué cantidad se tienen que combinar varias cosas (variables) para formar un todo perfecto u óptimo (objetivo), ateniéndose a ciertas condiciones dadas y a algunas restricciones.

Figura 4. Interfaz de MS-Excel®



Fuente: elaboración propia.

1.8.1. MS-Excel®

MS-Excel® es una aplicación utilizada para crear hojas de cálculo que está dividida en filas y columnas. Al cruce de estas se le denomina celdas, sobre las cuales se almacena información (letras o números), que se puede

usar para realizar operaciones, tales como sumas, restas, multiplicaciones, divisiones, cálculos financieros, estadísticos, de ingeniería, amortizaciones, etc.

1.8.2. Complemento *Solver*®

Solver® forma parte de una serie de comandos denominados herramientas de análisis. Con *Solver*® se puede encontrar un valor óptimo (mínimo o máximo) para una fórmula en una celda, denominada la celda objetivo, sujeta a restricciones o limitaciones en los valores de otras celdas de fórmula en una hoja de cálculo.

Solver® trabaja con un grupo de celdas llamadas celdas de variables de decisión, o simplemente celdas de variables, que participan en el cómputo de fórmulas en las celdas objetivo y de restricción. *Solver*® ajusta los valores en las celdas de variables de decisión para cumplir con los límites en las celdas de restricción y producir el resultado deseado para la celda objetivo.

1.9. Método *Branch and Bound* en WINQSB®

El método de *branch and bound* (ramificación y poda) proporciona una solución óptima del problema del agente viajero, calculando mediante el algoritmo *simplex* la solución del modelo. A medida que aumente el tamaño de la red, el método puede tardar gran cantidad de tiempo en resolverse, sin embargo, para redes de mediano tamaño es una excelente alternativa.

1.9.1. WINQSB®

WINQSB® es un paquete de herramientas muy versátil que permite el análisis y resolución de modelos matemáticos, problemas administrativos, de

producción, proyectos, inventarios, transporte, entre muchos otros. Ofrece una interfaz básica pero amigable y es la aplicación por excelencia utilizada por profesionales de ingeniería industrial y áreas administrativas para la resolución de sus modelos de programación lineal, continua o entera.

1.9.2. Problema del agente viajero

En el problema del agente viajero el objetivo es encontrar un recorrido completo que conecte todos los nodos de una red, visitándolos tan solo una vez y volviendo al punto de partida, y que además minimice la distancia total de la ruta. El problema del agente viajero tiene una variación importante y esta depende de que las distancias entre un nodo y otro sean simétricas o no, es decir, que la distancia entre A y B sea igual a la distancia entre B y A, puesto que en la práctica es muy poco probable que así sea.

1.10. Segmentación de mercado

Consiste en diferenciar el mercado total de un producto, en un cierto número de elementos (personas u organizaciones) homogéneos entre sí y diferentes de los demás, en cuanto hábitos, necesidades y gustos de sus componentes, que se denominan segmentos, obtenidos mediante diferentes procedimientos estadísticos, a fin de poder aplicar a cada segmento las estrategias de mercadeo más adecuadas para lograr los objetivos establecidos por la empresa.

1.10.1. Definición

Técnica que sirve para subdividir el mercado en conjuntos homogéneos de consumidores que permitan diseñar estrategias de mercadeo adecuadas.

1.10.2. Tipos de segmentación de mercados

- Segmentación psicográfica: pretende segmentar a los consumidores desde una perspectiva psicológica, tratando de adentrarse en la mente de las personas y determinar cuáles son sus gustos y preferencias. Para poder llevarla a cabo debe considerarse recibir ayuda de un especialista que pueda analizar las reacciones conscientes e inconscientes de las personas.
- Segmentación por frecuencia de uso: identifica el nivel de uso que tienen las personas sobre un producto.
- Segmentación cultural: la procedencia étnica de una persona tiene una incidencia importante en sus hábitos de compra. Se hace notar cuando se tiene un mercado con diferentes nacionalidades.
- Segmentación geográfica: se utiliza un parámetro geográfico para segmentar a los clientes. Se segmentan por regiones, ciudades, pueblos, países, etc. Un dato importante que se obtiene con este tipo de segmentación es el número aproximado de consumidores en un determinado segmento,
- Segmentación demográfica: exige considerar todas las características de la población que sean relevantes para crear un perfil de consumidores.

1.10.3. Segmentación geográfica

Se habla de este tipo de segmentación cuando se divide el mercado, diferenciando distintas áreas geográficas donde distribuir los productos o servicios. Es por eso que tiene un uso importante en el área de logística o distribución de cualquier empresa. Puede ser útil para este tipo de segmentación la técnica de *geomarketing*, ya que gráficamente se puede subdividir cada segmento a penetrar. Se denomina *geomarketing* al proceso por

el cual se toma una base de datos de clientes o personas potenciales de un negocio y se los marca en un mapa, para investigar algunas cuestiones como:

- Mayoritariamente, ¿de dónde son?
- ¿En qué barrio compran?

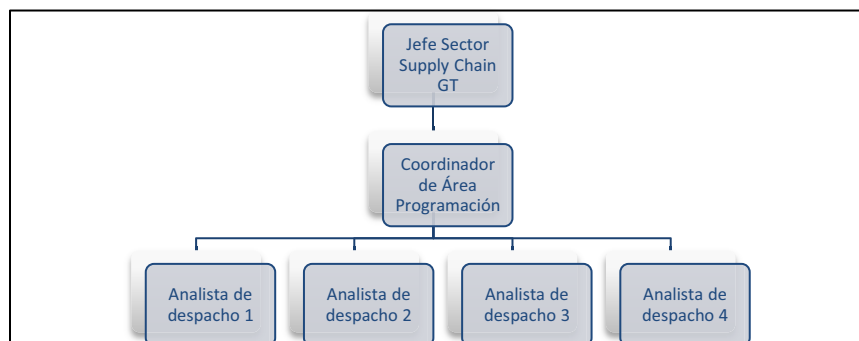
2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Función del área de programación

Es el área específica de la cadena de suministros que se encarga de la programación de las rutas, cargas, camiones, horarios, para llevar al cliente el producto terminado. Es el último paso de la cadena de suministros y tiene relación directa con el cliente.

2.2. Organigrama del área de programación

Figura 5. Organigrama del área de programación



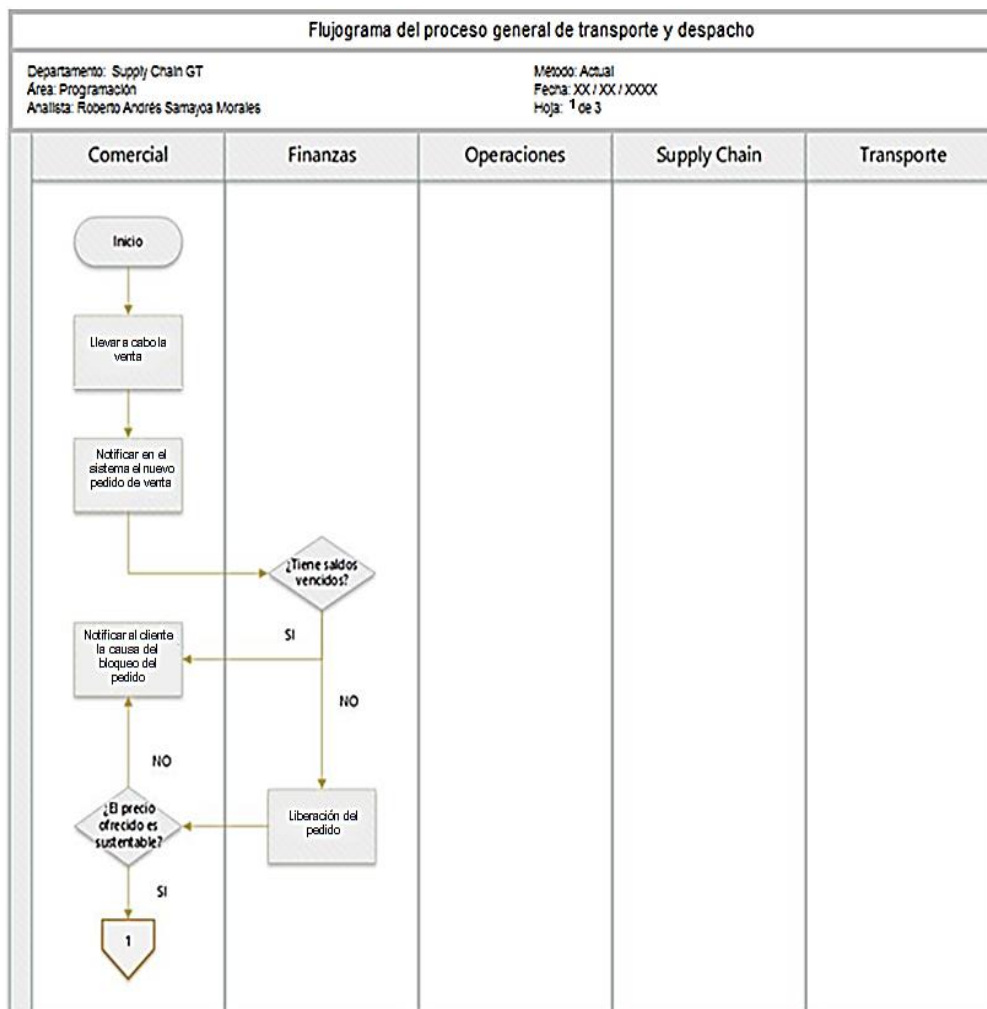
Fuente: elaboración propia.

El área de programación se encuentra debajo jerárquicamente del jefe de sector *supply chain* Guatemala. El coordinador del área de programación es el encargado de reportar al jefe de sector los resultados de su área. El organigrama es vertical y específico, ya que se desarrolla de arriba hacia abajo y abarca un área específica de la empresa.

El equipo de trabajo que integra al área de programación consta de cuatro integrantes que deciden en tiempo real la ruta óptima, con la carga adecuada y el transporte idóneo disponible para realizar una entrega del producto.

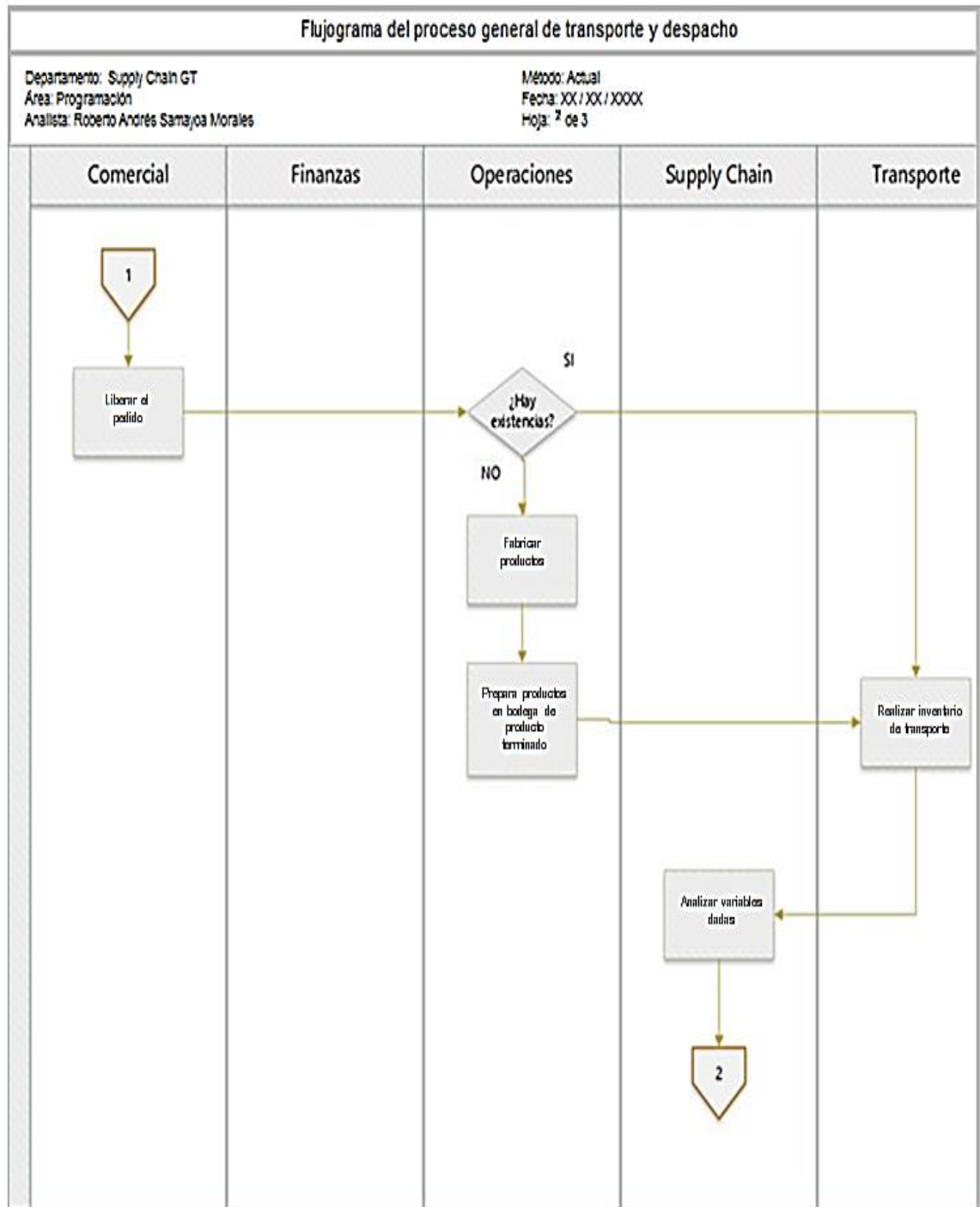
2.3. Entorno general del proceso de programación de transporte y despacho

Figura 6. Proceso general de programación de transporte y despacho 1



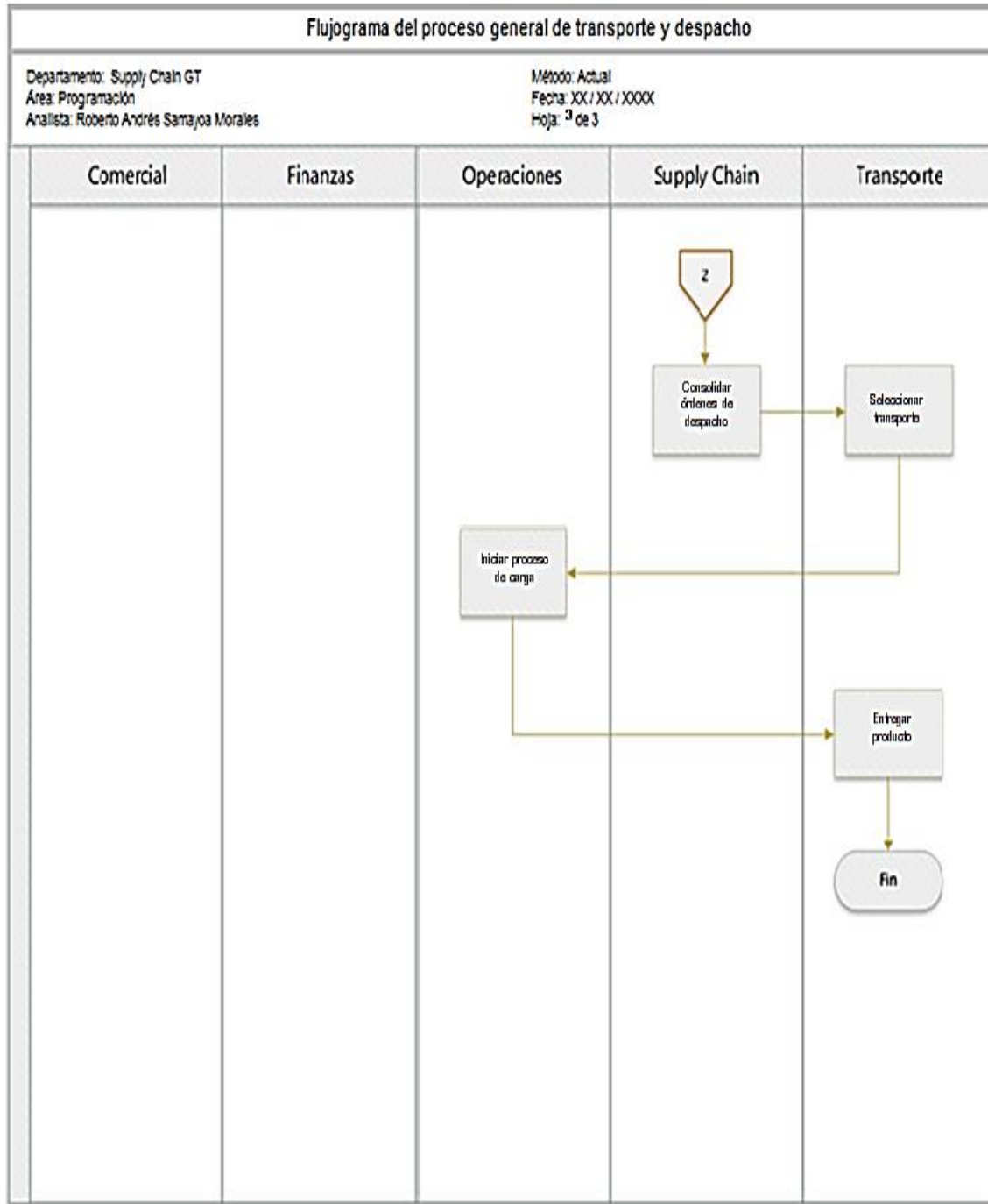
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Proceso general de programación de transporte y despacho 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Proceso general de programación de transporte y despacho 3



Fuente: elaboración propia.

2.4. Descripción del proceso de programación

El proceso de programación se relaciona con otros procesos alternos que aportan información esencial para tomar decisiones óptimas con relación a la programación de transportes. La programación de despacho inicia con las solicitudes de los productos salientes a través de los vendedores. Las órdenes de venta se montan al sistema de la compañía y se le hacen llegar al coordinador de programación.

Figura 9. Información que incide en el proceso de programación



Fuente: elaboración propia.

2.4.1. Pedido de ventas

El departamento de ventas juega un rol esencial en la empresa. Entre sus principales funciones se encuentran:

- Elaborar pronósticos de ventas
- Establecer precios
- Llevar un adecuado control y análisis de las ventas

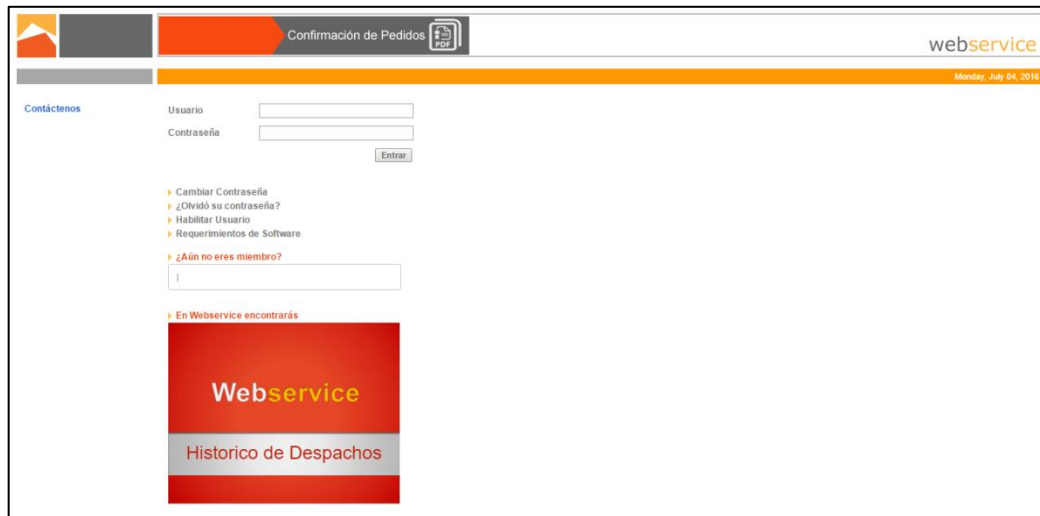
El departamento de ventas se ve relacionado con casi todo el proceso de programación y despacho. Debe tener relación con almacén, créditos y gerencia general:

- El departamento de ventas debe mantener una relación directa con el almacén, a fin de contar con suficiente inventario para cubrir la demanda.
- Los vendedores deben tener una relación estrecha con el departamento de créditos para evitar vender a clientes morosos y conocer las líneas de crédito, así como el saldo de cada cliente.
- No deben existir preferencias entre clientes en cuanto a plazos, descuentos, a menos que sean autorizados por la gerencia general.
- Las ventas pueden realizarse por medio de tres formas distintas, dependiendo del canal por el que el consumidor tenga preferencia.

2.4.1.1. Página web

Los pedidos de ventas se hacen por medio de una página de Internet de la empresa. El cliente debe tener una cuenta de crédito en la empresa para poder tener acceso a este servicio, pues se crea un usuario específico para poder hacer operaciones monetarias dentro del sitio.

Figura 10. **Interfaz del sitio web de la empresa**



Fuente: elaboración propia.

2.4.1.2. Vendedores directos

Es el personal perteneciente al área de ventas que visita periódicamente a los clientes en todo el territorio de Guatemala para poder realizar las ventas directas y promocionar el producto a clientes potenciales. Estos llevan el control de sus respectivos clientes en sus designadas rutas de promoción y deben entregar una meta mensual de acuerdo a los pronósticos de ventas generados.

2.4.1.3. Vendedores indirectos

Es el personal que realiza las ventas por medio de llamadas telefónicas. Su función principal es la de operar llamadas de clientes que frecuentan este medio para realizar sus compras y realizar todos los movimientos necesarios en el sistema para asignar los pedidos de ventas, tanto para los vendedores directos como para el mismo personal indirecto de ventas.

2.4.2. Liberación del pedido

Después de haber realizado el pedido de ventas, la información ingresada al sistema de la empresa se envía hacia el área de finanzas y el área comercial. Estas áreas otorgan un permiso que indica que el pedido puede cargarse a fábrica sin inconvenientes. El área financiera otorga una validación que indica que el cliente que quiere adquirir el producto está libre de deudas y mantiene al día la línea de crédito que le ha otorgado la empresa. Cualquier excepción se hace saber a la dirección y es esta la que toma una decisión.

El área comercial está encargada de regir los precios de venta de los distintos productos. Estos precios de venta varían siempre que la cantidad adquirida por el cliente implique un valor monetario de gran magnitud. En ese caso, el vendedor, junto con el encargado comercial y el cliente, acuerdan un precio de conveniencia para ambas partes: cliente y empresa. Se dice que un pedido se retiene y no se libera cuando el precio no es conveniente para la empresa y cuando el cliente resulta con moras y créditos sin pagar.

2.4.3. Programación de despacho y transporte

Después de que el pedido de ventas obtuvo el visto bueno del área financiera y el área comercial, la información se envía a planta y a transporte.

En planta se define la primera variable a tomar en cuenta para diseñar las rutas de entrega, que es básicamente decidir si el producto está listo para cargar o si aún no se encuentran existencias de tal producto. Si el producto se encuentra en la bodega de producto terminado, entonces se dice que el estado del producto es *stock*. Si el producto está en proceso o aún no se comienza a fabricar, entonces se dice que el estado del producto es MTO (*maketoorder*).

Al igual que a planta, la información llega al área de transporte para hacer una planificación primaria del tipo de transporte que se necesitará para llevar determinado tipo de producto, según tamaño, cantidad y características específicas.

2.4.4. Consolidación

La consolidación de la programación de despacho y transporte requiere de todas las variables obtenidas en los pasos anteriores del proceso. Estas variables son:

- El nombre del cliente, la dirección fiscal o comercial del mismo, la cantidad y el tipo de producto que solicita.
- La disponibilidad del producto proviene de planta.
- La disponibilidad de transportes es enviada desde el área de transporte.

Esta información es analizada manualmente por el personal del área de programación, con el fin de buscar las rutas óptimas para la entrega del producto al consumidor. El siguiente paso del proceso consiste en la consolidación de las órdenes de despacho, que son enviadas a planta nuevamente para hacer saber al personal el producto próximo a cargar.

2.5. Descripción del proceso de carga

La carga es un conjunto de bienes o mercancías protegidas por un embalaje apropiado que facilita su rápida movilización. Existen dos tipos principales de carga: general y a granel.

La carga general comprende una serie de productos que se transportan en cantidades más pequeñas que aquellas a granel. Dicha carga está compuesta por artículos individuales cuya preparación determina su tipo, a saber: suelta convencional (no unitarizada) y unitarizada.

La carga suelta (no unitarizada) consiste en bienes sueltos o individuales, manipulados y embarcados como unidades separadas, fardos, paquetes, sacos, cajas, tambores, piezas atadas, etc. La carga unitarizada está compuesta por artículos individuales, tales como cajas, paquetes, otros elementos desunidos o carga suelta, agrupados en unidades como paletas y contenedores (unitarización), los que están listos para ser transportados. La preparación de la carga permite una manipulación segura y evita el saqueo, los daños y las pérdidas, y la protege de la degradación térmica y biológica, el manejo brusco o la lluvia, el agua salada, etc., y además permite una manipulación más rápida y eficiente.

Por otro lado, la carga a granel puede ser líquida o sólida. Esta se almacena, por lo general, en tanques o silos que se desplazan por bandas transportadoras o ductos, respectivamente. Ambos tipos de productos se movilizan por bombeo o succión, cucharones, cucharones de almeja y otros elementos mecánicos. Estos productos no requieren embalaje o unitarización.

2.5.1. Despacho programado

El despacho programado requiere de ciertas consideraciones que aseguran la calidad de la entrega. Estas son:

- Recibo del pedido por parte del área de ventas.
- Verificación del cupo de crédito y demás condiciones comerciales.

- Generación de la lista de *picking*, con el visto bueno de la persona encargada de asegurar la calidad del despacho al cliente. En el caso de Operadores Logísticos, la empresa debe enviar las instrucciones de despacho a los clientes.
- Preparación del pedido por parte de la empresa utilizando los mecanismos de seguridad acordados previamente, con el fin de garantizar el despacho de lo solicitado en la calidad acordada y la facturación de cantidades iguales a las físicamente entregadas.
- Generación y envío del Aviso de Despacho hacia al cliente.

2.5.2. Medidas de seguridad

Al momento de realizar la carga se deben tomar en cuenta tres reglamentos para mantener un ambiente seguro.

El primero es el reglamento de equipo de protección de personal:

- Todo el personal de la empresa, así como contratistas, clientes, proveedores y visitas, sin excepción, deberán utilizar el equipo de protección personal establecido en cada área o sector, tanto para ingresar en las instalaciones operativas como para permanecer y salir de ellas.
- Se define como equipo de protección de personal básico para toda la empresa el casco, calzado y anteojos de seguridad.
- Para el ingreso a toda área operativa, dentro o fuera de las naves, se deberán utilizar los equipos de protección de personal básicos, más los específicos del lugar o tarea desarrollada.
- En áreas expresamente definidas se permitirá no usar casco.
- La camisa debe estar fajada dentro del pantalón y sin remangar.

- Si el equipo de protección personal presenta daños, deberá ser reemplazado.

Como segundo reglamento se propone el reglamento de operación de montacargas:

- Los montacargas deberán usarse solo como equipo de levante y para realizar traslados a distancias permitidas.
- Los montacargas serán operados únicamente por personal capacitado y autorizado por la empresa.
- Deberá portar licencia vigente que lo acredite como operador del equipo, llevar abrochado el cinturón de seguridad y respetar los límites de velocidad establecidos.
- Antes de operar el equipo, el responsable deberá inspeccionar los dispositivos de seguridad básicos del vehículo: torreta, bocina, frenos, luces, cinturón de seguridad, alarma de reversa, espejos, extintor, llantas y fugas de aceite. Si alguno de estos dispositivos no funciona, o está en mal estado, deberá ser reportado y el vehículo no podrá ser usado.
- Está prohibido transportar personas como acompañantes o sobre las uñas/cuchillas del montacargas.
- Antes de avanzar o moverse en reversa, el operador deberá asegurarse que el área de tránsito está libre. Deberá accionar la bocina y detener la unidad cuando, en las áreas donde haya tránsito o cruce de personas, esta se encuentre a menos de dos metros de distancia.
- No se deberá abandonar el equipo encendido o con carga suspendida, ni tampoco estacionarlo en pasillos, en salidas de emergencia, en camino o terrenos con pendientes u obstruir equipos contra incendio. El equipo debe dejarse con las uñas bajas a nivel del suelo y con el freno de estacionamiento activado.

- Por ningún motivo se excederá la capacidad de carga del montacargas. Su límite de capacidad estará señalado y en un lugar visible.
- Siempre se debe aplicar el *checklist* de revisión previo al uso de cualquier unidad de montacargas.
- Los montacargas no deberán tener instalados los tanques de gas combustible sobre el techo de la cabina. Estos podrán ser instalados sobre la base del contrapeso.

El tercer reglamento consiste en el manejo de grúas:

- Las grúas solo pueden ser operadas por el personal capacitado y autorizado por la empresa.
- Antes de operar el equipo, el responsable operador debe inspeccionar los dispositivos de seguridad básicos mediante la utilización del *checklist* (sirena, torreta sistema de levantamiento, luces, sistema de frenos, controles, límite de izaje).
- El operador de grúas manipuladas a control remoto debe mantener contacto visual continuo con la carga y no podrá estar a más de 30 metros de ella. La distancia mínima será el equivalente a la altura a la que se transporta la carga.
- No debe transportarse carga con las grúas por encima de personas o cabinas.
- Por ningún motivo deberá excederse la capacidad de carga de la grúa. Su límite de capacidad estará señalado y en un lugar visible.

2.6. Análisis de la mano de obra actual

2.6.1. Descripción de puestos

- Analista de despacho

La conformación de las competencias identificadas para este grupo unitario marca como esencial el manejo de conocimientos para despacho, chequeo y apoyo administrativo de la operación de los servicios de transporte. Dentro de las habilidades a desarrollar está la resolución de problemas. Como competencia social necesaria se requiere la comunicación verbal y trabajo en equipo. En cuanto a actitudes, hábitos y valores, se da como importante la responsabilidad.

Tabla I. **Matriz de competencias laborales del analista de despacho**

Competencias	Ponderación				
	1	2	3	4	5
Organización del trabajo		x			
Solución de problemas			x		
Trabajo en equipo			x		
Comunicación verbal efectiva		x			
Responsabilidad				x	
Atención al público			x		
Orden			x		
Agudeza visual y auditiva		x			
Manejo de equipo de oficina			x		
Conocimiento de <i>software</i> específico			x		

Fuente: elaboración propia.

- Funciones principales del puesto
 - Coordinar los itinerarios de los operadores del transporte.

- Control de carga, fletes, gastos del itinerario, viáticos, combustible, kilometraje, entre otros.
- Elaborar y asegurar el registro de bitácora de itinerarios e incidencias en el día a día.

2.6.2. Descripción de jornadas de trabajo

Las jornadas de trabajo de los analistas de despacho se describen a continuación:

Tabla II. Horarios de trabajo de analistas de despacho

Jornadas de trabajo. Analistas de despacho			
	Hora de Entrada L - V	Hora de salida L - V	Sábados
Analista 1	6:00 AM	3:00 PM	Turno rotativo. Dos analistas laboran cada sábado
Analista 2	7:00 AM	4:00 PM	
Analista 3	8:00 AM	5:00 PM	
Analista 4	9:00 AM	6:00 PM	

Fuente: elaboración propia.

2.6.3. Outsourcing

La empresa en estudio cuenta con la tercerización del proceso de entrega de productos. Eso quiere decir que la empresa paga una suma monetaria a una organización especializada en transporte, que se encarga de hacer llegar el

producto hasta el consumidor. Es por esta razón que no se cuenta con mano de obra para el área de transporte.

2.7. Equipo y herramientas básicas

El equipo y herramientas básicas del proceso están divididos según el tipo de trabajo que se requiera hacer. El trabajo de oficina no requiere mayor atención debido a la poca necesidad de equipo especializado y a la poca probabilidad de riesgos y/o accidentes. El trabajo de carga, por otro lado, tiene una variedad de consideraciones para manejar las herramientas, el equipo y la maquinaria.

2.7.1. Herramientas

Es un instrumento, por lo general de hierro o acero, con el cual se mantienen los equipos, máquinas, etc. El proceso de carga no requiere de herramientas, pero entre las condicionantes que la empresa dicta a la empresa subcontratada para que pueda cargar dentro de las instalaciones, está la obligación de portar una caja de seguridad con las herramientas básicas (martillo, alicate, destornillador, etc).

2.7.2. Equipo

Es el conjunto de accesorios útiles que operan para un servicio o trabajo determinado. Es de rango menor a la maquinaria. Un ejemplo es el equipo de fumigación, que puede ser manual o accionado por otra máquina, es decir mecanizado. En el trabajo de oficina que desempeñan los analistas de despachos se cuenta con equipos de cómputo. En el trabajo de carga se cuenta con 2 equipos:

- El equipo de elevación, que tiene la función elevar el producto pesado para colocarlo en el transporte designado. Las eslingas y los ganchos son parte de este equipo.
- El equipo de sujeción, que tiene la función de sujetar y contener al producto inmóvil durante su trayecto hacia el consumidor. Está conformado por ganchos y cadenas con su capacidad de carga identificada.

2.7.3. Maquinaria

Es el conjunto de máquinas cuya acción de fuerza es dirigida por el hombre y sirven para un determinado uso.

- La grúa interna, con la cual se eleva el producto para poder colocarlo en su transporte designado, es la máquina principal en el proceso de carga. Esta se utiliza con el equipo de elevación para facilitar el ascenso.
- El montacargas es necesario para colocar los productos en áreas específicas que facilitan el ascenso de la grúa.

2.7.4. Equipo de seguridad

El equipo de seguridad se describe a continuación:

Tabla III. **Medidas de seguridad en el proceso de carga**

Medidas de seguridad en el proceso de carga		
	Riesgos	Equipo de seguridad
Protección para la cabeza	Lesiones en el cuero cabelludo, lesiones cerebrales, fractura de cráneo o vértebras del cuello, perforación.	Casco.
Protección auditiva	Sordera temporal y permanente.	Tapones de inserción (endoaurales), protectores auditivos tipo copa (exoaurales).
Protección facial y para los ojos	Penetración de partículas y cuerpos extraños, compuestos químicos corrosivos, humos.	Lentes de seguridad de diferentes tipos.
Protección para manos	Riesgos físicos causados por vibración, cortes, golpes y factores químicos alérgenos.	Guantes especiales antideslizantes.
Protección para trabajos en alturas	Posibilidad de caída de diferentes niveles.	Arnés, cuerda.
Protección para los pies	Caída de un objeto pesado. Lesión en los dedos, quemaduras, dermatitis.	Calzado con puntera, calzado para trabajos con electricidad.

Fuente: elaboración propia.

2.8. **Análisis de costos**

El análisis de costos que se llevará a cabo consiste en una descripción breve del valor monetario que es percibido por la empresa y que se relaciona directamente con la programación y el despacho.

2.8.1. Costo de mano de obra

Los analistas de despacho tienen un salario diferenciado que aumenta proporcionalmente con los años que llevan ejerciendo en la empresa. El promedio del salario de los cuatro analistas de despacho es de Q. 6 543,20. La empresa entrega como valor neto mensual en promedio a sus analistas un total de Q. 26 172,80.

2.8.2. Costo de transporte de entrega

El costo del transporte se considera un costo logístico variable. El costo depende de factores como el tipo de transporte y el kilometraje recorrido por viaje. La empresa contratada para realizar la entrega del producto propone precios básicos estándar en quetzales por kilómetro recorrido.

Tabla IV. Costo por kilómetro de transporte de un tipo de transporte

Transporte en Toneladas	Costo por Km	Transporte en Toneladas	Costo por Km
1	5.45	10	15.43
2	6.89	12	17.98
3	7.04	16	20.34
5	8.55	22	23.45
7	11.65	25	28.59

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el costo de un viaje se debe utilizar la distancia real a la cual se encuentra un destino desde el punto de origen. Este se puede ver a continuación en la tabla de distancias por departamento de Guatemala del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.

Tabla V. Distancias por departamento de la República de Guatemala.
Parte 1

ALTA VERAPAZ			EL PROGRESO			HUEHUETENANGO		
MUNICIPIOS	*	**	MUNICIPIOS	*	**	MUNICIPIOS	*	**
COBAN		219	GUASTATOYA		78	HUEHUETENANGO		266
Chahal	154	373	El Jicaro	31	105	Aquecatán	24	291
Chisec	74	293	Morazan	36	102	Cobatenango	36	293
Fray Bartolomé de las Casas	113	332	San Agustín Acasaguastán	20	94	Concepción Huista	84	351
Lanquín	65	284	San Antonio La Paz	43	39	Culico	73	330
Parabás	127	298	Sanarate	21	58	Chiantla	5	272
San Cristóbal Verapaz	22	205	San Cristóbal Acasaguastán	30	103	Jacatenango	106	368
San Juan Chamelco	5	225	Sansare	35	72	La Democracia	71	328
San Miguel Tucurú	59	216	ESCUINTLA			La Libertad	64	321
San Pedro Carchá	8	227	MUNICIPIOS			Malacatancito	14	253
Santa Cruz Verapaz	16	203	ESCUINTLA			Nentón	115	372
Santa María Cahabón	97	316	Guanagazapa	25	84	San Antonio Huista	90	347
Senahu	138	291	Izapa	66	130	San Gaspar Ixc'hil	38	295
Tactic	29	190	La Democracia	35	92	San Ildefonso Ixtahuacán	45	302
Tamahú	43	200	La Gomerá	57	111	San Juan Atitán	35	292
BAJA VERAPAZ			Masagua	12	71	San Juan Ixc'oy	61	328
MUNICIPIOS			Nueva Concepción	93	150	San Mateo Ixtatán	120	387
SALAMA			Palín	17	42	San Miguel Acatán	94	361
Cubulco	44	131	Pueblo Nuevo Tiquisate	89	148	San Pedro Necta	55	312
El Chól	51	88	San José	51	110	San Pedro Soloma	74	341
Granados	62	77	Santa Lucía Cotzumalguapa	34	91	San Rafael La Independencia	88	358
Purulhá	32	166	San Vicente Pacaya	28	47	San Rafael Petz'at	31	288
Rabinal	26	113	Siquinalá	26	83	San Sebastián Coatán	106	373
San Jerónimo	10	152	GUATEMALA			San Sebastián Huehuetenango	24	281
San Miguel Chical	9	163	MUNICIPIOS			Santa Ana Huista	101	358
CHIMALTENANGO			GUATEMALA			Santa Bárbara	25	282
MUNICIPIOS			Amatitlán	32		Santa Cruz Barillas	148	415
CHIMALTENANGO			Chirrutúa	11		Santa Eulalia	88	358
Acatenango	33	85	Chuarancho	35		Santiago Chimaltenango	65	322
Comisapá	27	80	Frialanes	31		Tecitán	90	347
El Tejar	5	48	Mixco	22		Todos Santos Cuchumatán	45	312
Parramos	7	60	Palenca	30		JUTIAPA		
Patzún	17	70	San José del Golfo	30		MUNICIPIOS		
Patzún	30	83	San José Pinula	25		JUTIAPA		
Pochutá	83	136	San Juan Sacatepequez	30		Agua Blanca	47	164
San Andrés Itzapa	6	55	San Miguel Petapa	20		Asunción Mita	31	156
San José Poq'och	50	103	San Pedro Ayampuc	22		Atecatempa	37	182
San Martín Jilotepeque	18	71	San Pedro Sacatepequez	23		Comapa	42	125
San Pedro Yepocápa	35	88	San Raymundo	43		Conguaco	46	115
Santa Apolonia	39	92	Santa Catarina Pinula	14		El Adelanto	27	158
Santa Cruz Balanyá	28	81	Vita Canales	21		El Progreso Jutiapa	12	137
Tecpán Guatemala	36	85	Vita Nueva	21		Jalpatagua	34	108
Zaragoza	11	64	IZABAL			Jerez	37	168
CHIQUIMULA			MUNICIPIOS			Moyuta	48	121
MUNICIPIOS			PUERTO BARRIOS			Pasaco	70	150
CHIQUIMULA			El Estor	130	329	Quesada	17	111
Camotán	31	206	Los Amates	100	207	San José Acatempa	34	92
Concepción Las Minas	48	223	Livingston			Santa Catarina Mita	32	156
Esquipulas	56	231	Morales	60	257	Yupitpeque	23	148
Ipala	28	203	JALAPA			Zapotitán	32	158
Jocotán	29	204	MUNICIPIOS			RETALHULEU		
Olopa	42	217	JALAPA			MUNICIPIOS		
Quezatepeque	30	205	Mataquescuinta	41	110	RETALHULEU		
San Jacinto	16	191	Monjas	23	155	Champerico	41	231
San José La Arada	10	185	San Carlos Azeitare	40	183	El Asintal	12	199
San Juan Ermita	21	196	San Luis Jilotepeque	42	200	Nuevo San Carlos	6	196
			San Manuel Chaparrón	38	182	San Andrés Villaseca	17	178
			San Pedro Pinula	20	195	San Felipe	14	190
						San Martín Zapotitán	12	188
						San Sebastián	4	188
						Santa Cruz Muluá	9	185

* Distancia de los Municipios a su Cabecera Departamental
** Distancia de las Cabeceras Deptales. y Municipios a la capital

Fuente: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.

Tabla VI. Distancias por departamento de la República de Guatemala.
Parte 2

PETEN			SACATEPEQUEZ			SOLOLA		
MUNICIPIOS	*	**	MUNICIPIOS	*	**	MUNICIPIOS	*	**
FLORES		507	ANTIGUA GUATEMALA		40	SOLOLA		140
Dolores	82	424	Ciudad Vieja	7	47	Concepción	7	147
La Libertad	30	439	Jocotenango	3	43	Nanula	36	153
Melchor de Mencos	93	567	Magdalena Milpas Altas	10	37	San Andrés Semetabaj	16	143
Poptún	105	401	Pastores	7	47	San Antonio Palopó	19	153
Santa Ana	23	487	San Antonio Aguas Calientes	7	47	San José Chacaya	6	143
San Andrés	22	526	San Bartolomé Milpas Altas	13	29	San Juan La Laguna	24	164
San Benito	1	505	San Juan Ajotenango	14	54	San Lucas Totulán	41	152
San Francisco	31	495	San Lucas Sacatepequez	13	27	San Marcos La Laguna	18	158
San José	23	527	San Miguel Dueñas	10	50	San Pablo La Laguna	20	160
San Luis	125	381	Santa Catarina Barahona	8	48	San Pedro La Laguna	27	167
Santa Elena de la Cruz	1	506	Santa Lucía Milpas Altas	7	33	Santa Catarina Ixtahuacán	49	171
Sayaxché	68	401	Santa María de Jesús	10	50	Santa Catarina Palopó	13	153
QUETZALTENANGO			Santiago Sacatepequez	17	31	Santa Clara La Laguna	28	168
MUNICIPIOS	*	**	Santo Domingo Xenacoj	32	43	Santa Cruz La Laguna	7	147
QUETZALTENANGO		201	Sumpango	24	41	Santa Lucía Utatlán	14	154
Almolonga	4	205	SAN MARCOS			Santa María Visitación	27	167
Cabracán	43	244	MUNICIPIOS	*	**	Santiago Atitlán	59	170
Cajolá	16	217	SAN MARCOS		252	Panajachel	8	148
Cantel	15	208	Catarina	54	306	SUCHITEPEQUEZ		
Coatepeque	60	261	Comitancillo	34	272	MUNICIPIOS	*	**
Colomba	43	244	Concepción Tutuapa	58	310	MAZATENANGO		167
Concepción Chiquirichapa	13	214	El Quetzal	45	297	Cuyotenango	8	173
El Palmar	37	238	El Rodeo	36	287	Chicacao	25	155
Flores Costa Cuca	59	260	El Tumbador	49	301	Patulul	53	122
Genova	64	265	Esquipulas Palo Gordo	9	261	Pueblo Nuevo	16	181
Huitán	36	239	Ixchiguan	44	296	Río Bravo	39	130
La Esperanza	6	207	La Reforma	40	292	Samayac	8	164
Orintepeque	6	207	Malacarán	49	301	San Antonio Suchitepequez	11	154
Palestina de los Altos	33	234	Nuevo Progreso	64	316	San Bernardino	6	153
Sacajá	12	189	Ocos	104	356	San Francisco Zapotitán	6	171
San Carlos Sija	22	223	Pajapita	68	320	San Gabriel	3	168
San Francisco La Unión	16	217	Río Blanco	34	268	San José El Idolo	23	154
San Juan Ostuncalco	14	215	San Antonio Sacatepequez	9	243	San Juan Bautista	51	122
San Martín Sacatepequez	19	220	San Cristóbal Cuchó	28	280	San Lorenzo	6	171
San Mateo	10	211	San José Ojetenám	57	309	San Miguel Panam	18	153
San Miguel Sigüla	17	218	San Lorenzo	26	260	San Pablo Jocopilas	9	165
Sibilia	28	229	San Miguel Ixtahuacán	69	321	Santa Bárbara	43	127
Zunil	9	210	San Pablo	40	292	Santo Domingo Suchitepequez	8	161
QUICHE			San Pedro Sacatepequez	2	260	Santo Tomás La Unión	18	167
MUNICIPIOS	*	**	San Rafael Pie de la Cuesta	27	279	Zunilito	10	175
SANTA CRUZ DEL QUICHE		164	Sibinal	65	317	TOTONICAPAN		
Caritá	49	213	Spacapa	65	317	MUNICIPIOS	*	**
Cunén	68	232	Tacaná	71	323	TOTONICAPAN		201
Chajul	109	273	Tajumulco	37	289	Momostenango	31	208
Chicamán	102	266	Tecón Umán	83	335	San Andrés Xecul	19	196
Chiché	11	175	Tetlita	31	283	San Bartolo	41	218
Chinique	18	182	SANTA ROSA			San Cristóbal Totonicapán	12	189
Ixcán	151	315	MUNICIPIOS	*	**	San Francisco El Alto	15	192
Joyabaj	52	216	CUILAPA		69	Santa Lucía La Reforma	60	237
Nebaj	87	251	Barberena	8	60	Santa María Chiquimula	36	213
Pochulúm	81	245	Castilas	34	87	ZACAPA		
Patzún	12	176	Chiquimulita	38	116	MUNICIPIOS	*	**
Sacapulas	51	215	Guazacapán	44	112	ZACAPA		158
San Andrés Sajcabá	34	198	Nueva Santa Rosa	28	81	Cabañas	43	113
San Antonio Ixtotenango	17	181	Oratorio	15	63	Estarzuela	8	148
San Bartolomé Jocotenango	37	201	Pueblo Nuevo Vilas	37	65	Guatán	43	173
San Juan Cotzaj	103	267	San Juan Tecuaco	58	128	Huñe	36	130
San Miguel Uspantán	93	257	San Rafael Las Flores	52	105	La Unión	78	203
San Pedro Jocopilas	9	173	Santa Cruz Naranjo	18	70	Río Hondo	14	142
Santo Tomás Chichicastenango	18	146	Santa María Ixtuatán	22	90	San Diego	68	140
Zacualpa	40	204	Santa Rosa de Lima	25	78	Teculután	29	125
			Taxisco	50	106	Usulután	39	113

Fuente: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.

3. PROPUESTA PARA OPTIMIZAR EL COSTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

3.1. Indicadores de un sistema logístico de programación

Un indicador como tal es una comparación entre dos o más tipos de datos que sirve para elaborar una medida cuantitativa o una observación cualitativa. Esta comparación arroja un valor, una magnitud o un criterio, que tiene significado para quien lo realiza. En relación con el ámbito de la logística y el presente trabajo de graduación, se presentan indicadores con el objetivo de gestionar de una forma efectiva la red de distribución de la empresa en estudio.

3.1.1. Los objetivos de la logística

Los objetivos de la logística van ligados directamente a la misión de la empresa. La “red comercial global”, que expresa la misión de la empresa en estudio, se obtiene a partir de objetivos más específicos:

- Minimizar el costo total de la red
- Optimizar o satisfacer un nivel de servicio al consumidor establecido

3.1.2. Los costos de la logística

Los costos que se manejan en el presente trabajo de graduación son costos enfocados a la gestión del transporte y de la distribución, tanto costos variables (costo de transporte subcontratado) como costos fijos (salario de analistas).

Además, se debe hacer una diferenciación entre el costo proyectado y el costo real o facturado. El costo proyectado es el costo que arroja el método propuesto con base en el modelo a analizar, mientras que el costo facturado consiste en el costo real en términos comparables con el costo proyectado.

3.2. Diseño de la red de distribución logística

El diseño de la red de distribución logística está basado en información histórica reciente de la empresa, que se obtiene después de llevar a cabo técnicas de recopilación dirigidas al personal implicado en la actividad logística de distribución y de información obtenida directamente de la base de datos de la misma. El análisis de mapas y gráficas del territorio nacional es imprescindible para realizar el ruteo. En el presente trabajo de graduación se trabaja a nivel macro con el objetivo de hacer más eficiente la red logística.

3.2.1. Factores que influyen en la red

Al momento de analizar y mejorar una red de distribución se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- La capacidad para satisfacer las necesidades de los clientes.
- La experiencia del cliente, que es la facilidad que tiene el mismo para efectuar un pedido, llevar el seguimiento y recibirlo en las condiciones pactadas.
- La variedad de los productos, que hace referencia al número de artículos diferentes que un mismo cliente solicita de la red de distribución.

3.2.2. Elementos de la red

Existe una gran variedad de elementos propios de la red de distribución, pero los principales son los siguientes:

- Inventarios
- Transporte
- Infraestructura
- Información

3.3. Descripción de la técnica a utilizar en la segmentación geográfica de mercado

Para realizar la segmentación geográfica de mercado se utiliza información de la cartera de clientes activos de la empresa, en que se consolidan las direcciones comerciales de los mismos. Luego se utiliza la herramienta *Waze*® para ubicar las direcciones comerciales de los clientes, medir la distancia que existe entre la empresa y el cliente, y establecer rutas predeterminadas.

3.4. Análisis de las variables de decisión

Las variables de decisión son elementos desconocidos en un problema de optimización. Son los elementos cuyas magnitudes se desea determinar de la forma más óptima posible. La variable de decisión que se desea optimizar en el presente trabajo de graduación es la cantidad de producto que se debe transportar según cada ruta y transporte. Sin embargo, se deben analizar también los parámetros que caracterizan a las variables de decisión: clientes, rutas y transportes.

3.4.1. Clientes

Es el elemento que indica el destino del transporte. Con la ubicación de los clientes se puede determinar la magnitud de la distancia que tiene que recorrer un determinado tipo de transporte hacia su objetivo.

3.4.2. Rutas

Las rutas están definidas por 8 regiones conformadas por varios departamentos y establecidas por conveniencia para la empresa. Las rutas solo son una guía que se utiliza para saber el camino que tomará el transportista para llegar a su destino, pero no definen la distancia que recorrerá.

Tabla VII. **Regiones de Guatemala**

Región
Metropolitana
Nororiente
Occidente
Petén
Quiché
Suroccidente
Suroriente
Norte

Fuente: elaboración propia.

3.4.3. Transporte

El transporte tiene dos factores que lo definen: la disponibilidad de determinado tipo de transporte como parámetro y su respectivo costo como vector determinante en la función objetivo. Los costos se obtienen con pronósticos ponderados utilizando información reciente.

3.4.3.1. Disponibilidad

La disponibilidad es la cantidad de cada tipo de transporte que se encuentra preparado para cargar y transportar producto.

3.4.3.2. Costos y tipos de transporte

Los costos de transporte dependen del tamaño y la carga que pueden transportar. Los tipos de transporte se dividen en tres. Los costos reales y los tipos específicos de transporte se encuentran en el apartado 4.6.1. Planteamiento.

3.4.3.2.1. *Pick up*

Es el transporte menos costoso y el que menos carga puede soportar. Un *pick up* puede transportar cargas de hasta una tonelada.

3.4.3.2.2. Camión

Es el transporte que tiene más variedad en la empresa, con capacidad de soportar cargas dependiendo del tamaño, desde 2 hasta 16 toneladas.

3.4.3.2.3. Plataforma

Son camiones especiales que no tienen restricción con respecto a la altura del producto, pues únicamente constan de una plataforma y equipo especial para fijar el producto durante el recorrido. Pueden llevar cargas de 22 y 25 toneladas.

3.4.4. Producto

Esta variable afecta en la decisión final debido a la naturaleza del producto. En algunos casos, según el tipo de producto, se elige automáticamente un camión para transportarlo. Un producto demasiado grande debe asignarse a un transporte capaz de transportarlo en adecuadas condiciones. Un panel debe transportarse en una plataforma debido a su tamaño, por ejemplo.

3.4.4.1. Características del producto

Tabla VIII. **Características del producto, por unidad, relacionadas con el transporte**

	Tamaño	Peso	Material	Forma	Transporte
Cinta	Mediano	Medio	Acero recubierto en zinc, aluminio y silicio	Cilindro con altura leve	Indiferente
Lámina Lisa	Pequeño	Liviano	Acero recubierto en zinc, aluminio y silicio	Hoja	Indiferente
Lámina Ondulada	Pequeño	Liviano	Acero recubierto en zinc, aluminio y silicio	Hoja con vista lateral en forma de función senoidal	Indiferente
Panel	Grande (Especial)	Liviano	Lámina prepintada y espuma de poliuretano	Prisma rectangular	Plataforma de 22 y 25 toneladas
Rollo	Grande (Especial)	Pesado	Acero recubierto en zinc, aluminio y silicio	Cilindro	Plataforma de 22 y 25 toneladas
Teja	Pequeño	Liviano	Acero recubierto de pintura	Variado	Cualquiera

Fuente: elaboración propia.

3.4.4.2. Estado del producto

El estado del producto es la existencia del mismo en el inventario. Se dice que el producto está en *stock* si se encuentra producido y listo para cargar. Cuando el producto aún no se encuentra producido o se encuentra en proceso de transformación, entonces se dice que es *maketoorder* o MTO.

3.5. Propuesta del modelo a optimizar

El modelo que se utilizará es el siguiente:

$$Z = \sum X * A = X_1 * A_1 + X_2 * A_2 + X_3 * A_3 + \dots + X_{n-1} * A_{n-1} + X_n * A_n$$

Donde:

- Z es el costo óptimo de transporte en quetzales.
- X_n es la cantidad de toneladas que se transportarán hasta cierta distancia en una determinada ruta. Es la variable de decisión.
- A es una constante que representa el costo por transportar una tonelada de producto, en un determinado transporte, a cierta distancia de una establecida ruta.

$$A = \frac{C}{U}$$

- C es el costo de cierto tipo de transporte al llevar producto, a cierta distancia de una ruta establecida. Este monto se obtiene a partir de un pronóstico que se genera automáticamente utilizando los registros recientes de transportes.
- U es la capacidad teórica de un determinado tipo de transporte, en toneladas.

3.5.1. Prioridad de las variables y restricciones

La prioridad de las variables consiste en el orden en el que se debe analizar la información para llegar a la solución óptima. Debido a la numerosa

cantidad de variables que intervienen en el problema, se analiza el mismo por partes. Se tienen criterios establecidos para evaluar las variables de decisión:

- Se deben asignar primero las rutas correspondientes a los productos especiales, rollos y paneles, debido a que solo pueden ser transportados por camiones mayores o iguales 22 toneladas.
- Se analizan las regiones en orden descendente según la cantidad de toneladas que demanda.

3.5.2. Fijación de restricciones

Las restricciones son condiciones que caracterizan al problema con el fin de modelarlo de una forma más cercana a la realidad. Las restricciones pueden ser cualitativas o cuantitativas.

3.5.2.1. Restricciones de clientes

Las restricciones de los clientes son de tipo cuantitativo. Las restricciones de clientes consisten en las coordenadas geográficas de los mismos, las cuales definen la ruta y el anillo en el que se agrupará al cliente.

3.5.2.2. Restricciones de rutas

Las restricciones de rutas son de tipo cualitativo y estas intervienen en la resolución del problema debido a que se debe analizar cada ruta por separado para poder calcular el costo óptimo de la red de distribución.

3.5.2.3. Restricciones de transportes

Las restricciones de transportes son de tipo cuantitativo. Son las restricciones que definen la disponibilidad de transporte en el momento en el que se analizará el costo óptimo de la red de distribución.

3.5.2.4. Restricciones de productos

Las restricciones de productos son de tipo cualitativo. Son las encargadas de diferenciar el tipo de producto que se transporta.

3.6. Transporte y asignación con *Solver*®

El objetivo de utilizar *Solver*® es calcular, con ayuda de una herramienta tecnológica, el mínimo o el máximo de una función compleja que requeriría de mucho tiempo y esfuerzo si se hiciera manualmente.

3.6.1. Generalidades

La adaptación de *Solver*® al modelo de transporte propuesto es una de las muchas variantes en las que se puede utilizar esta herramienta. Tal y como un modelo de transporte en general, o cualquier problema resuelto por métodos de programación lineal, se tomarán en cuenta una función objetivo, restricciones, variables y valores monetarios que serán factor de decisión en la respuesta final.

Figura 11. **Solver®** en la barra de tareas de **MS-Excel®**

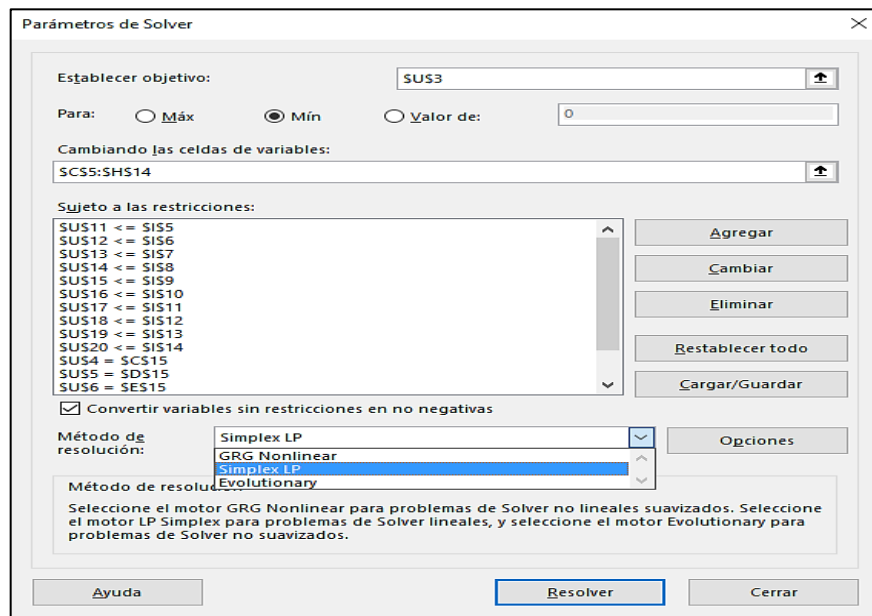


Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Métodos de resolución de optimización de **Solver®**

Cuando **Solver®** va a llevar a cabo la resolución de un problema de optimización, propone tres formas de llegar a una respuesta. Las tres formas consisten en métodos iterativos (algoritmos) y pueden llegar a entregar respuestas distintas, dependiendo de la utilidad que se quiera tener.

Figura 12. **Métodos de resolución de Solver®**



Fuente: elaboración propia.

3.6.2.1. Gradiente Reducido Generalizado

Es un algoritmo de resolución de problemas no lineales, que da inicio en un punto conocido e intenta moverse de tal forma que la función objetivo mejore. El proceso continúa hasta que el algoritmo alcanza un punto en el cual no existe una dirección factible para moverse que mejore el valor de la función objetivo.

3.6.2.2. Simplex

Método utilizado para resolver problemas de programación lineal en el cual se busca un máximo o un mínimo de una función lineal sobre un conjunto de variables que satisfaga un conjunto de inecuaciones lineales.

3.6.2.3. Evolucionario

Es un método de optimización que busca soluciones basándose en las teorías de la evolución biológica. Las posibles soluciones se mezclan y compiten entre sí, de tal manera que las más aptas son capaces de prevalecer a lo largo del tiempo, evolucionando hacia mejores soluciones cada vez. Los algoritmos evolutivos y la computación evolutiva son parte de una rama de la inteligencia artificial. Son utilizados en problemas con espacios de búsqueda extensos y no lineales, en donde otros métodos no son capaces de encontrar soluciones en un tiempo razonable.

3.7. Resolución del problema de redes con WINQSB®

El propósito de utilizar WINQSB® es optimizar la red de distribución a un nivel más profundo. El hecho de utilizarlo no incide en el costo proyectado de la

red de distribución, pero sí en el costo facturado, debido a que la distancia que un transporte determinado recorre para llegar a todos sus destinos se optimiza.

3.7.1. Selección de nodos y distancias

La selección de nodos y distancias depende directamente de la asignación de transporte después de llevar a cabo la modelización con *Solver*®. Los nodos consisten en las coordenadas geográficas de la empresa y de los clientes que un transporte debe visitar en su recorrido. Para definir los casos especiales en los cuales se utilizará dicha herramienta, un transporte debe visitar al menos a 3 clientes con distintas ubicaciones.

3.8. Indicadores de calidad

Son medidas de rendimiento cuantificables, aplicadas en este caso a la gestión logística, que permiten evaluar el desempeño y el resultado en cada etapa y/o proceso.

3.8.1. Capacidad

Son los indicadores que vienen dados por la cantidad de toneladas de acero que son asignadas y enviadas.

3.8.2. Tiempo

El tiempo de ciclo de un pedido consiste en el tiempo total desde que se levanta un pedido de cliente hasta que el producto es recibido por el mismo. El área de logística tiene un tiempo variable dentro del tiempo de ciclo total del

pedido, debido a que se realiza la asignación de acuerdo a horarios preestablecidos independientes del tiempo de ciclo de cada pedido individual.

3.8.3. Distancia recorrida

Un indicador de distancia deja de tener validez en el método propuesto porque no se tiene flota de transporte propia, sino una flota subcontratada.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Personal involucrado en el nuevo método de programación

El personal involucrado en el método de programación es el equipo de analistas del área de programación y despacho. Son cuatro analistas los que participan en el proceso. El coordinador del área de programación y despacho se encarga de llevar el control de la nueva propuesta, de determinar la calidad y eficiencia de la misma, y de estructurar de manera general las órdenes de carga y despacho para que puedan ser consolidadas por los analistas.

4.1.1. Programa de capacitación al personal involucrado

El programa de capacitación del personal involucrado está estructurado en 4 pilares:

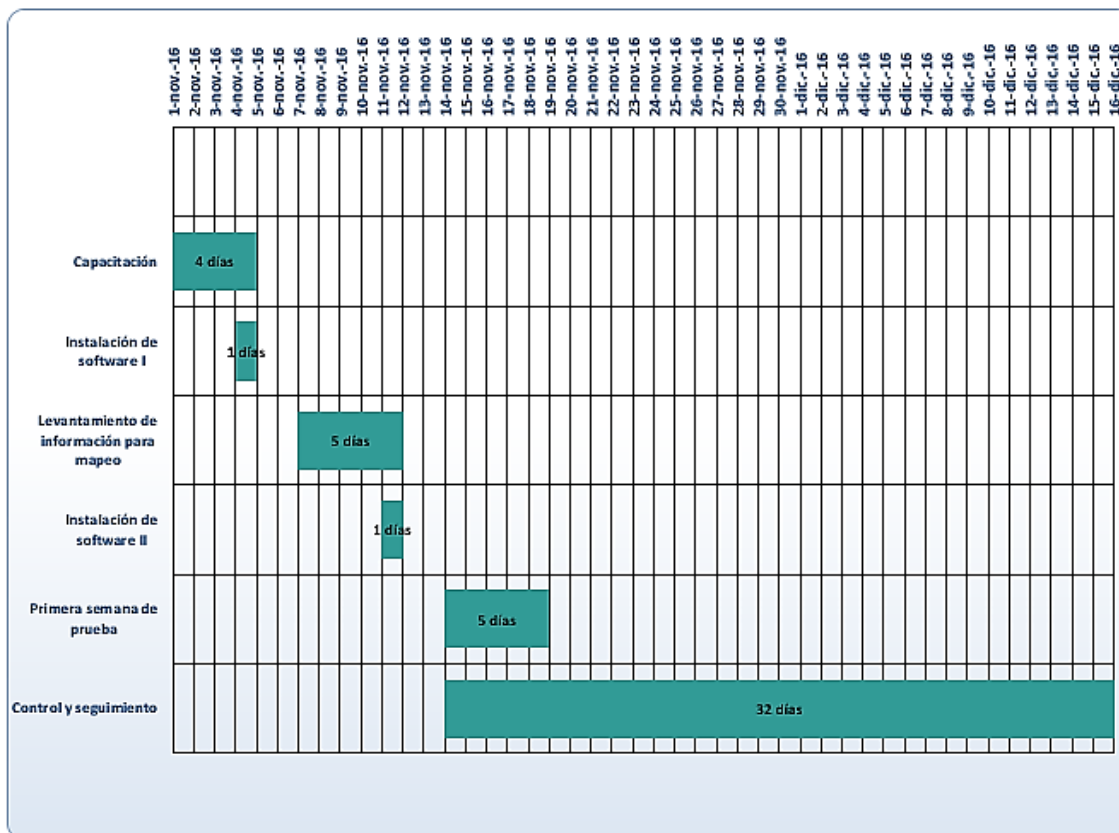
- Los objetivos fundamentales que pretenden dar a conocer la funcionalidad del nuevo método. Estos comunican la intención del programa.
- Actividades de instrucción en las que se llevará un proceso de aprendizaje teórico. El contenido del programa instruccional se estructura con el conjunto de conocimientos y habilidades que el participante debe adquirir, dominar y aplicar como resultado de su formación.
- Selección de recursos para facilitar y ayudar a transmitir el conocimiento del nuevo método.
- Evaluación intermedia y final, con el objetivo de comprobar conocimientos durante y después de la capacitación.

4.2. Tiempo de implementación del nuevo método

El tiempo de implementación se cuenta desde el momento en el que se empieza la capacitación hasta que ya se encuentra en funcionamiento. Se explica a detalle en el siguiente apartado.

4.2.1. Diagrama de Gantt

Figura 13. Diagrama de Gantt del proceso de implementación



Fuente: elaboración propia.

4.3. Segmentación geográfica de mercado

La segmentación geográfica de mercado se lleva a cabo una sola vez con cada cliente. El primer paso para realizar una segmentación geográfica es dividir el territorio de mercado a conveniencia para la empresa. En el presente trabajo de graduación se segmentará según regiones, y después según distancias desde Villa Nueva (Guatemala), en donde se encuentra el centro de distribución de la empresa en estudio. Las distancias se denotan por circunferencias de color blanco, como se ve en la figura 14.

Figura 14. Segmentación del territorio de Guatemala según regiones y distancias



Fuente: elaboración propia.

Los colores denotan las regiones que se segmentaron. Los departamentos que se incorporan a cada región se presentan en la tabla IX:

Tabla IX. **Regiones por departamentos**

Región	Departamento
Verapaces	Baja Verapaz
	Alta Verapaz
Guatemala	Guatemala
Petén	Petén
Nororiente	El Progreso
	Zacapa
	Izabal
	Chiquimula
Sur oriente	Jalapa
	Santa Rosa
	Jutiapa
Suroccidente	Escuintla
	Suchitepéquez
	Retalhuleu
Norte	Quiche
	Sololá
	Sacatepéquez
	Chimaltenango
Noroccidente	Huehuetenango
	San Marcos
	Totonicapán
	Quetzaltenango

Fuente: elaboración propia.

4.4. Red de distribución logística

El diseño de la red de distribución logística consiste directamente en la localización de puntos de destino, puntos de origen y las distancias entre estos. La red de distribución logística es la continuación de la segmentación geográfica de mercado.

4.4.1. Elementos de la red de distribución

Los elementos de la red de distribución logística se encuentran de la misma forma en la que se llevó a cabo la primera parte de la segmentación geográfica de mercado, ubicando posiciones en un plano cartesiano o mapa.

Los elementos que se analizarán en el presente trabajo de graduación son referentes a un día al azar en el que la empresa tuvo una carga de trabajo promedio en cuanto a su movimiento logístico.

4.4.1.1. Ubicación de clientes

La ubicación de los clientes viene dada según coordenadas geográficas. Esta ubicación permite a los analistas definir la ruta a la cual pertenece cada cliente. La información que representa a las coordenadas geográficas de los clientes del caso en estudio se muestra en la tabla 1 del capítulo de anexos.

4.4.1.2. Ubicación de la empresa

La ubicación de la empresa es el punto de origen para la red de distribución.

Tabla X. **Información de la empresa en estudio**

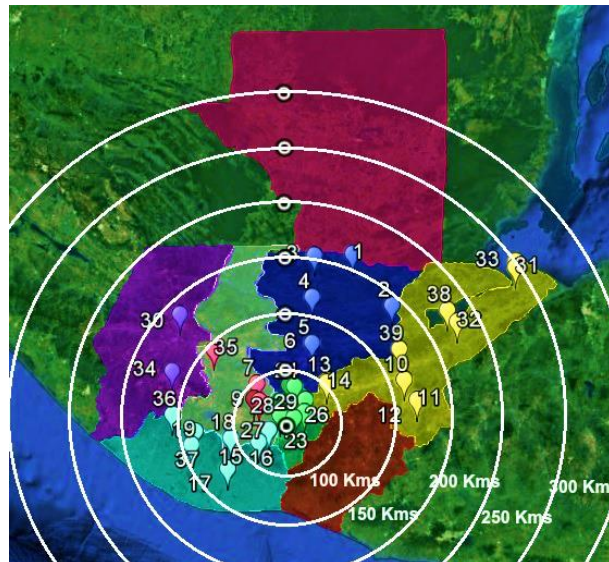
Región	Departamento	Longitud	Latitud
Guatemala	Guatemala	14.508215	-90.583841

Fuente: elaboración propia.

4.4.1.3. Distancias

Es la magnitud, en kilómetros, de la cantidad de espacio que existe entre el punto de origen y los puntos de destino. La información que representa a las distancias entre los clientes y la empresa se muestra en la tabla del capítulo de anexos. Esta base de datos es actualizada día a día en la empresa, con cada cliente que ingresa al registro general de clientes. Gráficamente se presenta la información de la tabla 1 del capítulo de anexos en la figura 15.

Figura 15. **Ubicación de clientes en el territorio guatemalteco**



Fuente: elaboración propia.

4.5. Documentación de pedidos a despachar

Es la forma en la cual se notifica al área de programación de transporte de los materiales que debe despachar y dirigir hacia los clientes. Después de la liberación del pedido por las respectivas áreas, y de su fabricación, por consiguiente, se procede a generar una hoja en el área de operaciones y transporte.

4.5.1. Hoja de pedidos

La información llega al coordinador del área y este se encarga de estructurarla y resumirla. El orden en que se procederá a analizar depende del tipo de material y de la cantidad total de toneladas que se deben entregar por región.

Tabla XI. Agrupación de pedidos según región y anillo

Región	Anillo	Depto.	Ciente No.	Rollo	Total Rollo	Total Región	Cinta	Teja	Lamina Lisa	Lamina Ondulada	Total Mat.	Total Región	
Guatemala	1	Guatemala	20		323	323				2.3	91	91	
	1	Guatemala	21										11.6
	1	Guatemala	22	9.3									2.3
	1	Guatemala	23										9.5
	1	Guatemala	24							3.63			21.8
	1	Guatemala	25										7.3
	1	Guatemala	28						6.65				
	1	Guatemala	27										25.4
	1	Guatemala	28	31									
1	Guatemala	29	282										
Noroccidente	3	Huehuetenango	30	5.23	6	6		10.48		15.7	165	165	
	3	Quezaltenango	34						138				
Nororient	1	El Progreso	13		3	12				8.7	9	150	
	1	El Progreso	14	2.18									
	3	Chiquimula	10	8.35	9					20.9	57		
	3	Chiquimula	11							4.2			
	3	Chiquimula	12							16.7			
	3	Zacapa	39							14.6	30		
	4	Izabal	32		0					10.9			
	4	Zacapa	38							18.2			
5	Izabal	31		0				43.6	55				
5	Izabal	33						10.9					
Norte	1	Chimaltenango	8		0	10				3.1	10	141	
	1	Chimaltenango	9										6.3
	2	Quiché	35						18	18			81.0
3	Chimaltenango	7	9.22	10					12.8	13			
Suroccidente	1	Escuintla	15		0	9				5.8	134	434	
	1	Escuintla	16										20.4
	1	Escuintla	17										106.9
	2	Escuintla	18		9				42.7	235.1	334		
	2	Escuintla	19	8.06						32.2			
	2	Suchitepequez	37							22.9			
3	Suchitepequez	36		0				15.3	16				
Verapaces	2	Alta Verapaz	4	4.48	5	19					8	34	
	2	Baja Verapaz	5							1.8			
	2	Baja Verapaz	6							5.5			
	3	Alta Verapaz	1		14					4.5	26		
	3	Alta Verapaz	2							7.9			
	3	Alta Verapaz	3	13.4						13.4			
Total general					374	379	379	6.65	28.46	202	819.69	1 065	1 065

Fuente: elaboración propia.

4.6. Aplicación de Solver®

La aplicación en Solver® consiste en un formato en MS-Excel® consolidado para ingresar información y recibir un resultado estandarizado. Esta parte del método se repite periódicamente por parte del coordinador de área.

Figura 16. Interfaz de la aplicación

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							CONTROL DE TRANSPORTE					Función Objetivo		
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	Capacidad de Transporte	Camiones Equival.	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	EXC	EXCOTE
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00	0	0	0.00	0
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	0	2	0.00	0	0	0	0.00	0
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	0	3	0.00	0	0	0	0.00	0
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0	5	0.00	0	0	0	0.00	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0	7	0.00	0	0	0	0.00	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0	10	0.00	0	0	0	0.00	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0	12	0.00	0	0	0	0.00	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0	16	0.00	0	0	0	0.00	0
Plataforma 22 Ton	323	0	0	0	0	0	682	31	22	14.68	15	16	1	0.32
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	775	31	25	0.00	0	31	27	0.00
Demanda	323	0	0	0	0	0	323	62	25	15	47		0.32	0
RED DE DISTRIBUCIÓN							COSTO REAL							
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	Camiones Utilizados	TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	0	Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	0	Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	0	Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0	Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0	Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0	Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0	Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0	Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	15	0	0	0	0	0	15	Plataforma 22 Ton	23.340	0	0	0	0	0
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	0	Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0
TOT. COLUMNAS	15	0	0	0	0	0	0							
ROLLOS Guatemala														
Función Objetivo Q22.844.51													Restricción 1 Anillo 1 323 Restricción 2 Anillo 2 0 Restricción 3 Anillo 3 0 Restricción 4 Anillo 4 0 Restricción 5 Anillo 5 0 Restricción 6 Anillo 6 0	
Costo Real / Sin ajuste Q 23.340.00													Constanste 1 Pickup 1 Ton 0 Constanste 2 Camión 2 Ton 0 Constanste 3 Camión 3 Ton 0 Constanste 4 Camión 5 Ton 0 Constanste 5 Camión de 7 Ton 0 Constanste 6 Camión 10 Ton 0 Constanste 7 Camión 12 Ton 0 Constanste 8 Camión de 16 Ton 0 Constanste 9 Plataforma 22 Ton 323 Constanste 10 Plataforma 25 Ton 0	
Costo Real / Con ajuste Q 23.340.00													TR/ISC/22TM1	

Fuente: elaboración propia.

4.6.1. Planteamiento

Consiste en ordenar y resumir la información. Se agrupan los pedidos de los clientes por tipo de producto, después por región y luego por anillo. Se estructura una matriz por cada tipo de producto que se tenga que transportar, delimitando regiones como filas y anillos como columnas.

El planteamiento del problema es en donde tienen presencia los criterios de prioridad de las variables y restricciones que se trataron en el inciso 3.5.1.

Es aquí donde se consolida la información para poder llevar a cabo el análisis de programación lineal.

Después de haber seguido los criterios correspondientes para ordenar las matrices y haber agrupado la información procedente de la ficha electrónica, se tiene la primera parte del planteamiento.

Tabla XII. **Consolidación de la información de entrada de la aplicación**

	ÓRDEN	REGIÓN	TOTAL	ANILLO 1	ANILLO 2	ANILLO 3	ANILLO 4	ANILLO 5	ANILLO 6
ROLLOS	1	Guatemala	323	323	0	0	0	0	0
	2	Verapaces	19	0	5	14	0	0	0
	3	Nororiente	12	3	0	9	0	0	0
	4	Norte	10	0	0	10	0	0	0
	5	Suroccidente	9	0	9	0	0	0	0
	6	Noroccidente	6	0	0	6	0	0	0
	7	Suroriente	0	0	0	0	0	0	0
	8	Petén	0	0	0	0	0	0	0
MIX	1	Suroccidente	484	134	334	16	0	0	0
	2	Noroccidente	165	0	0	165	0	0	0
	3	Nororiente	150	9	0	57	30	55	0
	4	Norte	141	10	118	13	0	0	0
	5	Guatemala	91	91	0	0	0	0	0
	6	Verapaces	34	0	8	26	0	0	0
	7	Suroriente	0	0	0	0	0	0	0
	8	Petén	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Se hace una distinción entre el tipo de productos, se ordena en forma descendente cada región y se ubican las respectivas cantidades de la demanda en toneladas que deben ser transportadas a cada segmento.

La segunda parte del planteamiento consiste en la disponibilidad de transportes según su capacidad.

Tabla XIII. **Consolidación de la información de entrada de la aplicación 2**

		TRANSPORTE	CANTIDAD
DISPONIBILIDAD	Pickup 1 Ton		1
	Camión 2 Ton		3
	Camión 3 Ton		7
	Camión 5 Ton		17
	Camión de 7 Ton		21
	Camión 10 Ton		23
	Camión 12 Ton		11
	Camión de 16 Ton		9
	Plataforma 22 Ton		31
	Plataforma 25 Ton		31

Fuente: elaboración propia.

Los costos, como se mencionó anteriormente, son calculados en la misma área con base en registros anteriores. Los costos, en quetzales, del presente caso son los siguientes:

Tabla XIV. **Consolidación de la información de entrada de la aplicación 3**

		TOTAL	ANILLO 1	ANILLO 2	ANILLO 3	ANILLO 4	ANILLO 5	ANILLO 6
COSTO	Pickup 1 Ton	164	301	384	462	546	637	
	Camión 2 Ton	185	341	434	723	855	996	
	Camión 3 Ton	232	427	545	992	1 173	1 367	
	Camión 5 Ton	270	497	634	1 315	1 555	1 812	
	Camión de 7 Ton	350	644	822	1 692	2 001	2 332	
	Camión 10 Ton	515	948	1 209	2 043	2 416	2 816	
	Camión 12 Ton	618	1 138	1 451	2 687	3 177	3 703	
	Camión de 16 Ton	950	1 749	2 230	3 249	3 843	4 479	
	Plataforma 22 Ton	1 556	2 864	3 653	3 815	4 512	5 257	
	Plataforma 25 Ton	1 798	3 219	4 378	4 521	5 347	6 231	

Fuente: elaboración propia.

Estos valores representan el valor monetario promedio en quetzales que se paga por un viaje, según un tipo de camión a un segmento (anillo) determinado de la ruta.

4.6.2. Función objetivo

La función objetivo es el modelo matemático que se va a optimizar. La ecuación resultante consta de 60 variables de decisión y se ubica de forma predeterminada en una celda en *MS-Excel*® de la siguiente forma:

Figura 17. Función de la celda objetivo en *MS-Excel*®

```
=C5*C20/L5+C6*C21/L6+C7*C22/L7+C8*C23/L8+C9*C24/L9+C10*C25/L10+C11*C26/L11+C12*C27/L12+C13*C28/L13+C14*
C29/L14+D5*D20/L5+D6*D21/L6+D7*D22/L7+D8*D23/L8+D9*D24/L9+D10*D25/L10+D11*D26/L11+D12*D27/L12+D13*D28/
L13+D14*D29/L14+E5*E20/L5+E6*E21/L6+E7*E22/L7+E8*E23/L8+E9*E24/L9+E10*E25/L10+E11*E26/L11+E12*E27/L12+E13*
E28/L13+E14*E29/L14+F5*F20/L5+F6*F21/L6+F7*F22/L7+F8*F23/L8+F9*F24/L9+F10*F25/L10+F11*F26/L11+F12*F27/L12+
F13*F28/L13+F14*F29/L14+G5*G20/L5+G6*G21/L6+G7*G22/L7+G8*G23/L8+G9*G24/L9+G10*G25/L10+G11*G26/L11+G12*
G27/L12+G13*G28/L13+G14*G29/L14+H5*H20/L5+H6*H21/L6+H7*H22/L7+H8*H23/L8+H9*H24/L9+H10*H25/L10+H11*H26/
L11+H12*H27/L12+H13*H28/L13+H14*H29/L14
```

Fuente: elaboración propia.

Si se ejemplifica la ecuación anterior, con la información que se obtiene en el planteamiento se ordena como se ve a continuación:

$$Z = X_1 * \frac{164 Q}{1 Ton} + X_2 * \frac{185 Q}{2 Ton} + X_3 * \frac{232 Q}{7 Ton} + \dots + X_{59} * \frac{5\ 257 Q}{22 Ton} + X_{60} * \frac{6\ 231 Q}{25 Ton}$$

Cabe mencionar que habrá una función objetivo por cada región que se analice con su respectivo tipo de producto. En este caso, habrá 12 funciones objetivo, igualmente estructuradas.

4.6.3. Restricciones

Son las limitaciones que se le imponen a la función objetivo. En este caso las restricciones son conformadas por la disponibilidad de camiones que tiene la

empresa para transportar su producto. Sin embargo, no es la cantidad de camiones la limitante del problema, sino la capacidad equivalente después de tomar en cuenta la capacidad individual de cada camión, multiplicada por la cantidad de camiones disponibles de ese mismo tipo de camión.

Tabla XV. **Conversión de cantidad de camiones en toneladas equivalentes**

	TRANSPORTE	CANTIDAD	TON. EQUIV.
DISPONIBILIDAD	Pickup 1 Ton	1	1
	Camión 2 Ton	3	6
	Camión 3 Ton	7	21
	Camión 5 Ton	17	68
	Camión de 7 Ton	21	147
	Camión 10 Ton	23	230
	Camión 12 Ton	11	132
	Camión de 16 Ton	9	144
	Plataforma 22 Ton	31	682
	Plataforma 25 Ton	31	775

Fuente: elaboración propia.

Si se quisiera expresar cada restricción como desigualdad, se debe suponer que la suma de toneladas que se enviarán por cada tipo de camión debe ser menor o igual a la capacidad equivalente (en toneladas) del mismo tipo de camión.

4.6.4. Modelización en Solver®

La representación en Solver® requiere que toda la información de entrada se ordene de tal manera que MS-Excel® pueda interpretarla, analizarla y optimizar el resultado. Se procede a analizar el caso en el orden en el que se especificó en el planteamiento. Se empieza analizando los productos especiales, en este caso son los rollos de acero. La primera región que se

analiza es la de Guatemala. La matriz general que utiliza la aplicación es la siguiente:

Figura 18. **Matriz de rollos de la región Guatemala**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	Capacidad de Transporte
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	323	0	0	0	0	0	682
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	775
Demanda	323	0	0	0	0	0	323

Fuente: elaboración propia.

Debido a que este tipo de producto no puede enviarse en transportes menores a 22 toneladas, se limita a analizarse con las plataformas de 22 y 25 toneladas. La mejor solución para transportar 323 toneladas en el anillo 1, en la región de Guatemala, es elegir las plataformas de 22 toneladas.

Figura 19. **Matriz de control de transporte para rollos de la región Guatemala**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	EXCODE
0	1	0.00	0	0	0	0%	0
0	2	0.00	0	0	0	0%	0
0	3	0.00	0	0	0	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
0	16	0.00	0	0	0	0%	0
31	22	14.68	15	16	16	32%	15
31	25	0.00	0	31	31	0%	0
62			15	47		32%	0

Fuente: elaboración propia.

Para transportar 323 toneladas de acero en rollos, se necesitan 14,68 plataformas de 22 toneladas, que se aproximan a 15 plataformas. Finalmente, la disponibilidad de plataformas de ese mismo tonelaje se reduce a 16, luego de restar las 15 plataformas que ya fueron asignadas a las 31 que estaban originalmente. La solución óptima para reducir los costos de transporte fue de Q. 23 340,00, utilizando 15 plataformas de 22 toneladas. De la misma manera se procede con la región de las Verapaces.

Figura 20. **Matriz de rollos de la región Verapaces**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	Capacidad de Transporte
Pickup 1Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	0	0	14	0	0	0	352
Plataforma 25 Ton	0	5	0	0	0	0	775
Demanda	0	5	14	0	0	0	19

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Matriz de control de transporte para rollos de la región Verapaces**

CONTROL DE TRANSPORTE						TON	
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCDTE
0	1	0.00	0	0	0	0%	0
0	2	0.00	0	0	0	0%	0
0	3	0.00	0	0	0	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
0	16	0.00	0	0	0	0%	0
16	22	0.64	1	15	15	36%	14
31	25	0.20	1	30	30	80%	5
47			2	45		116%	0

Fuente: elaboración propia.

Se debe notar que la capacidad de transporte de plataformas de 22 toneladas disminuyó a 352 debido a que ya fueron asignadas 15 unidades en la región anterior. La mejor solución es enviar 14 toneladas en una plataforma de 22, y 5 toneladas en una plataforma de 25. Sin embargo, este es un caso especial que se trata como excepción en el siguiente apartado. La solución óptima para reducir los costos de transporte fue de Q. 6 871,71. La región Nororiente es la tercera en analizarse:

Figura 22. **Matriz de rollos de la región Nororiente**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							Capacidad de Transporte
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	
Pickup 1Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	3	0	9	0	0	0	330
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	750
Demanda	3	0	9	0	0	0	12

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Matriz de control de transporte para rollos de la región Nororiente**

CONTROL DE TRANSPORTE						TON	
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	EXCDTE
0	1	0.00	0	0	0	0%	0
0	2	0.00	0	0	0	0%	0
0	3	0.00	0	0	0	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
0	16	0.00	0	0	0	0%	0
15	22	0.55	1	14	14	145%	-10
30	25	0.00	0	30	30	0%	0
45			1	44		145%	0

Fuente: elaboración propia.

La mejor forma de transportar 12 toneladas de acero en rollo, en las condiciones dadas, es utilizando una plataforma de 22 toneladas. El costo equivalente es de Q. 5 208,71. La cuarta región en analizarse es la región Norte:

Figura 24. **Matriz de rollos de la región Norte**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO 1	ANILLO 2	ANILLO 3	ANILLO 4	ANILLO 5	ANILLO 6	Capacidad de Transporte
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	0	0	10	0	0	0	308
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	750
Demanda	0	0	10	0	0	0	10

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Matriz de control de transporte para rollos de la región Norte**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	EXCDTE
0	1	0.00	0	0	0	0%	0
0	2	0.00	0	0	0	0%	0
0	3	0.00	0	0	0	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
0	16	0.00	0	0	0	0%	0
14	22	0.45	1	13	13	55%	10
30	25	0.00	0	30	30	0%	0
44			1	43		55%	0

Fuente: elaboración propia.

La forma óptima en que se van a transportar 10 toneladas al anillo 3, en la región Norte, es utilizando una plataforma de 22 toneladas. El costo equivalente es de Q. 3 652,71. La quinta región en analizarse es la región Suroccidente:

Figura 26. **Matriz de rollos de la región Suroccidente**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	Capacidad de Transporte
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	0	0	0	0	0	0	286
Plataforma 25 Ton	0	9	0	0	0	0	750
Demanda	0	9	0	0	0	0	9

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Matriz de control de transporte para rollos de la región Suroccidente**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCOTE
0	1	0.00	0	0	0	0%	0
0	2	0.00	0	0	0	0%	0
0	3	0.00	0	0	0	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
0	16	0.00	0	0	0	0%	0
13	22	0.00	0	13	13	0%	0
30	25	0.36	1	29	29	64%	9
43			1	42		64%	0

Fuente: elaboración propia.

La forma óptima en que se van a transportar 9 toneladas al anillo 2, en la región Suroccidente, es utilizando una plataforma de 25 toneladas. El costo equivalente es de Q. 3 219,00. La última región en analizarse es la región Noroccidente:

Figura 28. **Matriz de rollos de la región Noroccidente**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO 1	ANILLO 2	ANILLO 3	ANILLO 4	ANILLO 5	ANILLO 6	Capacidad de Transporte
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	0	0	6	0	0	0	286
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	725
Demanda	0	0	6	0	0	0	6

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Matriz de control de transporte para rollos de la región Noroccidente**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCDTE
0	1	0.00	0	0	0	0%	0
0	2	0.00	0	0	0	0%	0
0	3	0.00	0	0	0	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
0	16	0.00	0	0	0	0%	0
13	22	0.27	1	12	12	73%	6
29	25	0.00	0	29	29	0%	0
42			1	41		73%	0

Fuente: elaboración propia.

La forma óptima en que se van a transportar 6 toneladas de acero en rollo al anillo 3, en la región Noroccidente, es utilizando una plataforma de 22 toneladas. El costo equivalente es de Q. 3 652,71.

Luego se analizan los productos estándar o no especiales. La primera región en analizarse es la de Suroccidente, debido a que tiene la mayor demanda.

Figura 30. **Matriz de productos estándar de la región Suroccidente**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							Capacidad de Transporte
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	
Pickup 1Ton	0	0	0	0	0	0	1
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	6
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	21
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	85
Camión de 7 Ton	0	131	16	0	0	0	147
Camión 10 Ton	2	203	0	0	0	0	230
Camión 12 Ton	132	0	0	0	0	0	132
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	144
Plataforma 22 Ton	0	0	0	0	0	0	264
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	725
Demanda	134	334	16	0	0	0	484

Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Suroccidente**

CONTROL DE TRANSPORTE						TON	
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCDTE
1	1	0.00	0	1	1	0%	0
3	2	0.00	0	3	3	0%	0
7	3	0.00	0	7	7	0%	0
17	5	0.00	0	17	17	0%	0
21	7	21.00	21	0	0	100%	0
23	10	20.50	21	2	2	150%	-5
11	12	11.00	11	0	0	0%	0
9	16	0.00	0	9	9	0%	0
12	22	0.00	0	12	12	0%	0
29	25	0.00	0	29	29	0%	0
133			53	80		250%	0

Fuente: elaboración propia.

Se utilizarán 21 camiones de 7 toneladas para transportar 131 y 16 toneladas de producto al anillo 2 y 3; 21 camiones de 10 toneladas para transportar 2 y 203 toneladas al anillo 1 y 2, y 11 camiones de 12 toneladas para transportar 132 toneladas al anillo 1. El costo equivalente es de Q. 41 924,39. La siguiente región en analizarse es la región de Noroccidente:

Figura 32. **Matriz de productos estándar de la región Noroccidente**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							Capacidad de Transporte
TRANSPORTE	ANILLO 1	ANILLO 2	ANILLO 3	ANILLO 4	ANILLO 5	ANILLO 6	
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	1
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	6
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	21
Camión 5 Ton	0	0	85	0	0	0	85
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	20	0	0	0	20
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	60	0	0	0	144
Plataforma 22 Ton	0	0	0	0	0	0	264
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	725
Demanda	0	0	165	0	0	0	165

Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Noroccidente**

CONTROL DE TRANSPORTE						TON	
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	,EXCODE
1	1	0.00	0	1	1	0%	0
3	2	0.00	0	3	3	0%	0
7	3	0.00	0	7	7	0%	0
17	5	17.00	17	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
2	10	2.00	2	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
9	16	3.75	4	5	5	25%	12
12	22	0.00	0	12	12	0%	0
29	25	0.00	0	29	29	0%	0
80			23	57		25%	0

Fuente: elaboración propia.

Se requerirán 17 camiones de 5 toneladas para transportar 85 toneladas, 2 camiones de 10 toneladas para transportar 20 toneladas y 4 camiones de 16 toneladas para transportar 60 toneladas de producto al anillo 3 de la región Noroccidente. El costo equivalente es de Q. 22 113,45 La siguiente región en analizarse es Nororiente:

Figura 34. **Matriz de productos estándar de la región Nororiente**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	Capacidad de Transporte
Pickup 1Ton	0	0	0	0	0	0	1
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	6
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	21
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	9	0	57	0	0	0	80
Plataforma 22 Ton	0	0	0	30	55	0	264
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	725
Demanda	9	0	57	30	55	0	151

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Nororiente**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCDTE
1	1	0.00	0	1	1	0%	0
3	2	0.00	0	3	3	0%	0
7	3	0.00	0	7	7	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
5	16	4.13	5	0	0	88%	2
12	22	3.86	4	8	8	114%	-3
29	25	0.00	0	29	29	0%	0
57			9	48		201%	0

Fuente: elaboración propia.

Se asignarán 5 camiones de 16 toneladas para transportar 68 toneladas de producto al anillo 1 y 2. Después se asignarán 4 plataformas de 22 toneladas para transportar 85 toneladas al anillo 4 y 5. El costo equivalente es de Q. 31 034,28. Luego se analiza la región Norte:

Figura 36. **Matriz de productos estándar de la región Norte**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	Capacidad de Transporte
Pickup 1Ton	0	0	0	0	0	0	1
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	6
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	21
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	10	0	13	0	0	0	176
Plataforma 25 Ton	0	118	0	0	0	0	725
Demanda	10	118	13	0	0	0	141

Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Norte**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCDTE
1	1	0.00	0	1	1	0%	0
3	2	0.00	0	3	3	0%	0
7	3	0.00	0	7	7	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
0	16	0.00	0	0	0	0%	0
8	22	1.05	2	6	6	95%	1
29	25	4.72	5	24	24	28%	18
48			7	41		123%	0

Fuente: elaboración propia.

Se utilizarán 2 plataformas de 22 toneladas y 5 plataformas de 25 toneladas para transportar 141 toneladas a los anillos 1, 2 y 3. El costo equivalente es Q. 21 303,71. Después se analiza Guatemala:

Figura 38. **Matriz de productos estándar de la región Guatemala**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	Capacidad de Transporte
Pickup 1Ton	0	0	0	0	0	0	1
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	6
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	21
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	91	0	0	0	0	0	132
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	600
Demanda	91	0	0	0	0	0	91

Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Guatemala**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCOTE
1	1	0.00	0	1	1	0%	0
3	2	0.00	0	3	3	0%	0
7	3	0.00	0	7	7	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
0	16	0.00	0	0	0	0%	0
6	22	4.14	5	1	1	86%	3
24	25	0.00	0	24	24	0%	0
41			5	36		86%	0

Fuente: elaboración propia.

En Guatemala se van a asignar 5 plataformas de 22 toneladas para transportar 91 toneladas. El costo óptimo es de Q. 7 780,00. Finalmente se analiza la región de las Verapaces:

Figura 40. **Matriz de productos estándar de la región Verapaces**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	Capacidad de Transporte
Pickup 1Ton	0	0	0	0	0	0	1
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	6
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	21
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	0	0	22	0	0	0	22
Plataforma 25 Ton	0	8	4	0	0	0	600
Demanda	0	8	26	0	0	0	34

Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Matriz de control de transporte para productos estándar de la región Verapaces**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCDTE
1	1	0.00	0	1	1	0%	0
3	2	0.00	0	3	3	0%	0
7	3	0.00	0	7	7	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
0	16	0.00	0	0	0	0%	0
1	22	1.00	1	0	0	0%	0
24	25	0.48	1	23	23	152%	-13
36			2	34		152%	0

Fuente: elaboración propia.

Se asigna una plataforma de 22 toneladas y una plataforma de 25 toneladas para transportar 22 y 12 toneladas, respectivamente. El costo óptimo es de Q. 11 249,71.

4.6.5. Excepciones

Se le llaman excepciones a los ajustes que se llevan a cabo después de haber finalizado la modelización. Se hacen ajustes debido a que se calcula la solución óptima con base en la capacidad total en toneladas, y no en la capacidad individual de cada transporte. Entonces es posible que, después de haber realizado el análisis, queden minorías que puedan asignarse en transportes de menor tamaño o que puedan ocupar espacios disponibles en otros transportes. Se sigue el siguiente criterio para saber si una función objetivo necesita un ajuste:

- Si en la Matriz de control de transporte, en la columna ED (espacio disponible) hay un porcentaje total mayor a 75 %.

Cuando se tiene un ajuste se debe analizar la forma en la cual se han asignado los transportes, determinando una mejor asignación. Por lo general, una mejor asignación se da ocupando espacios disponibles y evitando utilizar transportes que no son necesarios. Siguiendo los criterios, se harán los siguientes ajustes en el orden en que las regiones fueron analizadas. La primera región representa a las Verapaces:

Figura 42. **Matriz ajustada de rollos de la región Verapaces**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO 1	ANILLO 2	ANILLO 3	ANILLO 4	ANILLO 5	ANILLO 6	Capacidad de Transporte
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	0	0	19	0	0	0	352
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	775
Demanda	0	5	14	0	0	0	19

Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Matriz ajustada de control de transporte para rollos de la región Verapaces**

CONTROL DE TRANSPORTE						TON	
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	EXCDTE
0	1	0.00	0	0	0	0%	0
0	2	0.00	0	0	0	0%	0
0	3	0.00	0	0	0	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
0	16	0.00	0	0	0	0%	0
16	22	0.86	1	15	0	14%	19
31	25	0.00	0	31	24	0%	0
47			1	46		14%	0

Fuente: elaboración propia.

El costo después del ajuste se redujo de Q. 6 871,71 a Q. 3 652,71, debido a que se asignó una plataforma menos. Se debe notar que debido a la segmentación geográfica que se lleva a cabo en el método, se puede asignar un producto en un anillo que esté ubicado a mayor distancia. El siguiente ajuste se realiza con la región Nororiente:

Figura 44. **Matriz ajustada de rollos de la región Nororiente**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							Capacidad de Transporte
TRANSPORTE	ANILLO 1	ANILLO 2	ANILLO 3	ANILLO 4	ANILLO 5	ANILLO 6	
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Plataforma 22 Ton	0	0	12	0	0	0	330
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	775
Demanda	3	0	9	0	0	0	12

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Matriz ajustada de control de transporte para rollos de la región Nororiente**

CONTROL DE TRANSPORTE						TON	
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	EXCDTE
0	1	0.00	0	0	0	0%	0
0	2	0.00	0	0	0	0%	0
0	3	0.00	0	0	0	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
0	10	0.00	0	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
0	16	0.00	0	0	0	0%	0
15	22	0.55	1	14	0	45%	12
31	25	0.00	0	31	24	0%	0
46			1	45		45%	0

Fuente: elaboración propia.

El ajuste consistió únicamente en asignar las tres toneladas que se dirigen al anillo 1, en la misma plataforma que se dirige al anillo 3. El costo después del ajuste se redujo de Q. 5 208,71 a Q. 3 652,71. Después se realiza un ajuste con la región Suroccidente, pero esta vez para productos estándar:

Figura 46. **Matriz ajustada de productos estándar de la región Suroccidente**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							Capacidad de Transporte
TRANSPORTE	ANILLO 1	ANILLO 2	ANILLO 3	ANILLO 4	ANILLO 5	ANILLO 6	
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	1
Camión 2 Ton	2	0	0	0	0	0	6
Camión 3 Ton	0	3	0	0	0	0	21
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	85
Camión de 7 Ton	0	126	21	0	0	0	147
Camión 10 Ton	0	200	0	0	0	0	230
Camión 12 Ton	132	0	0	0	0	0	132
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	144
Plataforma 22 Ton	0	0	0	0	0	0	264
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	750
Demanda	134	334	16	0	0	0	484

Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **Matriz ajustada de control de transporte para productos estándar de la región Suroccidente**

CONTROL DE TRANSPORTE						TON	
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCDTE
1	1	0.00	0	1	1	0%	0
3	2	1.00	1	2	2	0%	0
7	3	1.00	1	6	6	0%	0
17	5	0.00	0	17	0	0%	0
21	7	21.00	21	0	0	0%	0
23	10	20.00	20	3	1	0%	0
11	12	11.00	11	0	0	0%	0
9	16	0.00	0	9	0	0%	0
12	22	0.00	0	12	0	0%	0
30	25	0.00	0	30	24	0%	0
134			54	80		0%	0

Fuente: elaboración propia.

El costo después del ajuste se redujo de Q. 41 924,39 a Q. 40 429,28. La siguiente región es Nororiente:

Figura 48. **Matriz ajustada de productos estándar de la región Nororiente**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO 1	ANILLO 2	ANILLO 3	ANILLO 4	ANILLO 5	ANILLO 6	Capacidad de Transporte
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	1
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	4
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	18
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	10
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	64	0	0	0	80
Plataforma 22 Ton	0	0	0	22	65	0	264
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	750
Demanda	9	0	57	30	55	0	151

Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Matriz ajustada de control de transporte para productos estándar de la región Nororiente**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCOTE
1	1	0.00	0	1	1	0%	0
2	2	0.00	0	2	2	0%	0
6	3	0.00	0	6	6	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
1	10	0.00	0	1	1	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
5	16	4.00	4	1	1	0%	0
12	22	3.95	4	8	0	5%	21
30	25	0.00	0	30	24	0%	0
57			8	49		5%	0

Fuente: elaboración propia.

El costo después del ajuste se redujo de Q. 31 034,28 a Q. 26 269,69. La siguiente región es Norte:

Figura 50. **Matriz ajustada de productos estándar de la región Norte**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO 1	ANILLO 2	ANILLO 3	ANILLO 4	ANILLO 5	ANILLO 6	Capacidad de Transporte
Pickup 1Ton	0	0	0	0	0	0	1
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	4
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	18
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	10
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	16
Plataforma 22 Ton	0	19	22	0	0	0	176
Plataforma 25 Ton	0	100	0	0	0	0	750
Demanda	10	118	13	0	0	0	141

Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Matriz ajustada de control de transporte para productos estándar de la región Norte**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCDTE
1	1	0.00	0	1	1	0%	0
2	2	0.00	0	2	2	0%	0
6	3	0.00	0	6	6	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
1	10	0.00	0	1	1	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
1	16	0.00	0	1	1	0%	0
8	22	1.86	2	6	0	14%	19
30	25	4.00	4	26	25	0%	0
49			6	43		14%	0

Fuente: elaboración propia.

El costo después del ajuste se redujo de Q. 21 303,71 a Q. 19 392,70. La siguiente región es Guatemala:

Figura 52. **Matriz ajustada de productos estándar de la región Guatemala**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	Capacidad de Transporte
Pickup 1 Ton	0	0	0	0	0	0	1
Camión 2 Ton	0	0	0	0	0	0	4
Camión 3 Ton	3	0	0	0	0	0	18
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	0	0	0	0	10
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	16
Plataforma 22 Ton	88	0	0	0	0	0	132
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	650
Demanda	91	0	0	0	0	0	91

Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Matriz ajustada de control de transporte para productos estándar de la región Guatemala**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCOTE
1	1	0.00	0	1	1	0%	0
2	2	0.00	0	2	2	0%	0
6	3	1.00	1	5	5	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
1	10	0.00	0	1	1	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
1	16	0.00	0	1	1	0%	0
6	22	4.00	4	2	1	0%	0
26	25	0.00	0	26	25	0%	0
43			5	38		0%	0

Fuente: elaboración propia.

El costo después del ajuste se redujo de Q. 7 780,00 a Q. 6 456,00. La siguiente región es Verapaces:

Figura 54. **Matriz ajustada de productos estándar de la región Verapaces**

ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE							
TRANSPORTE	ANILLO1	ANILLO2	ANILLO3	ANILLO4	ANILLO5	ANILLO6	Capacidad de Transporte
Pickup 1Ton	0	0	0	0	0	0	1
Camión 2 Ton	0	2	0	0	0	0	4
Camión 3 Ton	0	0	0	0	0	0	15
Camión 5 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 7 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión 10 Ton	0	0	10	0	0	0	10
Camión 12 Ton	0	0	0	0	0	0	0
Camión de 16 Ton	0	0	0	0	0	0	16
Plataforma 22 Ton	0	0	22	0	0	0	44
Plataforma 25 Ton	0	0	0	0	0	0	650
Demanda	0	8	26	0	0	0	34

Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Matriz ajustada de control de transporte para productos estándar de la región Verapaces**

CONTROL DE TRANSPORTE							TON
Camiones Equival.	U	Camiones Utilizados	Ajuste	Camiones Disp.	Camiones Disp. 2	ED	.EXCOTE
1	1	0.00	0	1	1	0%	0
2	2	1.00	1	1	1	0%	0
5	3	0.00	0	5	5	0%	0
0	5	0.00	0	0	0	0%	0
0	7	0.00	0	0	0	0%	0
1	10	1.00	1	0	0	0%	0
0	12	0.00	0	0	0	0%	0
1	16	0.00	0	1	1	0%	0
2	22	1.00	1	1	1	0%	0
26	25	0.00	0	26	26	0%	0
38			3	35		0%	0

Fuente: elaboración propia.

El costo después del ajuste se redujo de Q. 11 249,71a Q. 5 202,19.

Las siguientes tablas muestran un resumen del procedimiento de asignación de transporte, después de haber llevado a cabo el método propuesto; se analizarán en el siguiente capítulo:

Tabla XVI. Tabla de resumen No. 1. Asignación en toneladas según tipo de transporte

Descripción de transporte	Unidades de transporte	Toneladas asignadas	Capacidad teórica
Pickup 1 Ton	0	0	0
Camión 2 Ton	2	4	4
Camión 3 Ton	2	6	6
Camión 5 Ton	17	85	85
Camión de 7 Ton	21	147	147
Camión 10 Ton	23	230	230
Camión 12 Ton	11	132	132
Camión de 16 Ton	8	124	128
Plataforma 22 Ton	30	608	660
Plataforma 25 Ton	5	109	125
Totales	119	1 445	1517

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Tabla de resumen No. 2. Asignación en quetzales según regiones

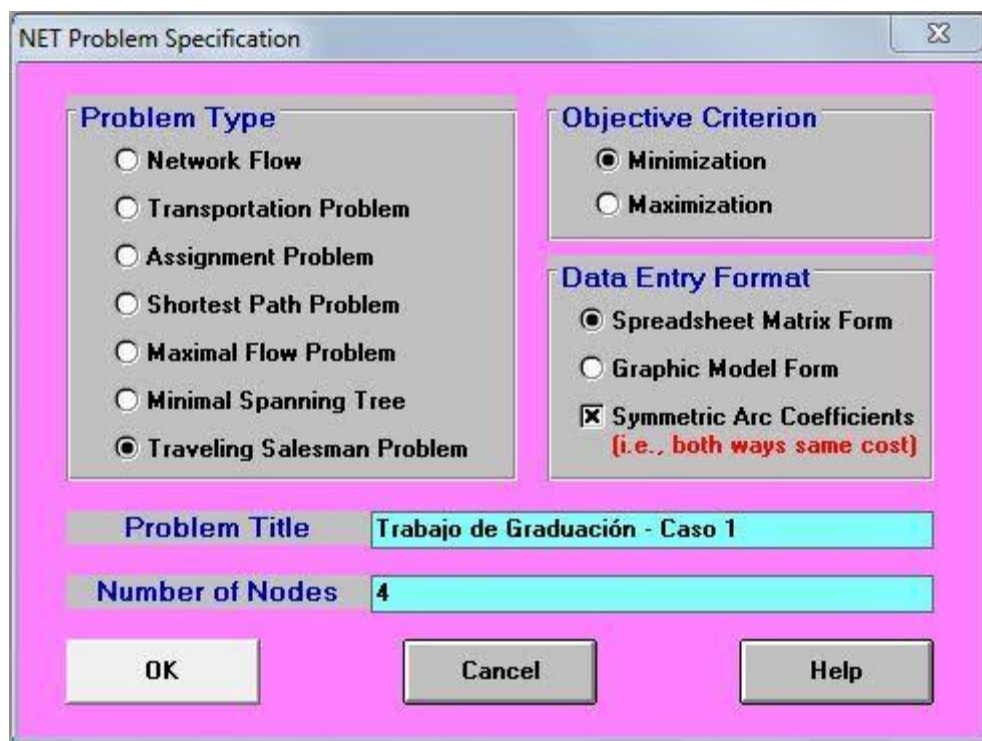
	Rollos	Estándar	Total
Guatemala	23 340.00	6 456.00	29 796.00
Verapaces	3 652.71	5 202.19	8 854.90
Nororiente	3 652.71	26 269.69	29 922.40
Norte	3 652.71	19 392.72	23 045.43
Suroccidente	3 219.00	40 429.28	43 648.28
Noroccidente	3 652.71	22 113.45	25 766.16
Total	41 169.84	119 863.32	161 033.16

Fuente: elaboración propia.

4.7. Aplicación de WINQSB®

La aplicación de WINQSB® consiste en utilizar nuevamente el algoritmo *simplex* para encontrar la solución óptima del problema del agente viajero.

Figura 56. Interfaz de WINQSB®



Fuente: elaboración propia.

4.7.1. Planteamiento

El planteamiento del problema consiste en identificar los casos en los cuales es necesario hacer un análisis con más profundidad. Los recorridos que se analizarán serán los de los transportes: 40, 111, 113, 115 y 116, debido a que tienen que entregar producto al menos a 3 clientes diferentes. Las tablas 3,

4, 5 y 6 del capítulo de anexos muestran las asignaciones en que se tienen transportes con 3 o más clientes diferentes.

4.7.2. Definición de los casos

Para definir los casos en los cuales se utiliza WINQSB® se necesita obtener información específica:

- La coordenada geográfica de la empresa (nodo A)
- Las coordenadas geográficas de los clientes (nodos)
- Las distancias entre todas las coordenadas geográficas (arcos)

Después se procede a completar una matriz como la de la figura 57, en la cual se colocan las distancias calculadas:

Figura 57. **Matriz general de ingreso de información**

From \ To	Empresa	Cliente	Cliente	Cliente
Empresa				
Cliente				
Cliente				
Cliente				

Fuente: elaboración propia.

4.7.3. Nodos y distancias

Se analizan los casos suponiendo simetría en sus arcos. El primer caso en analizar será el camión de 16 toneladas que tiene el número de identificación 40:

Figura 58. **Matriz de entrada del caso 1**

From \ To	Empresa	Ciente 10	Ciente 11	Ciente 39
Empresa		106	117	111
Ciente 10	106		21.33	27.83
Ciente 11	117	21.33		48.11
Ciente 39	111	27.83	48.11	

Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Matriz de salida del caso 1**

	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Empresa	Ciente 11	117	3	Ciente 10	Ciente 39	27.83
2	Ciente 11	Ciente 10	21.33	4	Ciente 39	Empresa	111
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	277.16
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Fuente: elaboración propia.

El camión 40 deberá visitar en el siguiente orden a los clientes 11, 10 y 39, para minimizar la distancia recorrida. El siguiente caso corresponde al camión 111, una plataforma de 22 toneladas:

Figura 60. **Matriz de entrada del caso 2**

From \ To	Empresa	Ciente 13	Ciente 32	Ciente 33
Empresa		40	169	243
Ciente 13	40		21	201
Ciente 32	169	138		48
Ciente 33	243	201	48	

Fuente: elaboración propia.

Figura 61. **Matriz de salida del caso 2**

	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Empresa	Ciente 13	40	3	Ciente 32	Ciente 33	48
2	Ciente 13	Ciente 32	21	4	Ciente 33	Empresa	243
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	352
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Fuente: elaboración propia.

La plataforma deberá visitar en el siguiente orden a los clientes 13, 32 y 33, para minimizar la distancia recorrida. Luego se analiza la plataforma de 22 toneladas con el número 113.

Figura 62. **Matriz de entrada del caso 3**

From \ To	Empresa	Ciente 7	Ciente 8	Ciente 9
Empresa		123	32	27
Ciente 7	123		14	16
Ciente 8	32	14		5
Ciente 9	27	16	5	

Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Matriz de salida del caso 3**

	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Empresa	Ciente 8	32	3	Ciente 7	Ciente 9	16
2	Ciente 8	Ciente 7	14	4	Ciente 9	Empresa	27
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	89
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Fuente: elaboración propia.

La plataforma 113 tiene que visitar en el siguiente orden a los clientes 8, 7 y 9, para minimizar la distancia recorrida. Después se analiza la plataforma de 22 toneladas con el número 115:

Figura 64. **Matriz de entrada del caso 4**

From \ To	Empresa	Ciente 22	Ciente 23	Ciente 24	Ciente 25
Empresa		8	19	32	32
Ciente 22	8		21	27	26
Ciente 23	19	21		25	28
Ciente 24	32	27	25		5
Ciente 25	32	26	28	5	

Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **Matriz de salida del caso 4**

	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Empresa	Ciente 22	8	4	Ciente 24	Ciente 23	25
2	Ciente 22	Ciente 25	26	5	Ciente 23	Empresa	19
3	Ciente 25	Ciente 24	5				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	83
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Fuente: elaboración propia.

La plataforma 115 debe visitar en el siguiente orden a los clientes 22, 25, 24 y 23, para minimizar la distancia recorrida. Finalmente se analiza la plataforma de 22 toneladas con el número 116:

Figura 66. **Matriz de entrada del caso 5**

From \ To	Empresa	Cliente 21	Cliente 26	Cliente 27
Empresa		15	26	7
Cliente 21	15		19	10
Cliente 26	26	19		27
Cliente 27	7	10	27	

Fuente: elaboración propia.

Figura 67. **Matriz de salida del caso 5**

	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Empresa	Cliente 26	26	3	Cliente 21	Cliente 27	10
2	Cliente 26	Cliente 21	19	4	Cliente 27	Empresa	7
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	62
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Fuente: elaboración propia.

La plataforma 116 debe visitar en el siguiente orden a los clientes 26, 21 y 27, para minimizar la distancia recorrida.

4.8. Documentación final

Es el medio por el cual se le hace saber al responsable de la carga de producto la forma en la cual debe preparar el mismo para ser enviado a su destino.

4.8.1. Ficha técnica de despacho

A cada transporte asignado le corresponde una ficha técnica. La ficha técnica que se muestra en la figura 68 corresponde a la ficha del transporte con identificación 40.

Figura 68. Ficha técnica de despacho

Fecha _____ Hora _____ Ficha No. _____

FICHA TÉCNICA DE DESPACHO

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

0	Pedido	Código*	Nombre	Dirección
1	101	11	-----	-----
2	109	10	-----	-----
3	116	39	-----	-----
4				
5				

DESCRIPCIÓN DE PRODUCTOS

	Código	Descripción	Ubicación	Cant.*	Cliente	Ped.
1	A	Lamina Ondulada	D-IV-III	4.9	11	101
2	A	Lamina Ondulada	D-IV-III	4.2	10	109
3	A	Lamina Ondulada	D-IV-III	6.9	39	116
4						
5						
6						
7						
8						

* Cantidad en toneladas

TRANSPORTE ASIGNADO

Proveedor		-----	
ID	40	Descripción	Camión de 16 Toneladas
Nombre del chofer		-----	
DPI	-----	Licencia para conducir	-----
Región	Nororient	Muelle / Hora	2 / 14:30

Coordinador de Despacho

Fuente: elaboración propia.

5. SEGUIMIENTO O MEJORA

5.1. Indicadores de calidad

Luego de haber llevado a cabo un proceso se debe proceder a medirlo y a determinar cuándo es que el mismo se encuentra bajo control.

5.1.1. Capacidad

El indicador que se relaciona con la capacidad es el siguiente:

$$\% \text{ Utilización} = \frac{\text{Total toneladas asignadas}}{\text{Capacidad teórica total}}$$

Utilizando la información de la tabla XVI se ejemplifica el indicador:

$$\% \text{ Utilización} = \frac{1\,445 \text{ toneladas}}{1\,517 \text{ toneladas}} \times 100$$

$$\% \text{ Utilización} = 95.25\%$$

5.1.2. Tiempo de despacho

El horario preestablecido de las asignaciones de transporte es a las 6:00 A.M., debido a que se retienen todos los pedidos para lograr una mejor asignación posterior.

5.1.3. Distancia recorrida

La distancia recorrida es una restricción del método que se toma en cuenta al momento de segmentar el mercado. Por esta razón, y porque se subcontrata el servicio de transporte, no se toma en cuenta como un indicador de calidad para el método propuesto.

5.2. Resultados obtenidos

Como se hizo ver en el Diagrama de Gantt del apartado 4.2.1., se programó un tiempo específico para control y seguimiento. A partir de un análisis de gráfico X-R para variables cuantitativas, se estandarizó el indicador de porcentaje de utilización. El primer dato de la muestra fue de 95,25 % y la media en general fue 93,88 %. El límite superior de control es de 101,51 % y el límite inferior es 86,86 %.

Se tomaron 19 muestras de las 25 correspondientes a los días hábiles, en el período de prueba del método. La gráfica 1 del capítulo de anexos detalla la información anterior. Luego, se utiliza un indicador específico para definir el valor del costo por una tonelada enviada:

$$\text{Costo de transporte por tonelada} = \frac{\text{Costo total}}{\text{Total toneladas asignadas}}$$

Utilizando la información de las tablas XIV y XVI se ejemplifica la ecuación:

$$\text{Costo de transporte por tonelada} = \frac{161\,033.16 \text{ quetzales}}{1\,445 \text{ toneladas}}$$

$$\text{Costo de transporte por tonelada} = 111.44 \frac{Q}{Ton}$$

Finalmente, se hace la comparación entre el costo proyectado por el método propuesto y el costo real facturado del mes posterior, siguiendo la asignación sugerida por el método, con el objetivo de validar el mismo.

Tomando como referencia la información de la tabla 5 y la gráfica 2 del capítulo de anexos, el promedio de la diferencia entre el costo proyectado y el costo facturado es de (-301,51) quetzales. La desviación estándar de esta diferencia es de Q. 3 573,10.

5.2.1. Interpretación

La gráfica 1 del capítulo de anexos muestra que el método propuesto se encuentra estandarizado. Además, el porcentaje de utilización cumple con un 85 % como mínimo de la capacidad real y una media aproximada de 94 %.

El hecho de que se estandarice la asignación de transporte, repercute también en la solicitud de transporte a los proveedores. Se debe notar que se solicitaron 26 plataformas de 25 toneladas que no se utilizaron y que, por ende, no fueron tomadas en cuenta en el costo total de transporte.

El costo óptimo de la red de distribución, por otro lado, depende de una gran variedad de factores, como lo son la mezcla de productos vendidos, la ubicación de los clientes, la cantidad de producto y de pedidos. Es por esto que no se puede hacer una previsión exacta del costo de transporte ni llevar un control del mismo, pues los factores cambian constantemente. En cambio, se propone un indicador de costo por tonelada que muestra el costo por

transportar una tonelada de un tipo de producto. En el ejemplo dado, el costo por transportar una tonelada de producto en general fue de Q. 111,44.

Analizando a profundidad, se puede observar que el motivo por el cual el costo de transportar producto estándar fue más elevado, fue el hecho de que se tuviera que asignar transportes a ubicaciones más distantes. Finalmente se calculó la media de la diferencia entre los costos proyectados y los costos facturados con la asignación propuesta. El valor indica que el modelo propuesto tiende a arrojar un costo total por debajo del costo facturado real (Q. 301,51), y además que este valor puede variar en un rango de \pm Q. 3 573,10 a partir de la media.

5.3. Cuantificación de ahorros reales

Se puede contabilizar el valor monetario que se ahorra en un período de tiempo haciendo una comparación entre el costo proyectado y el costo facturado sin utilizar la asignación del método propuesto. Para esto se simula el método propuesto con el registro de pedidos perteneciente al mes anterior a aquel en que se puso a prueba el método. El gráfico 3 del capítulo de anexos es equivalente a los días hábiles de un mes seleccionado. Este representa la diferencia entre el costo que tiene para la empresa utilizar el método propuesto y no utilizarlo.

En el gráfico 4 del capítulo de anexos se ejemplifica el ahorro acumulado total que la empresa habría percibido utilizando el método propuesto, un mes antes de su puesta en marcha. El valor asciende a Q. 225 000,00 aproximadamente.

5.4. Acciones correctivas

Se realiza una acción correctiva cuando se elimina la causa de un problema. Las correcciones atacan los problemas y las acciones correctivas sus causas. Anteriormente se enunció que, en la solicitud de camiones, había un sobrante excesivo de 26 plataformas de 25 toneladas. Este tipo de transporte es el menos utilizado y, erróneamente, el más solicitado a los proveedores.

Se pretende utilizar el nuevo método para hacer una solicitud más exacta, reduciendo la cantidad solicitada de plataformas de 25 toneladas. El nuevo método proporciona el valor en quetzales de transportar una tonelada de producto con un determinado tipo de transporte, el cual es muy elevado para las plataformas de 25 toneladas.

5.5. Actualizaciones de pedidos

Después de que los pedidos son asignados y se comienza a cargar el producto, se puede hacer una actualización de los mismos si se cumplen las siguientes condiciones:

- La actualización del pedido del cliente fue dada de alta por las áreas involucradas.
- El producto se encuentra en estado stock.
- Espacio disponible en alguno de los camiones asignados, siempre que tenga la misma región, anillo y tipo de producto que el pedido original.

5.6. Ventajas y beneficios

- El costo de implementación no tiene valor monetario.

- El nuevo método tiene beneficios en la reducción total de costos de distribución.
- La solicitud de transporte al proveedor es aún más precisa en cuanto a la cantidad y tipo.
- El nuevo método toma en cuenta el costo por asignar un determinado tipo de transporte. El método anterior no tomaba en cuenta este factor.
- La asignación de transporte se estandariza con el nuevo método.

CONCLUSIONES

1. El nuevo método de programación de transporte y despacho se encuentra estandarizado. El rango en el cual varía el porcentaje de utilización tiene un valor de 13,34 %, y la media del porcentaje de utilización en la muestra fue de 93,88 %.
2. Los costos de la red distribución son fijos y variables. Los costos fijos representan el salario de las personas involucradas en el método con un valor mensual de Q. 26 172,8, mientras que los costos variables representan el costo de la tercerización del servicio de transporte y distribución, que asciende en el caso en estudio a Q. 161 033,16.
3. La cartera de clientes se segmentó geográficamente utilizando sus respectivas coordenadas geográficas. En el caso en estudio 6 clientes pertenecen a la región de las Verapaces, 4 a la región Norte, 10 a la región Nororiente, 7 a la región Suroccidente, 10 a la región Guatemala y 2 a la región Noroccidente.
4. Las regiones y rutas óptimas se establecieron por medio de la aplicación Waze® para definir la distancia a la cual se encontraban los clientes del centro de distribución. En resumen, se establecieron 8 regiones con 25 subáreas o segmentos válidos en el territorio de Guatemala.
5. La variable de decisión que se optimiza es la cantidad de producto que se debe transportar según cada ruta y transporte. Los factores que se deben tomar en cuenta para el proceso de programación son: la

ubicación de los clientes, las rutas predefinidas, la disponibilidad de transporte, los tipos de transporte y los tipos de producto.

6. La función objetivo de 60 variables se resuelve con la ayuda de la herramienta informática *Solver*® de *MS-Excel*®. En el caso en estudio, *Solver*® arrojó la siguiente información: el costo por transportar todo el producto con destino a Guatemala será de Q. 29 796,00, a las Verapaces será de Q. 8 854,90, a la región Nororiente tendrá un valor de Q. 29 922,40, a la región Norte será de Q. 23 045,43, a la región Suroccidente ascenderá a Q. 43 648,28 y en la región Noroccidente tendrá un costo de Q. 25 766,16. La suma total del costo variable es de Q. 161 033,16.
7. El indicador de porcentaje de utilización y el costo por tonelada transportada son los indicadores implementados que tienen el fin de medir, evaluar y mejorar el método. El porcentaje de utilización del caso en estudio fue de 95,25 % y el costo por tonelada tuvo un valor de Q. 111,44 por tonelada transportada.

RECOMENDACIONES

1. La capacidad de memoria RAM del equipo de cómputo incide directamente en la rapidez con la cual se llega a la solución final, pero también lo hace la habilidad del coordinador de área para realizar los ajustes del método.
2. El modelo tiene validez debido a que la flota de transporte es tercerizada. Se debe pactar con el proveedor un precio estándar por kilómetro en cada ruta para llevar a cabo una simulación más precisa.
3. Las ubicaciones o coordenadas geográficas de los clientes se deben obtener por medio de los vendedores. Estos deben enviar la ubicación a la administración mientras visitan a los clientes en sus respectivas rutas de venta.
4. La ventaja de utilizar Waze® sobre otras aplicaciones de GPS es la veracidad de su información. La primera muestra la distancia entre el centro de distribución y el cliente según las rutas terrestres establecidas, mientras que otro tipo de aplicación puede arrojar una magnitud sin tomar en cuenta las rutas terrestres. Se debe utilizar la primera herramienta para implementar un método más preciso.
5. El departamento de programación y despacho debe prestar atención a la interpretación que se le da a la variable de decisión. Esta variable indica la cantidad, el destino y el tipo de transporte del producto, pero no la cantidad de camiones que necesita para transportarlo.

6. La herramienta *Solver*® sigue las instrucciones que el usuario disponga. Por eso el coordinador del área debe tener presente que el fin de la función objetivo es ser minimizada. Se debe recordar esto al momento de utilizar la función *Solver*®.

7. Se debe recordar al cliente, al momento de la compra, que el tiempo de ciclo de pedido puede ser variable a pesar de tener un método de transporte estandarizado. Los factores que pueden alterar el tiempo de ciclo pueden ser característicos del área de créditos, de fábrica o de despacho, según la hora a la que se valide el pedido.

BIBLIOGRAFÍA

1. BALLOU, Ronald. *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Prentice-Hall. 5ta ed. México, 2004. 81pp.
2. CAMPOS, Antonio. *Excel XP avanzado*. Vértice. 1ra ed. Málaga, 2008. 114pp.
3. LÓPEZ, Bernat; RUIZ, Pinto. *La esencia del marketing*. Universidad Politécnica de Catalunya. 1ra ed. Barcelona, 2001. 44p.
4. MOORE, Jeffrey; WEATHERFORD, Larry. *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. Prentice-Hall. 5ta ed. México, 2000. 225 p.
5. TORRES, Mikel. *Logística y costos*. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, 2006. 248 p.

ANEXOS

Anexo 1. Listado de coordenadas geográficas de clientes

Cliente	Región	Departamento	Longitud	Latitud
1	Verapaces	Alta Verapaz	15.820724	-89.967469
2	Verapaces	Alta Verapaz	15.398513	-89.641485
3	Verapaces	Alta Verapaz	15.813046	-90.291408
4	Verapaces	Alta Verapaz	15.476799	-90.312123
5	Verapaces	Baja Verapaz	15.1038	-90.317938
6	Verapaces	Baja Verapaz	15.104	-90.31794
7	Norte	Chimaltenango	14.780487	-90.791872
8	Norte	Chimaltenango	14.658537	-90.818012
9	Norte	Chimaltenango	14.638795	-90.774724
10	Nororiente	Chiquimula	14.79736	-89.547015
11	Nororiente	Chiquimula	14.63487	-89.442186
12	Nororiente	Chiquimula	14.632291	-89.443147
13	Nororiente	El Progreso	14.800578	-90.194433
14	Nororiente	El Progreso	14.784184	-90.198774
15	Suroccidente	Escuintla	14.306454	-90.786862
16	Suroccidente	Escuintla	14.403495	-90.697309
17	Suroccidente	Escuintla	14.089821	-91.056927
18	Suroccidente	Escuintla	14.33974	-91.024394
19	Suroccidente	Escuintla	14.285993	-91.361895
20	Guatemala	Guatemala	14.556894	-90.555286
21	Guatemala	Guatemala	14.598131	-90.548269
22	Guatemala	Guatemala	14.542369	-90.585429
23	Guatemala	Guatemala	14.543971	-90.392982
24	Guatemala	Guatemala	14.754354	-90.471999
25	Guatemala	Guatemala	14.764096	-90.519079
26	Guatemala	Guatemala	14.643467	-90.381256
27	Guatemala	Guatemala	14.520036	-90.59844
28	Guatemala	Guatemala	14.580021	-90.50968
29	Guatemala	Guatemala	14.500146	-90.482508
30	Noroccidente	Huehuetenango	15.348273	-91.438076
31	Nororiente	Izabal	15.686453	-88.599024
32	Nororiente	Izabal	15.256793	-89.095247
33	Nororiente	Izabal	15.734839	-88.595697
34	Noroccidente	Quetzaltenango	14.887609	-91.511875
35	Norte	Quiché	15.060462	-91.150448
36	Suroccidente	Suchitepéquez	14.534129	-91.517681
37	Suroccidente	Suchitepéquez	14.395818	-91.326277
38	Nororiente	Zacapa	15.353037	-89.177163
39	Nororiente	Zacapa	15.044979	-89.58458

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. **Listado de distancias entre clientes y empresa en estudio**

Cliente	Región	Departamento	Distancia	Anillo
1	Verapaces	Alta Verapaz	147	3
2	Verapaces	Alta Verapaz	129	3
3	Verapaces	Alta Verapaz	135	3
4	Verapaces	Alta Verapaz	98	2
5	Verapaces	Baja Verapaz	59	2
6	Verapaces	Baja Verapaz	59	2
7	Norte	Chimaltenango	123	3
8	Norte	Chimaltenango	32	1
9	Norte	Chimaltenango	27	1
10	Nororiente	Chiquimula	106	3
11	Nororiente	Chiquimula	117	3
12	Nororiente	Chiquimula	113	3
13	Nororiente	El Progreso	40	1
14	Nororiente	El Progreso	42	1
15	Suroccidente	Escuintla	33	1
16	Suroccidente	Escuintla	20	1
17	Suroccidente	Escuintla	6	1
18	Suroccidente	Escuintla	53	2
19	Suroccidente	Escuintla	88	2
20	Guatemala	Guatemala	9	1
21	Guatemala	Guatemala	15	1
22	Guatemala	Guatemala	8	1
23	Guatemala	Guatemala	19	1
24	Guatemala	Guatemala	32	1
25	Guatemala	Guatemala	32	1
26	Guatemala	Guatemala	26	1
27	Guatemala	Guatemala	7	1
28	Guatemala	Guatemala	14	1
29	Guatemala	Guatemala	8	1
30	Noroccidente	Huehuetenango	135	3
31	Nororiente	Izabal	240	5
32	Nororiente	Izabal	169	4
33	Nororiente	Izabal	243	5
34	Noroccidente	Quetzaltenango	113	3
35	Norte	Quiché	84	2
36	Suroccidente	Suchitepéquez	101	3
37	Suroccidente	Suchitepéquez	81	2
38	Nororiente	Zacapa	168	4
39	Nororiente	Zacapa	111	3

Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Asignación de transporte para rollos

Región	ID TRANSP.	Transporte	No. Cliente	Suma de Toneladas
Guatemala	88	Plataforma 22 Ton	29	22
	89	Plataforma 22 Ton	29	22
	90	Plataforma 22 Ton	29	22
	91	Plataforma 22 Ton	29	22
	92	Plataforma 22 Ton	29	22
	93	Plataforma 22 Ton	29	22
	94	Plataforma 22 Ton	29	22
	95	Plataforma 22 Ton	29	22
	96	Plataforma 22 Ton	29	22
	97	Plataforma 22 Ton	29	22
	98	Plataforma 22 Ton	29	22
	99	Plataforma 22 Ton	29	22
	100	Plataforma 22 Ton	29	18
	101	Plataforma 22 Ton	28	22
	102	Plataforma 22 Ton	22	10
			28	9
Noroccidente	107	Plataforma 22 Ton	30	6
Nororient	104	Plataforma 22 Ton	14	3
			15	9
Norte	105	Plataforma 22 Ton	7	10
Suroccidente	106	Plataforma 22 Ton	19	9
Verapaces	103	Plataforma 22 Ton	3	14
			4	5

Fuente: elaboración propia.

Anexo 4. **Asignación de transporte para productos estándar. Parte 1**

Región	ID TRANSP.	Transporte	No. Cliente	Suma de Toneladas
Guatemala	45	Camión 3 Ton	20	2.3
	114	Plataforma 22 Ton	24	21.8
	115	Plataforma 22 Ton	22	2.3
			23	9.5
			24	3.63
			25	7.3
			116	Plataforma 22 Ton
	116	Plataforma 22 Ton	26	6.65
			27	3.4
	117	Plataforma 22 Ton	27	22
Noroccidente	21	Camión 10 Ton	34	10
	22	Camión 10 Ton	34	10
	23	Camión 16 Ton	34	16
	35	Camión 16 Ton	34	16
	36	Camión 16 Ton	34	16
	37	Camión 16 Ton	34	16
	50	Camión 5 Ton	34	5
	51	Camión 5 Ton	34	5
	52	Camión 5 Ton	34	5
	53	Camión 5 Ton	34	5
	54	Camión 5 Ton	34	5
	55	Camión 5 Ton	34	5
	56	Camión 5 Ton	34	5
	57	Camión 5 Ton	34	5
	58	Camión 5 Ton	34	5
	59	Camión 5 Ton	34	5
	60	Camión 5 Ton	34	4
	61	Camión 5 Ton	30	5
	62	Camión 5 Ton	30	5
	63	Camión 5 Ton	30	5
64	Camión 5 Ton	30	5	
65	Camión 5 Ton	30	5	
66	Camión 5 Ton	30	2	
Nororient	38	Camión 16 Ton	13	8
			39	7.7
	39	Camión 16 Ton	12	16
	40	Camión 16 Ton	10	4.9
			11	4.2
	41	Camión 16 Ton	39	6.9
10			16	

Fuente: elaboración propia.

Anexo 5. Asignación de transporte para productos estándar. Parte 2

Región	ID TRANSP.	Transporte	No. Cliente	Suma de Toneladas	
Norte	108	Plataforma 22 Ton	32	3.8	
			38	18.2	
	109	Plataforma 22 Ton	31	22	
		110	Plataforma 22 Ton	31	21.6
	111		Plataforma 22 Ton	13	1
				32	7.1
			33	10.9	
	112	Plataforma 22 Ton	9	4	
			35	18	
	113	Plataforma 22 Ton	7	13	
			8	4	
			9	3	
	119	Plataforma 25 Ton	35	25	
120			35	25	
121			35	25	
122			Plataforma 25 Ton	35	25
Suroccidente	1	Camión 10 Ton	18	10	
	2	Camión 10 Ton	18	10	
	3	Camión 10 Ton	18	10	
	4	Camión 10 Ton	18	10	
	5	Camión 10 Ton	18	10	
	6	Camión 10 Ton	18	10	
	7	Camión 10 Ton	18	10	
	8	Camión 10 Ton	18	10	
	9	Camión 10 Ton	18	10	
	10	Camión 10 Ton	18	10	
	11	Camión 10 Ton	18	10	
	12	Camión 10 Ton	18	10	
	13	Camión 10 Ton	18	10	
	14	Camión 10 Ton	18	10	
	15	Camión 10 Ton	18	10	
	16	Camión 10 Ton	18	10	
	17	Camión 10 Ton	18	10	
	18	Camión 10 Ton	18	10	
19	Camión 10 Ton	18	10		
20	Camión 10 Ton	18	10		
24	Camión 12 Ton	17	12		
25	Camión 12 Ton	17	12		
26	Camión 12 Ton	17	12		
27	Camión 12 Ton	17	12		
28	Camión 12 Ton	17	12		

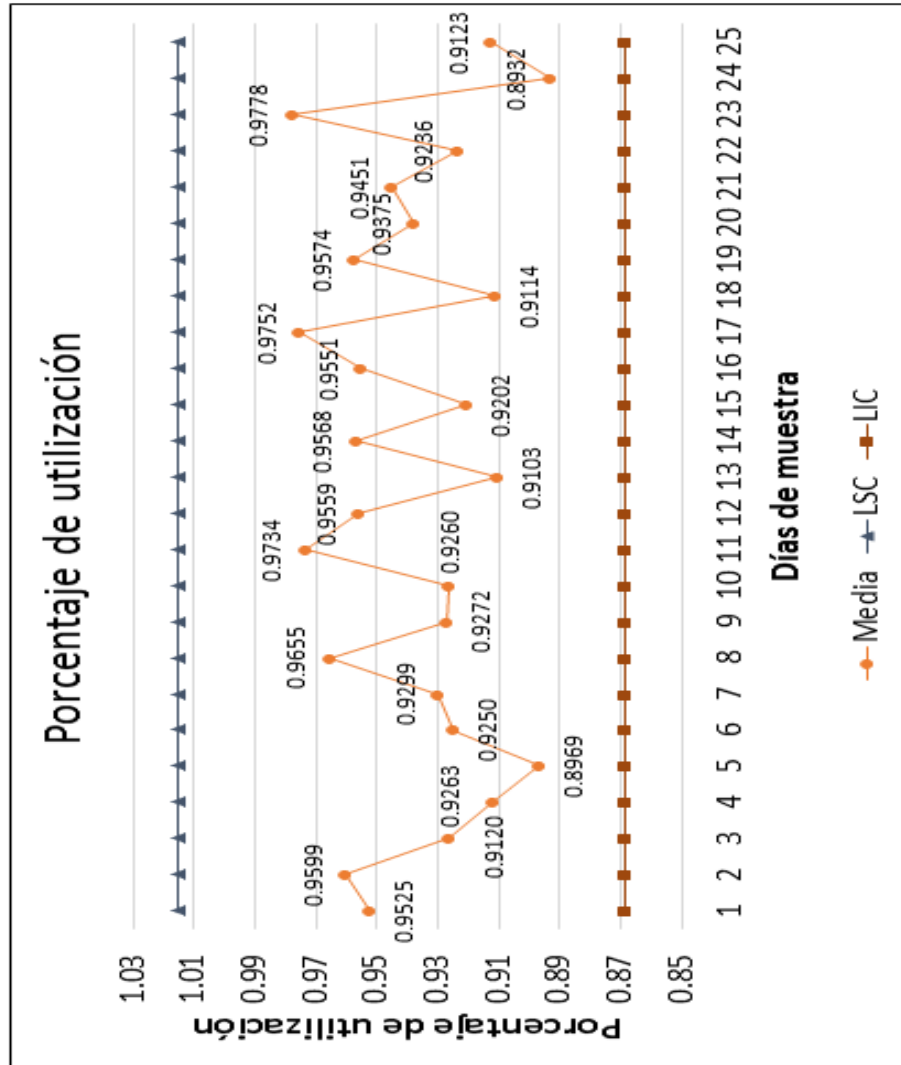
Fuente: elaboración propia.

Anexo 6. **Asignación de transporte para productos estándar. Parte 3**

Región	ID TRANSP.	Transporte	No. Cliente	Suma de Toneladas
	29	Camión 12 Ton	17	12
	30	Camión 12 Ton	17	12
	31	Camión 12 Ton	17	12
	32	Camión 12 Ton	15	4
			17	8
	33	Camión 12 Ton	16	12
	34	Camión 12 Ton	16	9
			17	3
	42	Camión 2 Ton	15	2
	44	Camión 3 Ton	18	1
			37	2
	67	Camión 7 Ton	18	7
	68	Camión 7 Ton	18	7
	69	Camión 7 Ton	18	7
	70	Camión 7 Ton	18	7
	71	Camión 7 Ton	18	7
	72	Camión 7 Ton	18	7
	73	Camión 7 Ton	18	7
	74	Camión 7 Ton	18	7
	75	Camión 7 Ton	18	7
	76	Camión 7 Ton	18	7
	77	Camión 7 Ton	18	7
	78	Camión 7 Ton	19	7
	79	Camión 7 Ton	19	7
	80	Camión 7 Ton	19	7
	81	Camión 7 Ton	19	7
	82	Camión 7 Ton	37	7
	83	Camión 7 Ton	37	7
	84	Camión 7 Ton	37	7
	85	Camión 7 Ton	36	7
	86	Camión 7 Ton	36	7
	87	Camión 7 Ton	19	5
			36	2
Verapaces	48	Camión 2 Ton	5	2
	49	Camión 10 Ton	1	4.5
			6	5.5
	118	Plataforma 22 Ton	2	7.9
			3	13.4

Fuente: elaboración propia.

Anexo 7. Límites de control del porcentaje de utilización



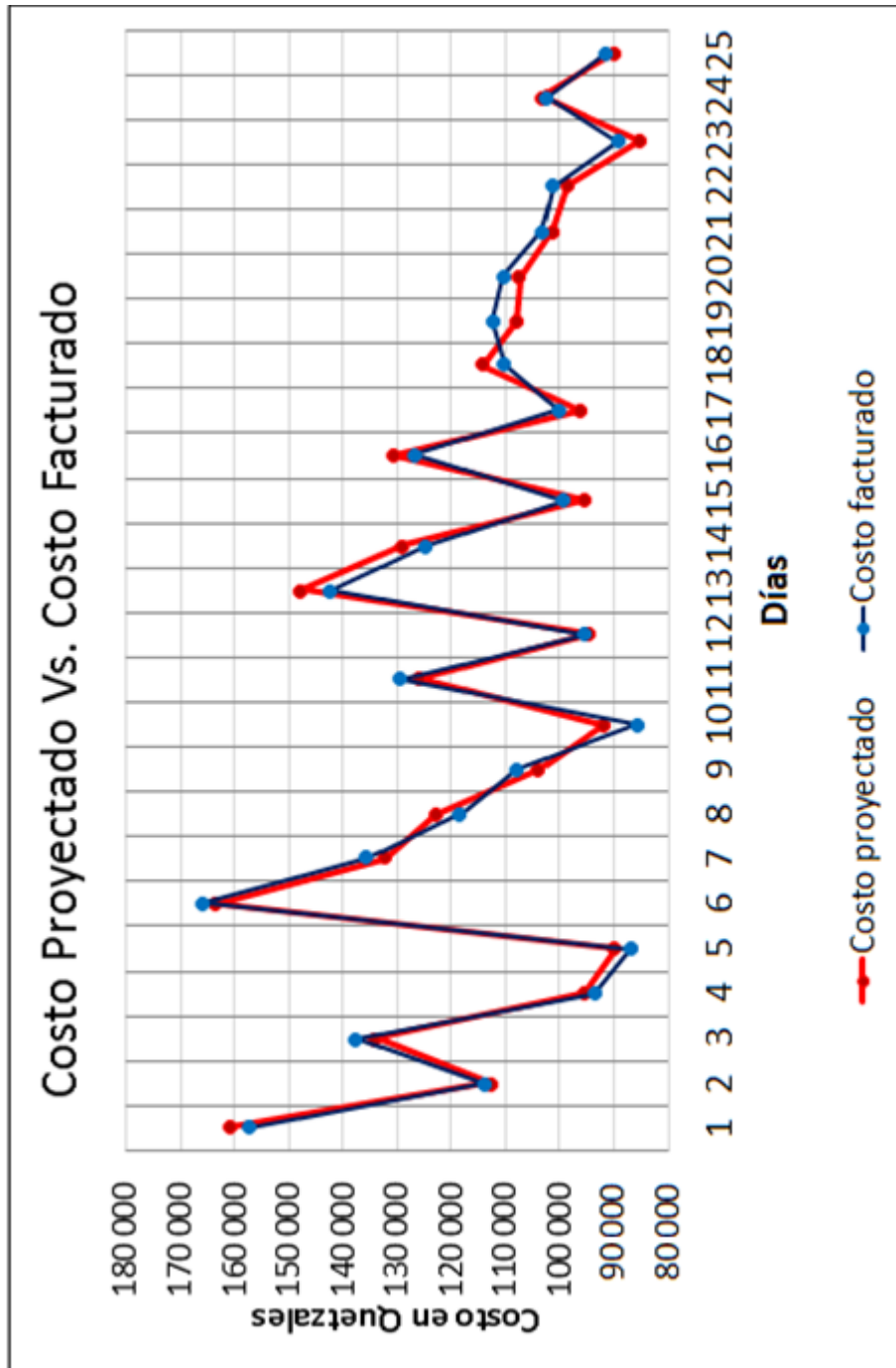
Fuente: elaboración propia.

Anexo 8. **Comparación de costo proyectado vs. costo facturado**

Día	Costo proyectado	Costo facturado	Diferencia	Promedio
1	Q 161 033	Q 157 406	Q 3 627	Q (301.51)
2	Q 112 931	Q 113 982	Q (1 051)	
3	Q 134 147	Q 137 624	Q (3 477)	
4	Q 95 650	Q 93 563	Q 2 087	
5	Q 89 607	Q 86 893	Q 2 714	
6	Q 163 396	Q 165 879	Q (2 483)	
7	Q 132 208	Q 135 698	Q (3 490)	
8	Q 122 924	Q 118 365	Q 4 559	
9	Q 104 081	Q 107 896	Q (3 815)	
10	Q 92 050	Q 85 698	Q 6 352	
11	Q 125 895	Q 129 453	Q (3 558)	
12	Q 94 279	Q 95 356	Q (1 077)	
13	Q 147 556	Q 142 365	Q 5 191	
14	Q 128 740	Q 124 789	Q 3 951	
15	Q 95 513	Q 99 326	Q (3 813)	
16	Q 130 568	Q 126 879	Q 3 689	
17	Q 96 264	Q 100 326	Q (4 062)	
18	Q 114 131	Q 110 326	Q 3 805	
19	Q 107 862	Q 112 398	Q (4 536)	
20	Q 107 362	Q 110 356	Q (2 994)	
21	Q 101 326	Q 103 569	Q (2 243)	
22	Q 98 753	Q 101 236	Q (2 483)	
23	Q 85 326	Q 89 326	Q (4 000)	
24	Q 103 568	Q 102 326	Q 1 242	
25	Q 89 653	Q 91 326	Q (1 673)	

Fuente: elaboración propia.

Anexo 9. Comparación de costo proyectado vs. costo facturado



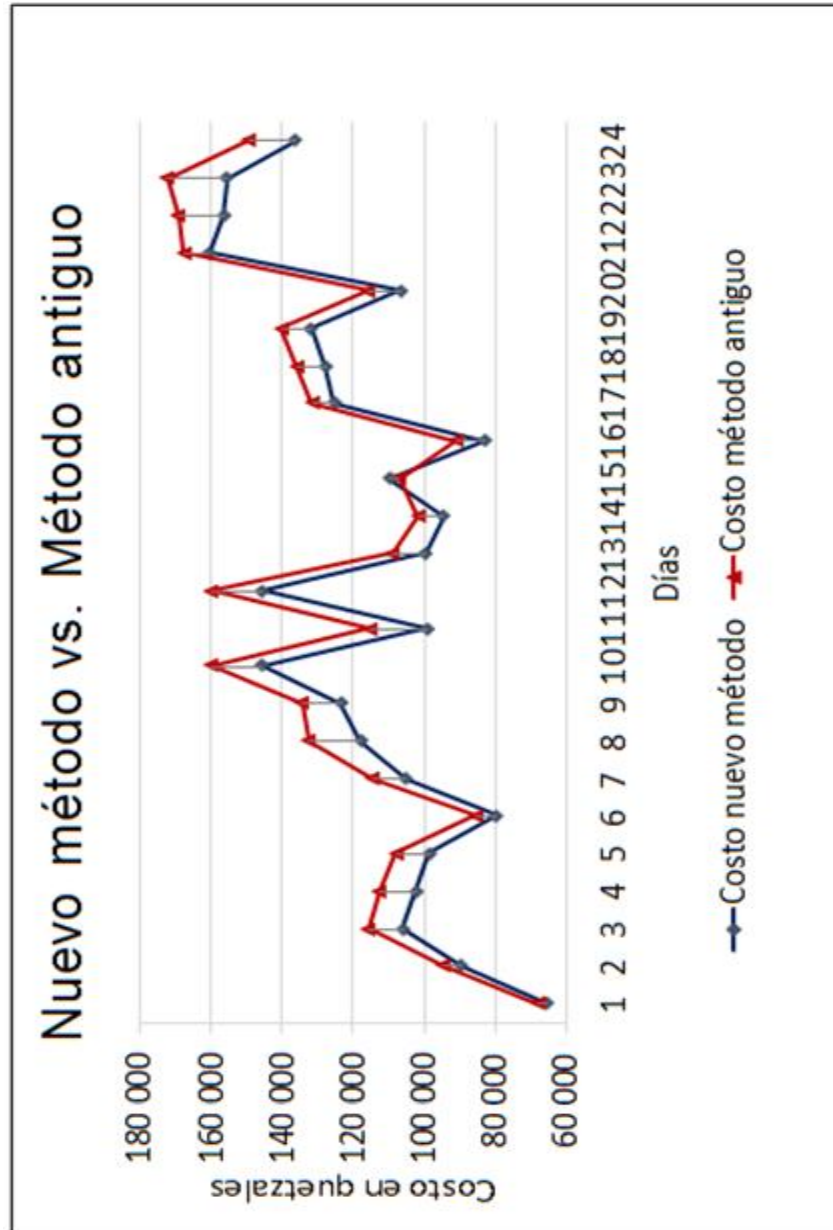
Fuente: elaboración propia.

Anexo 10. **Cuantificación de ahorros**

Día	Costo método antiguo	Costo nuevo método	Diferencia	Ahorro acumulado
1	Q 67 895	Q 65 362	Q 2 533	Q 2 533
2	Q 94 563	Q 89 632	Q 4 931	Q 7 464
3	Q 115 678	Q 105 931	Q 9 747	Q 17 211
4	Q 112 659	Q 102 247	Q 10 412	Q 27 623
5	Q 107 896	Q 98 702	Q 9 194	Q 36 817
6	Q 85 365	Q 79 653	Q 5 712	Q 42 529
7	Q 114 603	Q 105 066	Q 9 537	Q 52 066
8	Q 132 698	Q 117 824	Q 14 874	Q 66 940
9	Q 134 346	Q 123 551	Q 10 795	Q 77 735
10	Q 159 863	Q 145 675	Q 14 188	Q 91 923
11	Q 115 365	Q 99 231	Q 16 134	Q 108 057
12	Q 159 863	Q 145 629	Q 14 234	Q 122 291
13	Q 108 986	Q 99 540	Q 9 446	Q 131 737
14	Q 101 635	Q 94 648	Q 6 987	Q 138 724
15	Q 106 983	Q 109 830	Q (2 847)	Q 135 877
16	Q 91 236	Q 82 877	Q 8 359	Q 144 236
17	Q 131 555	Q 125 271	Q 6 284	Q 150 520
18	Q 135 986	Q 127 778	Q 8 208	Q 158 728
19	Q 140 365	Q 132 069	Q 8 296	Q 167 024
20	Q 115 632	Q 106 694	Q 8 938	Q 175 962
21	Q 167 891	Q 160 665	Q 7 226	Q 183 188
22	Q 169 463	Q 156 444	Q 13 019	Q 196 207
23	Q 172 365	Q 155 727	Q 16 638	Q 212 845
24	Q 149 873	Q 136 341	Q 13 532	Q 226 377

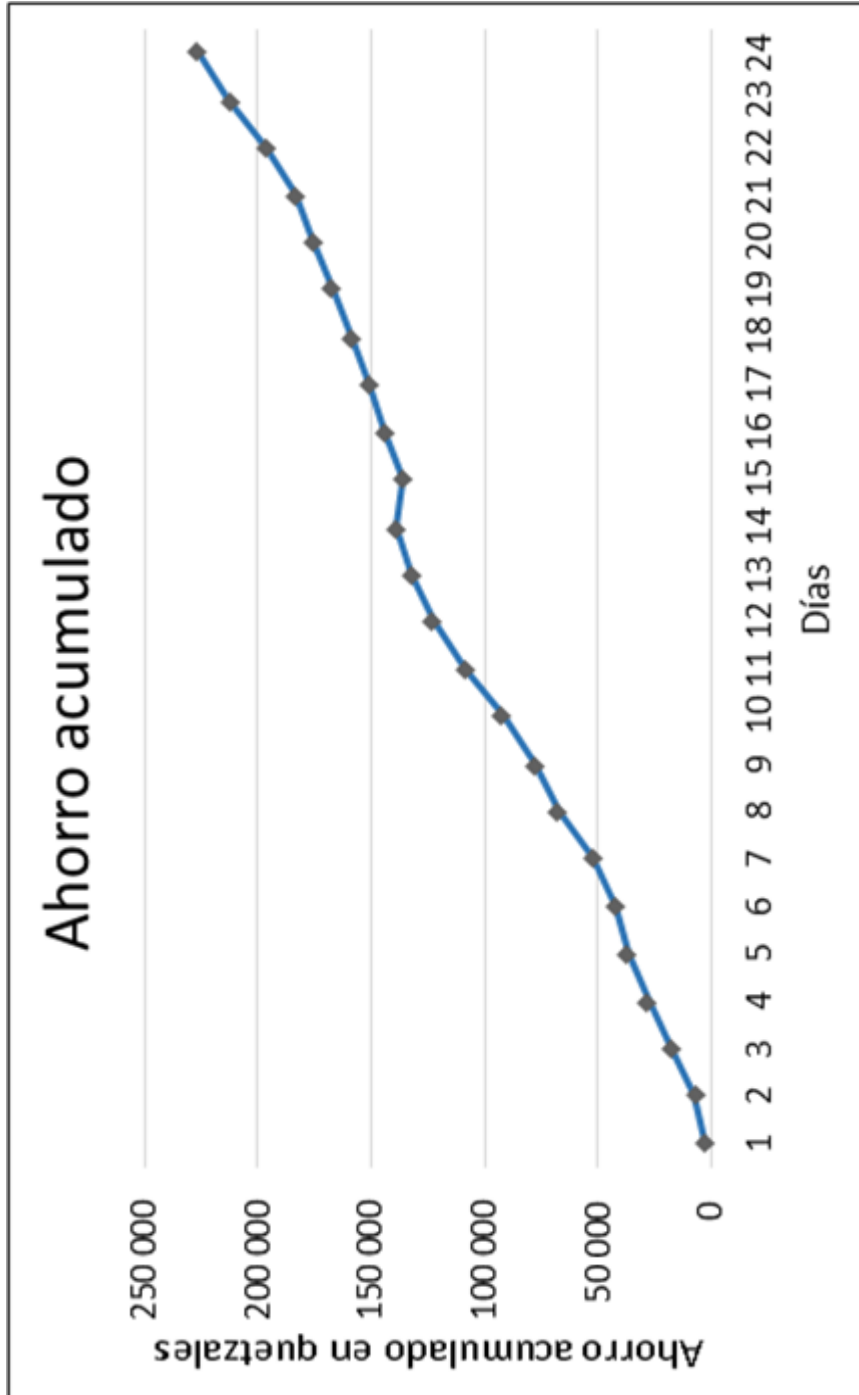
Fuente: elaboración propia.

Anexo 11. Comparación de costo proyectado vs. costo facturado



Fuente: elaboración propia.

Anexo 12. Ahorro estimado



Fuente: elaboración propia.