

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE CON MENCIÓN EN
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN”**

TEMA:

**DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN
DE RUTAS DE REPARTO EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA Y
COMERCIALIZADORA DE PRODUCTOS PLÁSTICOS**

AUTOR:

FERNANDO ANDRES ELIZALDE SAAVEDRA

Guayaquil - Ecuador

2018

RESUMEN

El presente trabajo de titulación es realizado en una empresa de la industria de plástico en la ciudad de Guayaquil. El objetivo de este trabajo es optimizar el proceso de distribución para sus clientes cuenta clave mediante el desarrollo de un modelo matemático basado en la herramienta GAMS.

Para conseguir este objetivo se analiza el sector y la situación actual de la empresa detallando los procesos del departamento de logística para lograr implementar un modelo matemático que reduzca los costos de distribución de mercadería a los puntos de ventas del cliente cuenta clave y a la vez los tiempos de entrega.

Este trabajo se enfocará en el levantamiento de la información de latitudes y longitudes de cada uno de los 18 puntos de ventas del cliente cuenta clave en la ciudad de Guayaquil, que permitirá conocer la distancia total recorrida de la distribución de los productos y el tiempo empleado de cada ruta, el cual, tendrá que estar dentro de la franja horaria de recepción de mercadería de cada una de las tiendas.

Para este proyecto usará la programación entero mixto (MIP), este es uno de los más estudiados y difundidos en la rama de planeación de ruta de vehículos.

ABSTRACT

The present capstone project carried out in a company of the plastics industry in the city of Guayaquil. The objective of this work is to optimize the distribution process for their key account customers by developing a mathematical model using the GAMS tool.

To achieve this objective, the sector and the current situation of the company are analyzed, detailing the processes of the logistics department in order to implement a mathematical model to reduce the distribution costs of merchandise for the customer's points of sale and reduce delivery times.

This work will focus on the collection of latitude and longitude information for each of the 18 key customer points of sale in the city of Guayaquil, which will allow to know the total distance traveled of the distribution of the products and the time spent of each route that will have to be within the time zone of reception of merchandise of each one of the stores.

The algorithm to be used is Mixed-Integer Programming (MIP), it is one of the most studied and disseminated in the optimal routing planning field.

DEDICATORIA

A Dios, por siempre estar presente siempre en cada decisión que he tomado.

A los miembros de mi familia quienes me motivan a mejorar cada día.

Y a todos los que confían en mí...

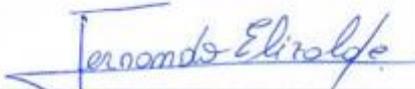
AGRADECIMIENTO

A la ESPOL por habernos dado a muchos la oportunidad de aprender.
Al Ing. Antonio Baduy Huerta por su apoyo económico y motivacional para seguir
cumpliendo mis metas personales
Al Ing. Antonio Baduy Auad por sus consejos sabios que me siguen ayudando a
crecer en lo profesional y como persona.
Al Ing. Andrés Baduy Huerta por los consejos para crecer como persona íntegra.
Al Mgtr. Pedro Ramos de Santis por su colaboración, aporte y tiempo dedicado
para poder culminar de manera exitosa este trabajo.
A mi familia que siempre han sido mi aliento para seguir.
Gracias a todas y cada una de las personas que me ayudaron en la investigación,
ya que invirtieron su tiempo, conocimientos y experiencias para culminar mi tesis.

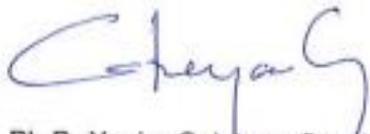
DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.


Fernando Andrés Elizalde Saavedra

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ph.D. Xavier Cabezas García
PRESIDENTE



Mgtr. Pedro Ramos de Santis
DIRECTOR



Mgtr. José Vera Aray
VOCAL 1



Mgtr. David de Santis Bermeo
VOCAL 2

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Descripción del problema.....	2
1.3. Objetivos.....	12
1.4. Hipótesis.....	13
1.5. Alcance.....	13
CAPÍTULO 2.....	29
2. MARCO TEÓRICO.....	29
CAPÍTULO 3.....	34
3. METODOLOGÍA.....	34
CAPÍTULO 4.....	39
4. RESULTADOS.....	39
CAPÍTULO 5.....	45
5. CONCLUSIONES.....	45
6. RECOMENDACIONES.....	46
7. REFERENCIAS.....	47
8. APENDICES Y ANEXOS.....	48

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama Causa y Efecto. Adaptado por Autor	3
Figura 2 - Flujo de Distribución. Adaptado por Autor	4
Figura 3 - Tasas de variación del PIB. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.	6
Figura 4 - Tasas de variación trimestral del PIB. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.	7
Figura 5 - Tasas de Variación y contribución por industria. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.....	7
Figura 6 - Índice de la actividad económica coyuntural. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.	8
Figura 7 – Evolución de la inflación desde 1990 al 2017. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.....	8
Figura 8 - Inflación internacional. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.....	9
Figura 9 - Precios de los Crudos Oriente, Napo y WTI en el periodo 2008 -2017. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.	9
Figura 10 - Precio de los Crudos Oriente, Napo y WTI desde Enero del 2016 hasta Junio del 2018. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.....	10
Figura 11 - Demanda de Derivados desde el 200 hasta 2017. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.....	10
Figura 12 - Crecimiento PIB del sector plásticos y cauchos. Adaptado por Banco Central del Ecuador	11
Figura 13 - Localización de la Empresa. Adaptado de Google Maps.....	14
Figura 14 - Foto de los productos de la Empresa. Adaptado por Autor	15
Figura 15 – Organigrama de la Empresa. Adaptado por Autor	18
Figura 16 - Ubicaciones de Empresa y Puntos de Ventas. Adaptado por Google Maps	21
Figura 17 - Detalle de Costos de Camión de la Empresa. Adaptado por Autor	26
Figura 18 - Ruteo actual manejado empíricamente. Adaptado por Autor	27
Figura 19 - Flujo de proceso del desarrollo del trabajo. Adaptado por Autor	36
Figura 20 - Enfoque del proyecto. Adaptado por Autor	39
Figura 21 - Resumen de la solución del Problema En Gams. Adaptado por Autor	40
Figura 22 - Propuesta de ruteo utilizando modelo de optimización Adaptado por Autor	42
Figura 23 - A1 - Modelo en GAMS	48
Figura 24 - A2 - Modelo en GAMS	49
Figura 25 - A3 - Modelo en GAMS	50
Figura 26 - A4 – Resolución del Modelo en GAMS.....	51
Figura 27 – A5 – Resumen de la Resolución del Modelo en GAMS	52

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 - Latitudes y Longitudes de Empresa y Puntos de Ventas	19
Tabla 2 - Franja Horario de Empresa y Puntos de Venta con sus respectivos tiempos de servicio	20
Tabla 3 - Distancias entre Clientes y Empresa en Km	22
Tabla 4 – Tiempo entre Clientes y Empresa en Minutos.....	23
Tabla 5 - Costo de Distribución y Capacidades	24
Tabla 6 – Demanda Promedio Semanal de Puntos de Venta	25
Tabla 7 - Kilómetros y minutos de la distribución actual	27
Tabla 8 - Detalle de costos fijos y variables de la distribución actual.....	28
Tabla 9 - Resultado de ruteo en Gams	41
Tabla 10 - Resumen de rutas con sus costos en minutos.....	41
Tabla 11 – Tiempo de arribo del vehículo en cada cliente	42
Tabla 12 - Recorrido en kilómetros de cada ruta optima obtenida del algoritmo ..	43
Tabla 13 - Kilómetros y minutos de la distribución propuesta	43
Tabla 14 - Detalle de costos fijos y variables de la distribución propuesta	43
Tabla 15 - Resumen del análisis comparativo.....	44

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las empresas de bienes y servicios necesitan herramientas para optimizar la logística de las empresas con el fin de reducir los costos totales que intervienen en la operación normal del giro del negocio. Una empresa manufacturera no solo debe concentrarse en producir los artículos, sino también brindar un nivel de servicio adecuado para que los clientes estén satisfechos. Este objetivo se puede lograr si los eslabones de la cadena de suministro de la empresa están completamente alineados.

Las empresas enfrentan problemas en su cadena de logística y se ven obligados a la mejora continua para ayudar a ser más competitivos en el mercado. Satisfacer al cliente a un bajo costo es el objetivo principal de la empresa y la cadena de suministro. Por esta razón, el presente trabajo se basa en un desarrollo de un modelo matemático que servirá para la planificación de rutas para una empresa de plásticos con el fin de optimizar los tiempos de entrega a un bajo costo de distribución.

La razón de diseñar una planificación de rutas considerando las distancias y horarios de entrega, se debe a la necesidad de brindar un nivel de servicio adecuado y es considerado como una ventaja competitiva. Un enrutamiento con ventanas de tiempo, conocido como Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) en inglés, optimizará el nivel de servicio y de respuestas a los clientes.

Un problema de ruteo consiste en determinar el conjunto de rutas óptimas de clientes y almacenes dispersos gráficamente, usando vehículos con diferentes o similares capacidades para minimizar el costo de distribución. Los vehículos deben empezar y terminar en el depósito, visitando a todos los clientes en la franja horaria permitida.

El beneficio más importante es el ahorro de los costos de distribución y esto se puede lograr con una buena planificación y un diseño de flota adecuado.

1.2. Descripción del problema

Las industrias, sin importar su actividad principal, deben enfocarse en trascender en el tiempo con mejoras en sus procesos a través de herramientas que permitan optimizar y obtener información de las actividades de cada empresa. El giro del negocio de la empresa analizada consiste en la fabricación de artículos plásticos y la comercialización de estos en la ciudad de Guayaquil. La empresa tiene tres canales de distribución: a) Distribuidores, b) Industriales y c) Moderno. El canal moderno atiende a los principales puntos de ventas del Ecuador, y representa aproximadamente el 40% de los ingresos totales de la empresa.

Actualmente la compañía presenta retrasos en la entrega de productos a un cliente de cuenta clave, el cual representa el 45% de las ventas totales de los seis puntos de ventas atendidos. Este importante cliente tiene 18 autoservicios dispersos en la ciudad de Guayaquil. El cliente elabora diariamente órdenes de pedido para cada una de las tiendas, por lo cual, se requiere manejar un nivel alto de agilidad para responder inmediatamente y ofrecer el nivel de servicio comprometido.

La distribución es operada de manera empírica por la empresa usando flota propia y transporte secundario. Actualmente no se consideran las ventanas horarias de cada local ni distancia que existe desde la empresa a cada punto de venta. Debido a esta problemática, se ha visto la necesidad de manejar una distribución eficiente mediante un ruteo óptimo para su flota vehicular. Se considerará las restricciones del proceso para ofrecer el nivel de servicio deseado, ya que diariamente se arman las rutas de una manera manual y usando el “sentido común”.

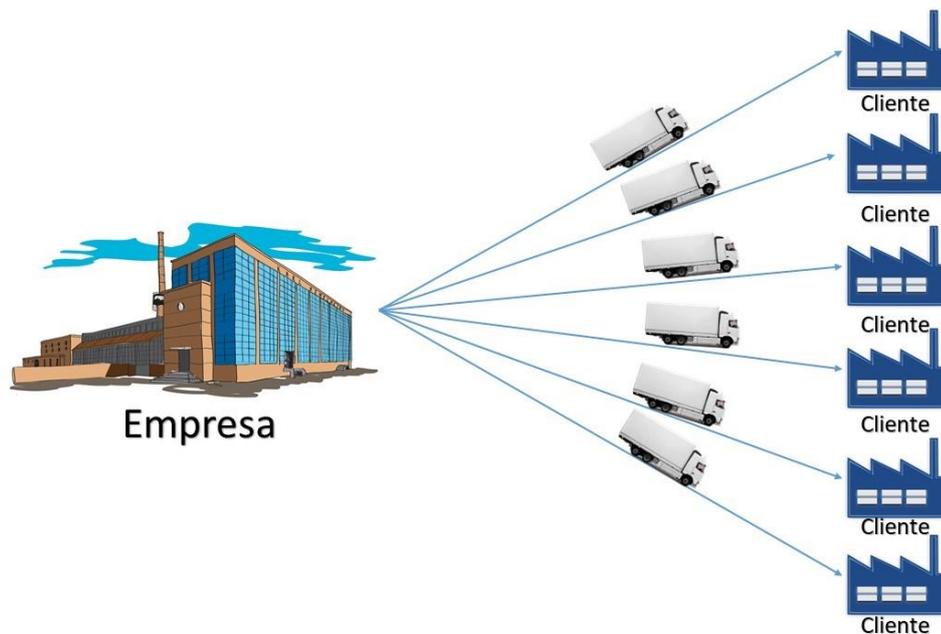
En la siguiente figura se muestra el planteamiento de problema mediante un diagrama causa y efecto donde muestra las principales causas del problema de retrasos en la entrega de este cliente cuenta clave. Uno de los factores relevantes es por la mano de obra ya que la empresa cuenta con personal administrativo con poca experiencia y poco capacitado en esta especialización de ruteo. Otro factor es por el inadecuado procedimiento y ausencia de software. Por tal motivo, no se puede establecer el número ideal de vehículos a usar para la ruta adecuada con su debido presupuesto financiero.

Figura 1 - Diagrama Causa y Efecto. Adaptado por Autor



El enfoque del estudio es basado en el transporte secundario, el cual radica en la entrega de los productos plásticos desde la empresa manufacturera hasta los puntos de entrega del cliente cuenta clave. En el siguiente gráfico se muestra como es el proceso actual de distribución.

Figura 2 - Flujo de Distribución. Adaptado por Autor



En el presente trabajo se desarrollará una metodología que permita a la empresa usarlo como una herramienta de trabajo para la adecuada planificación de rutas y evitar que se realice de una manera empírica como se lo ha manejado durante 50 años. Esta herramienta se basará en la situación actual de la organización usando la demanda promedio semanal de cada punto de venta, capacidades de los vehículos, coordenadas de ubicación de cada cliente y los tiempos de servicios de estos.

Esta herramienta beneficiará netamente a la empresa y sus divisiones departamentales para la toma de decisiones ya que integra las áreas de bodega de producto terminado, despachos y ventas. Este recurso por implementar permitirá conocer la manera óptima de distribuir los productos a los clientes al menor costo y tiempo posible. El VRPTW ha sido implementada en varias empresas de diferentes sectores industriales y nos permite evaluar el impacto positivo en la gestión de distribución, por ejemplo, en distribución de cervezas. Con respecto a otros proyectos, esta investigación será adaptada a la necesidad de la empresa y la industria plástica en el Ecuador, presentando un modelo matemático para la

optimización de la ruta de reparto para un cliente cuenta clave y desarrollando un algoritmo para la aplicación en la distribución total de la empresa.

La elaboración de esta investigación podrá satisfacer las necesidades reales en Guayaquil y en todo el Ecuador con productos de buena calidad, con transparencia en sus procesos y desarrollo de nuevas técnicas para mejoras en la cadena de valor, creando un impacto social y empresarial.

Esta investigación beneficiará a la empresa y a todos los miembros de la cadena de valor hasta el consumidor final, ya que la empresa tomará acciones mediante un modelo matemático para la optimización de la ruta de reparto, controlando los tiempos de entregas en el proceso de distribución.

Mediante esta metodología se podrá diseñar planes de acciones correctivos y preventivos para anticiparse a los posibles riesgos que se presenten al momento de distribuir, ya sea por cambios de última hora o recursos limitados, de tal manera que se evitará el aumento de costos de distribución que la empresa debe asumir; también se podrá demostrar si los activos de la empresa están sobre utilizados o subutilizados, y tomar medidas de mejorar el rendimiento sobre activos ROA.

La investigación promoverá a la reducción de costos de distribución innecesarios, como la mala utilización de la flota de vehículos y recursos, rutas ejecutadas ineficientemente, entre otras. Mediante la evaluación la empresa, se concentrará en el uso más eficiente de sus recursos. De esta manera, el cliente tendrá sus productos en el tiempo indicado con el mejor servicio.

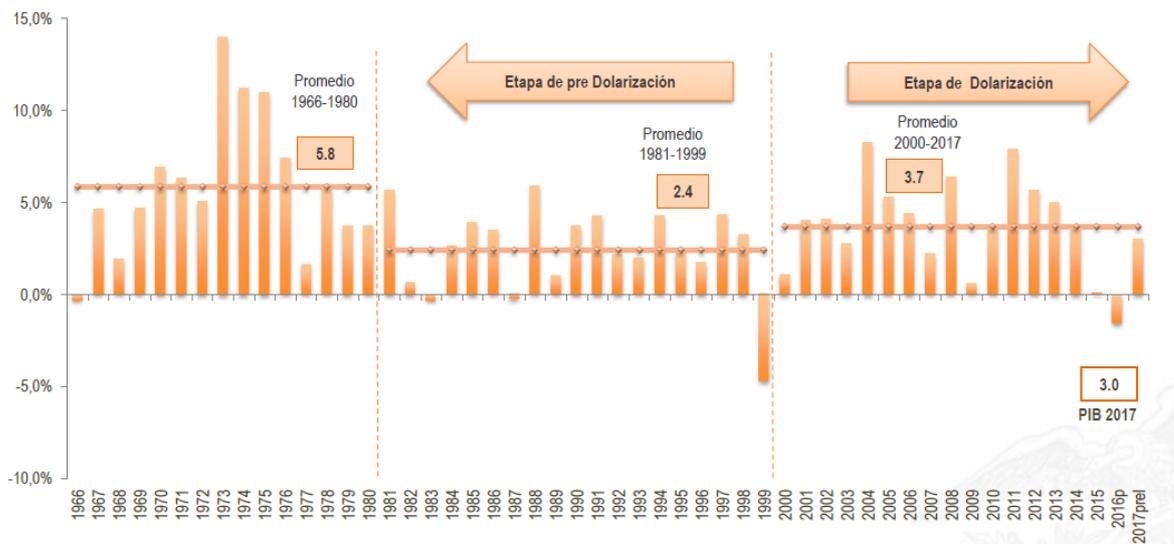
La metodología aportará al conocimiento empresarial dando a conocer la gestión diaria, mensual y anual sobre sus procesos de distribución de cada producto que se comercialice. Este trabajo abre puertas para continuar directa o indirectamente con otras investigaciones, ya que para una empresa todo se enfoca en la eficiencia de sus procesos. En resumen, este proyecto presentará un modelo que se podrá replicar en otras empresas del sector.

Contexto económico y social

Se analizarán datos reales obtenidos de la compañía, los cuales pertenece a la industria de plásticos, ya que según (Banco Central del Ecuador, 2018), en la provincia del Guayas, esta tiene una participación del 53%. El sector de fabricación de productos de plásticos cuenta con una participación de 0.49% del Producto Interno Bruto total, el mismo que ha aumentado 1% con respecto al 2015, según la Subgerencia de Análisis e Información de la Corporación Financiera Nacional.

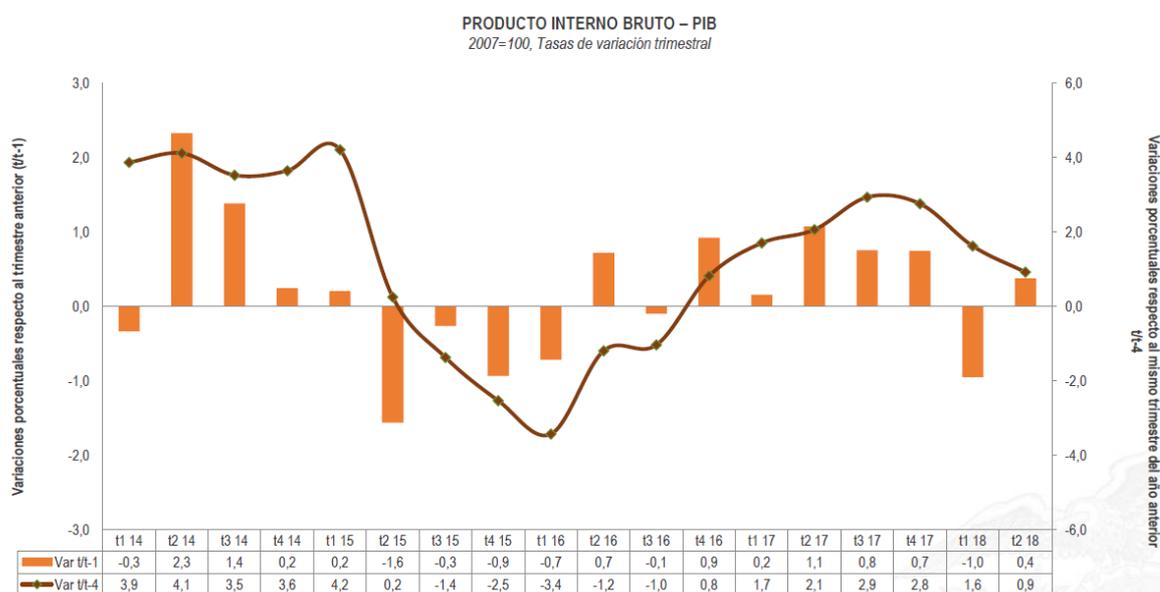
La tasa de variación promedio del Producto Interno Bruto (PIB) del Ecuador en el 2017 fue de 3%. Durante la etapa de dolarización, que fue desde el 2000, se ha registrado una variación de 3.7% en este periodo mientras que este porcentaje es superior al del período pre dolarización que fue desde 1981 al 1999, donde se registró 2.4%.

Figura 3 - Tasas de variación del PIB. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.



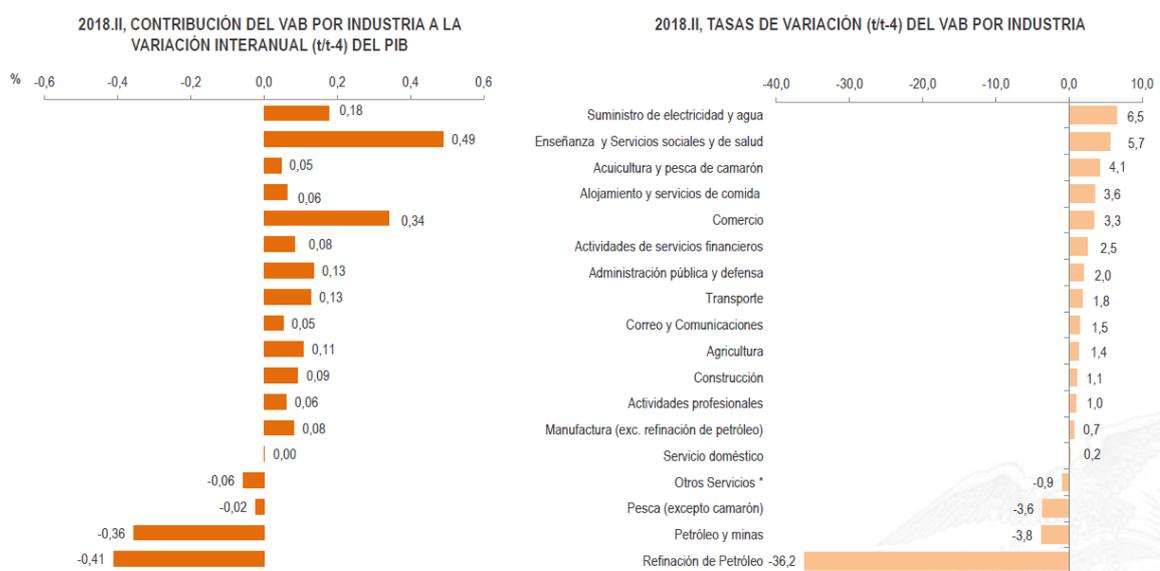
Según el (Banco Central del Ecuador, 2018) indica que, en el segundo trimestre de 2018, el PIB de Ecuador mostró un crecimiento de 0.9%; con respecto al segundo trimestre de 2017. En la siguiente gráfica se mostrará la variación trimestral de -0.4% con respecto del primer trimestre del 2018.

Figura 4 - Tasas de variación trimestral del PIB. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.



Las actividades que contribuyeron en la variación inter-anual (0.9%) fueron electricidad y agua con un 6.5%; enseñanza y servicios sociales y de salud con un 5.7%; acuicultura pesca de camarón con un 4.1%; alojamiento con un 3.6%; y, comercio con un 3.3%. La industria de manufactura obtuvo una variación del 0.7% con respecto al primer trimestre de 2018 y contribuye al crecimiento del PIB en 0.08.

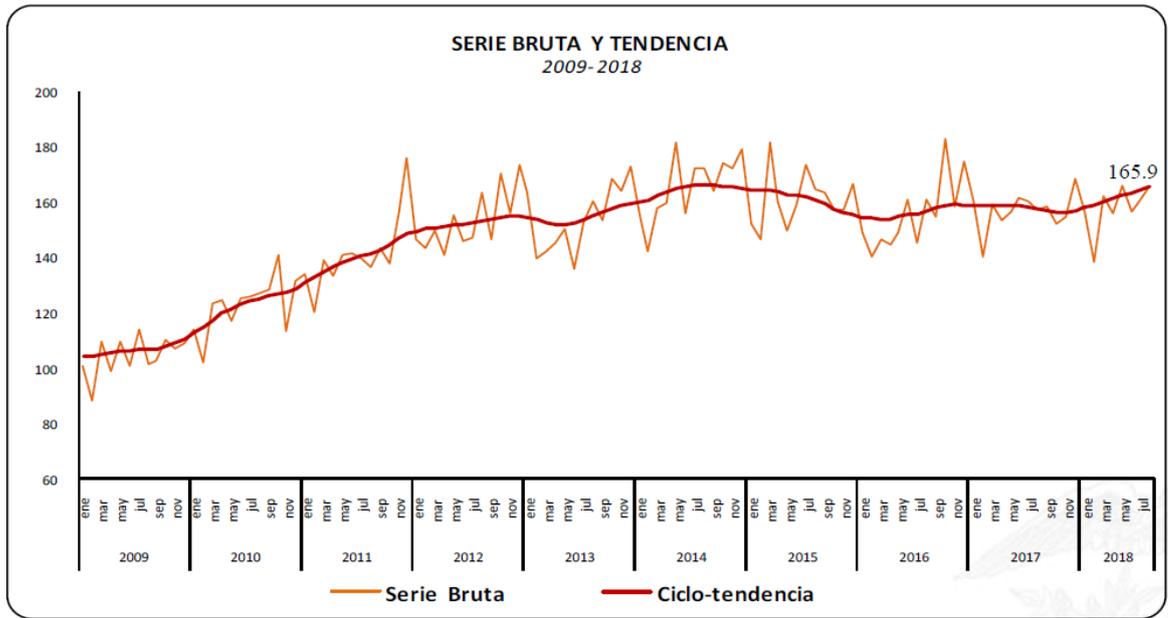
Figura 5 - Tasas de Variación y contribución por industria. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.



Según el (Banco Central del Ecuador, 2018) indica que el índice de la actividad económica coyuntural también llamado IDEAC se obtuvo 165.9 puntos en el mes de julio. En la siguiente gráfica se muestra un crecimiento sostenido en el periodo

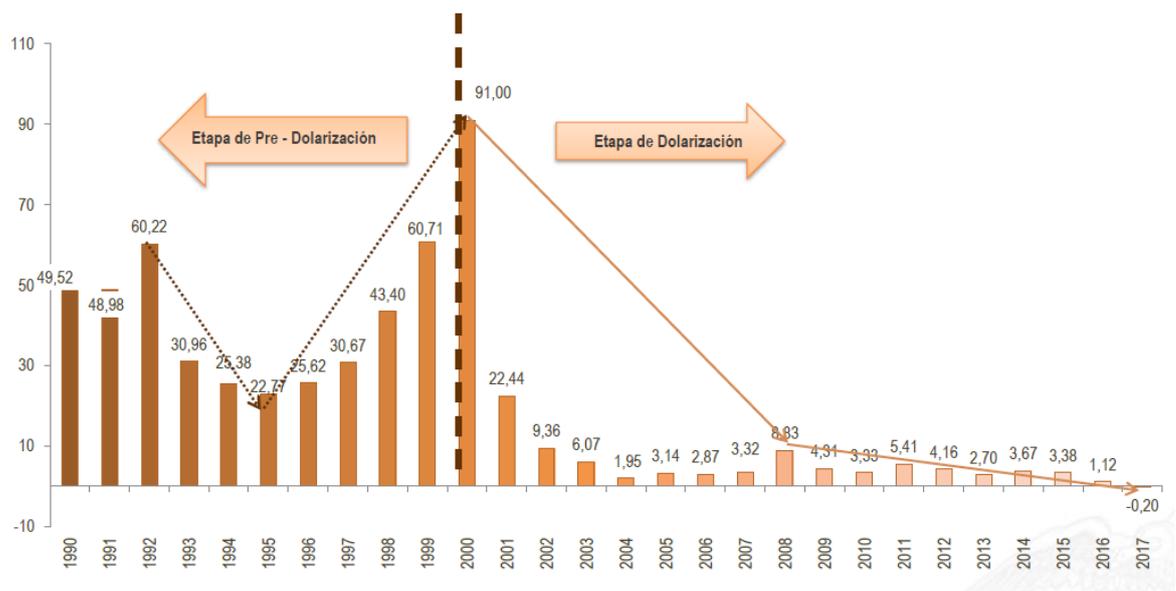
2010 al 2012 mientras q en el 2013 al 2014 se muestra un decrecimiento. Este índice se basa en 14 indicadores que representan el 70% de la producción real.

Figura 6 - Índice de la actividad económica coyuntural. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.



Ecuador presenta la menor inflación de los países analizados con un valor porcentual de -0.2%. Desde la etapa de dolarización, se ha presentado una reducción significativa y constante en los últimos 10 años.

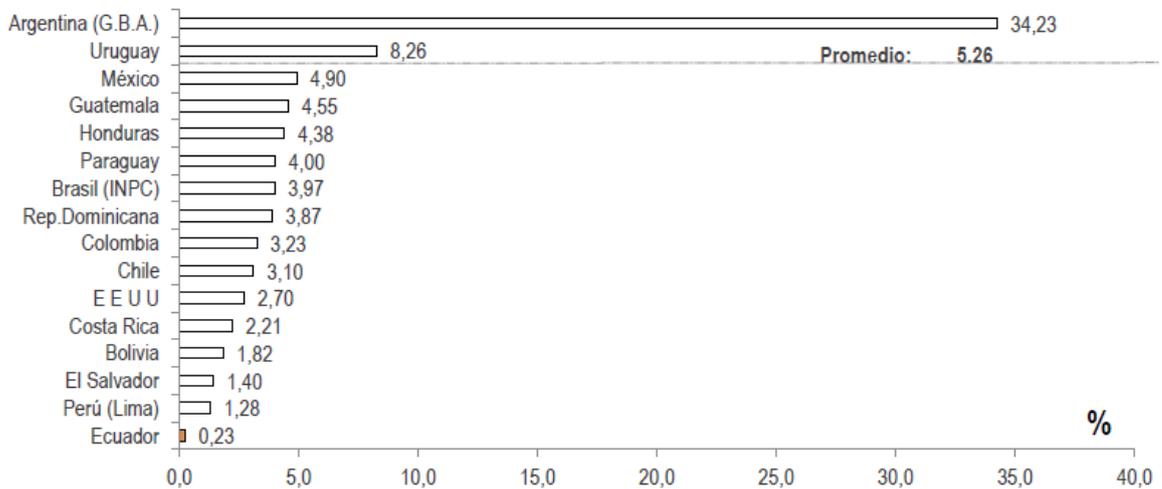
Figura 7 – Evolución de la inflación desde 1990 al 2017. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.



Según el (Banco Central del Ecuador, 2018) indica que, en octubre de 2018, Ecuador obtuvo 4.36% y se posicionó por debajo del promedio entre 16 países en

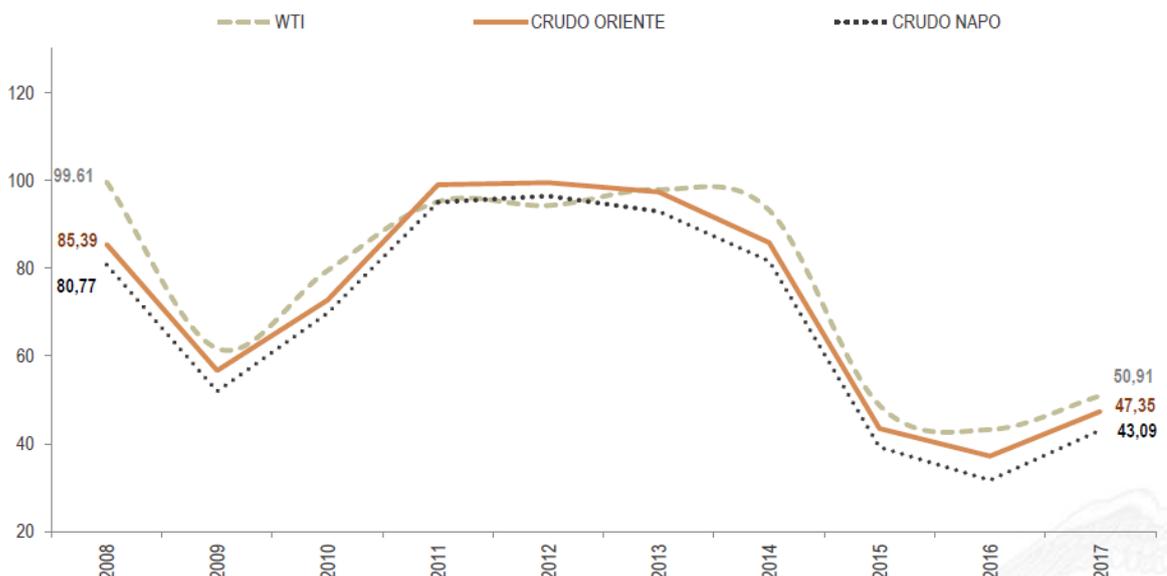
donde la mayoría pertenecen a América Latina. En la siguiente ilustración se mostrará las diferentes posiciones de países según su inflación.

Figura 8 - Inflación internacional. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.



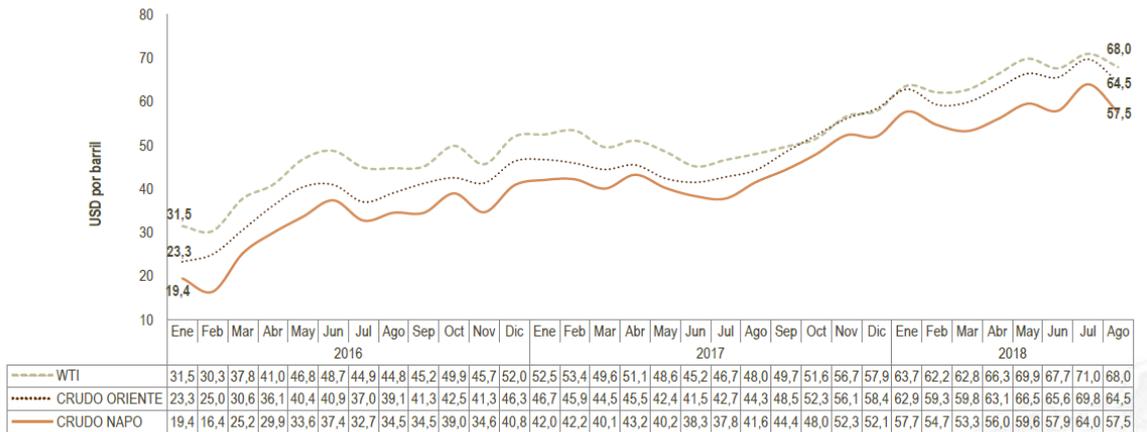
El precio de petróleo en los últimos tiempos ha tenido variaciones significativas por lo que en la siguiente figura se ilustrará como ha fluctuado el precio durante el tiempo. Entre el 2008 al 2009 se presenta una baja en el precio del crudo mediante el indicador West Texas Intermediate, Crudo Oriente y Napo. Desde el 2009 el precio de petróleo obtuvo un crecimiento positivo manteniéndose en más de \$95 por barril hasta el 2013. En el año 2014 el precio del crudo decreció a \$93.17, \$85.81 y \$81.58 según WTI, Crudo Oriente y Crudo Napo respectivamente.

Figura 9 - Precios de los Crudos Oriente, Napo y WTI en el periodo 2008 -2017. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.



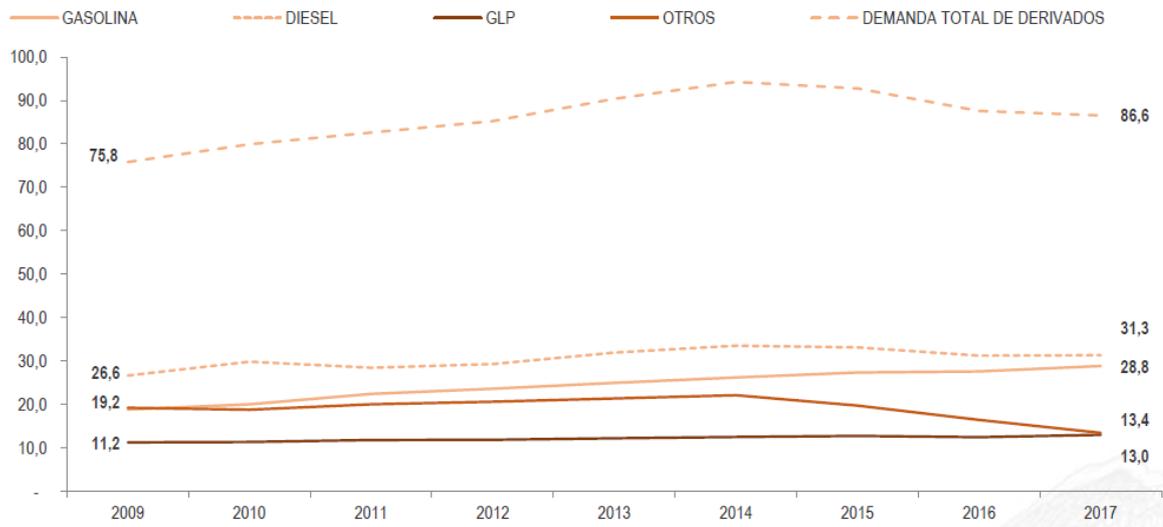
En agosto de 2018 el WTI cerró con un precio promedio por barril de \$68, mostrando un incremento del 41.6% con relación al mismo mes del año anterior. Los precios del crudo Oriente y Napo también presentaron un incremento de 45.5% y 38.5% con relación a agosto del 2017.

Figura 10 - Precio de los Crudos Oriente, Napo y WTI desde Enero del 2016 hasta Junio del 2018. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.



La demanda nacional de derivados muestra una tendencia creciente desde el 2008 hasta el 2014 mientras que en el 2015 al 2017 ha tenido una desaceleración. La materia prima para las empresas manufactureras de productos plásticos es derivada del petróleo por el cual el precio de este es proporcional al precio del barril, es decir, si el costo del crudo está a la baja, la materia prima para la producción de artículos plásticos también bajará.

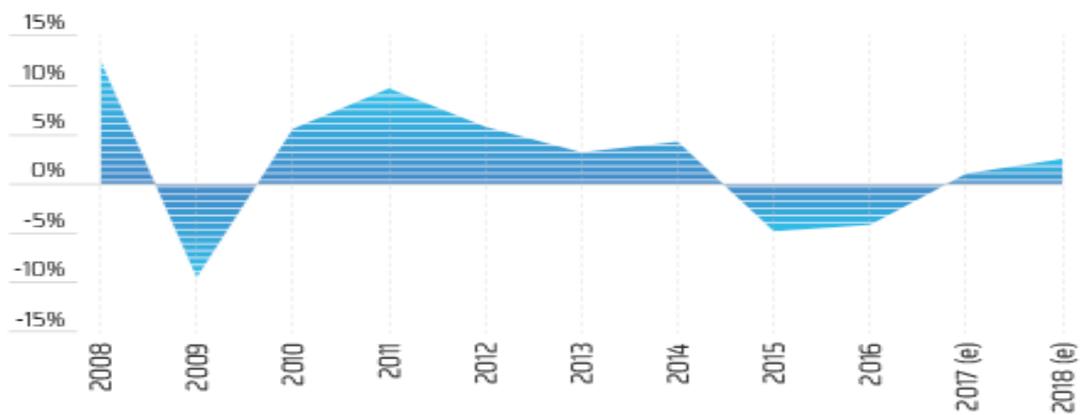
Figura 11 - Demanda de Derivados desde el 200 hasta 2017. Adaptado de: Banco Central del Ecuador. (2018). Presentación coyuntural.



Según (Ekos, 2018) la industria plástica en el Ecuador se ha convertido en un sector fundamental para la economía del país ya que cuenta con más de 500 empresas. En este sector dentro del país existen cinco procesos de manufacturación como extrusión, inyección, soplado, termoformado y rotomoldeo con los cuales se fabrican y se comercializan artículos para el hogar, industrial, construcción, fundas, laminas, envases entre otros.

La industria plástica es un sector que no solo ha portado en la economía, sino que también ha generado más de 15,000 empleos directos y 60,000 empleos indirectos. En la siguiente ilustración se mostrará las variaciones de exportaciones en FOB y toneladas en el periodo 2012 al 2014. Del 2010 al 2014 se presentó un crecimiento contante y para 2018 la tasa es de 2,5%.

Figura 12 - Crecimiento PIB del sector plásticos y cauchos. Adaptado por Banco Central del Ecuador



1.3. Objetivos

Objetivo General

Optimizar el proceso de distribución de una industria de plástico para sus clientes cuenta clave mediante el desarrollo de un modelo matemático basado en la herramienta GAMS.

Objetivos Específicos

Analizar el sector y la situación actual de la empresa, detallando los procesos del departamento de logística.

Analizar y reducir los costos de transportación de mercadería para los puntos de ventas del cliente cuenta clave, utilizando un ruteo óptimo mediante un modelo matemático en el periodo del 2019.

Implementar un modelo matemático que permita disminuir los tiempos de entrega en la distribución de productos plásticos y a su vez comparar esta propuesta implementada con la situación actual de la compañía.

1.4. Hipótesis

Al conocer las condiciones actuales del funcionamiento, control y evaluación de los procesos de distribución, se implementará un modelo matemático para la optimización de rutas de reparto en una empresa manufacturera y comercializadora de productos plásticos, en el cual mediante la aplicación de una metodología se minimizarán los costos de distribución y los tiempos de entrega de cada punto de venta del cliente cuenta clave.

1.5. Alcance

La siguiente investigación tiene un alcance descriptivo y correlacional, ya que empieza con una recopilación de datos para definir variables que influyen en los resultados del proyecto, terminando con un análisis de relación de dichas variables establecidas previamente. Con respecto al área de distribución, este trabajo se enfocará en el levantamiento de la información de latitudes y longitudes de cada uno de los 18 puntos de ventas del cliente cuenta clave en la ciudad de Guayaquil, que permitirá comparar la distancia y tiempo con la franja horaria de recepción de mercadería de cada una de las tiendas.

La investigación iniciará desde el análisis de situación actual de la empresa, culminando con el diseño del modelo matemático para la optimización de rutas de entregas para el cliente cuenta clave y la implementación de este en la empresa manufacturera y comercializadora de productos plásticos con un plazo de entrega al final del primer trimestre del año 2019.

El levantamiento de información se realizará en los departamentos que se involucran en la entrega de productos al cliente, como ventas y bodega de producto terminado. El alcance de este proyecto incluye el diseño de un modelo matemático para el ruteo óptimo para los 18 puntos de ventas.

Contexto institucional de la organización.

La empresa está ubicada en el Km 14.5 de la Vía a Daule, en la ciudad de Guayaquil. Actualmente se produce alrededor de 700 artículos a lo largo y ancho de 6 líneas de producto, tales como Industrial, Hogar, Escabela, Infantil, Barcelona y Eco, ya que se encuentra en constante innovaciones tecnológicas mejorando la calidad, productividad y eficiencia para competir de mejor manera en la industria

plástica y a su vez, esto le ha permitido posicionarse como una de las industrias de plástico más destacadas del país.

Localización de la empresa.

El mapa para determinar su localización se muestra en la siguiente gráfica con un punto color rojo.

Figura 13 - Localización de la Empresa. Adaptado de Google Maps



Descripción de actividades de la empresa.

Con el transcurso del tiempo se presentó otro nicho de mercado para la empresa, la comercialización de gavetas plásticas, abasteciendo a los principales sectores del país, tales como el agrícola, pesquero, floricultor y camaronero. Además, se han producido piezas determinadas para el uso de embalajes de producto en el momento de exportación de multinacionales, entre las cuales se pueden mencionar a Icesa, Mabe, Durex, Eltesa entre otras.

La línea hogar, se enfoca en productos plásticos para el uso dentro del hogar ofreciendo variedad para la cocina, lavandería, baños, dormitorios, incluyendo aquellos que se utilizan en patios y jardines

Figura 14 - Foto de los productos de la Empresa. Adaptado por Autor



Estructura organizacional.

El organigrama de la empresa comprende en dos pilares importantes, tales como área administrativa, y área operaciones.

En el área administrativa se encuentra el gerente administrativo liderando en la parte estratégica con el soporte táctico de secretaria de gerencia administrativa, contador general, jefe de crédito y cobranza, jefe de recursos humanos, jefe de seguridad y médico.

El contador general tiene a un auxiliar contable, un asistente del contador general y contador de costos, un ayudante contable, un ayudante contable de costos, un ayudante contable tributario y ayudante contable de inventario, bajo su responsabilidad.

El jefe de crédito y cobranza tiene dos personas bajo su responsabilidad con los cargos de asistente de crédito y un recaudador, con el objetivo de cumplir la recaudación proyectada, controlando en los tiempos y montos establecidos, minimizando el nivel de riesgo.

En la estructura operativa del jefe de recursos humanos consta de un asistente de recursos humanos y dos auxiliares de limpieza, tanto para el área administrativa y planta, manteniendo la contribución del departamento a un nivel apropiado a las necesidades de la empresa mediante el desarrollo un conjunto de talentos humanos con habilidades y motivación suficiente para conseguir los objetivos.

Por último, tenemos al jefe de seguridad e higiene en el trabajo y médico en salud e higiene ocupacional con la función de mantener niveles elevados de la calidad de vida dentro del ambiente laboral, garantizando la seguridad y precautelar la vida misma del personal por medio de la prevención de accidentes y enfermedades para reducir los costos operativos de producción.

En el área de operaciones se encuentra el gerente de operaciones guiando al jefe de producción, jefe de materia prima, jefe técnico, jefe de producto terminado, jefe comercial, jefe de calidad, jefe de importaciones, jefe de marketing, jefe de sistemas, analista de ventas, analista de devoluciones y facturador. El objetivo es lograr la eficiencia en el proceso; incrementando el índice de producción y productividad a través de una eficaz coordinación; garantizando el control de la calidad en los proyectos, programas y procesos desarrollados y ejecutados por la empresa.

En la parte operativa del departamento de producción se encuentra un coordinador, un analista, un asistente, cuatro pigmentador, cuatro molineros, cuarenta y cuatro maquinistas. Mientras que el jefe de materia prima se encarga de un montacarguista y un pesador de pigmento.

El departamento técnico se encarga del correcto funcionamiento de máquinas y equipos auxiliares para una eficiente producción. El jefe técnico administra a un asistente técnico, cuatro mecánicos ajustadores, dos electricistas, un mecánico tornero, un mecánico matricero, un mecánico soldador, y jefe bodegas repuestos, el mismo que tiene el soporte de un asistente.

El jefe de bodega de producto terminado administra a un chofer, dos supervisores de despachos, tres asistentes y cuarenta ayudantes, con el fin de administrar y ejecutar las funciones de almacenamiento, despacho y gestión de transporte de los productos que comercializa la compañía. El objetivo del

departamento es coordinar la entrega de la mercadería a los clientes para que se sientan satisfecho y a su vez, cumplir con las políticas de la empresa.

El jefe de ventas lidera el departamento con la ayuda de un coordinador del canal moderno, otro para el canal tradicional y otro para el canal industrial con sus respectivos vendedores con el fin de cumplir los montos establecidos en la planificación.

El jefe de marketing busca promocionar estratégicamente las líneas hogar, escabela, infantil e industrial de la empresa, para lograr una mayor penetración en el mercado y posicionamiento de marca, mediante la ayuda de un asistente y tres mercaderistas.

El objetivo del jefe de calidad con el soporte de un inspector de calidad es controlar el proceso productivo; desde materias primas, hasta el producto terminado (esto incluye bodegas, mantenimiento, quejas y reclamos, satisfacción del cliente).

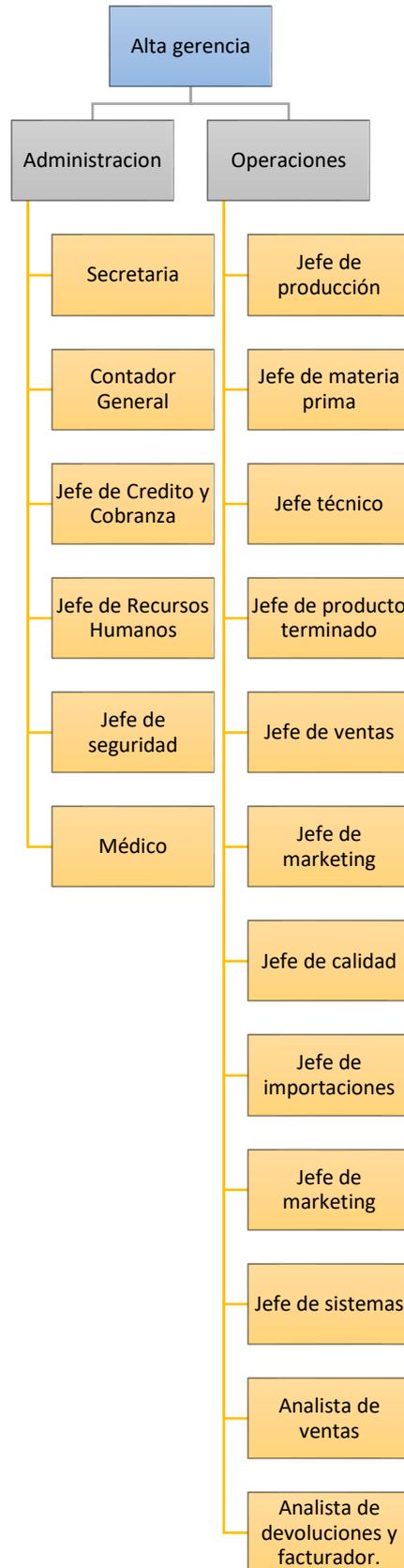


Figura 15 – Organigrama de la Empresa. Adaptado por Autor

En la tabla 1 que se muestra a continuación, se encuentra las coordenadas de latitudes y longitudes de las ubicaciones de la empresa y los 18 puntos de venta del cliente cuenta clave. Se realizó el puntillero mediante la herramienta de Google Maps donde se identificó la ubicación exacta de punto de venta para obtener la latitud y longitud.

Tabla 1 - Latitudes y Longitudes de Empresa y Puntos de Ventas

Código	Ubicación	Latitud (y)	Longitud (x)
0	Empresa	-2,076847	-79,940744
1	Riocentro Ceibos	-2,175918	-79,944103
2	mi comisariato	-2,181814	-79,995917
3	Mi Comisariato - Ceibos 4 1/2	-2,159332	-79,928055
4	Hiper Norte	-2,128015	-79,906730
5	Riocentro El Dorado	-2,054526	-79,873828
6	Hipermarket Vergeles	-2,093280	-79,911283
7	Riocentro Sur	-2,241753	-79,895083
8	Riocentro Entre Ríos	-2,141775	-79,864535
9	Hipermarket Eloy Alfaro	-2,206544	-79,884458
10	Mi Comisariato - Cantón Durán	-2,168549	-79,840972
11	Paseo Shopping Durán	-2,178438	-79,825524
12	Ferrisariato Alborada	-2,140587	-79,897142
13	Ferrisariato Orellana	-2,168713	-79,896442
14	Mi Comisariato - Garzota	-2,144440	-79,885420
15	Mi Comisariato Américas	-2,180861	-79,891806
16	C. C. Hipermarket	-2,094215	-79,937200
17	Paseo Shopping	-2,114754	-79,933611
18	Hiper Market - Albán Borja	-2,170920	-79,916756

Código, es el número que se ha les ha asignado a las diferentes ubicaciones; donde la empresa destino esta denominado como 0 y los clientes del 1 al 18. Latitud y Longitud corresponde a las coordenadas X e Y de cada ubicación descrita anteriormente que se obtuvieron para calcular la distancias entre ellos.

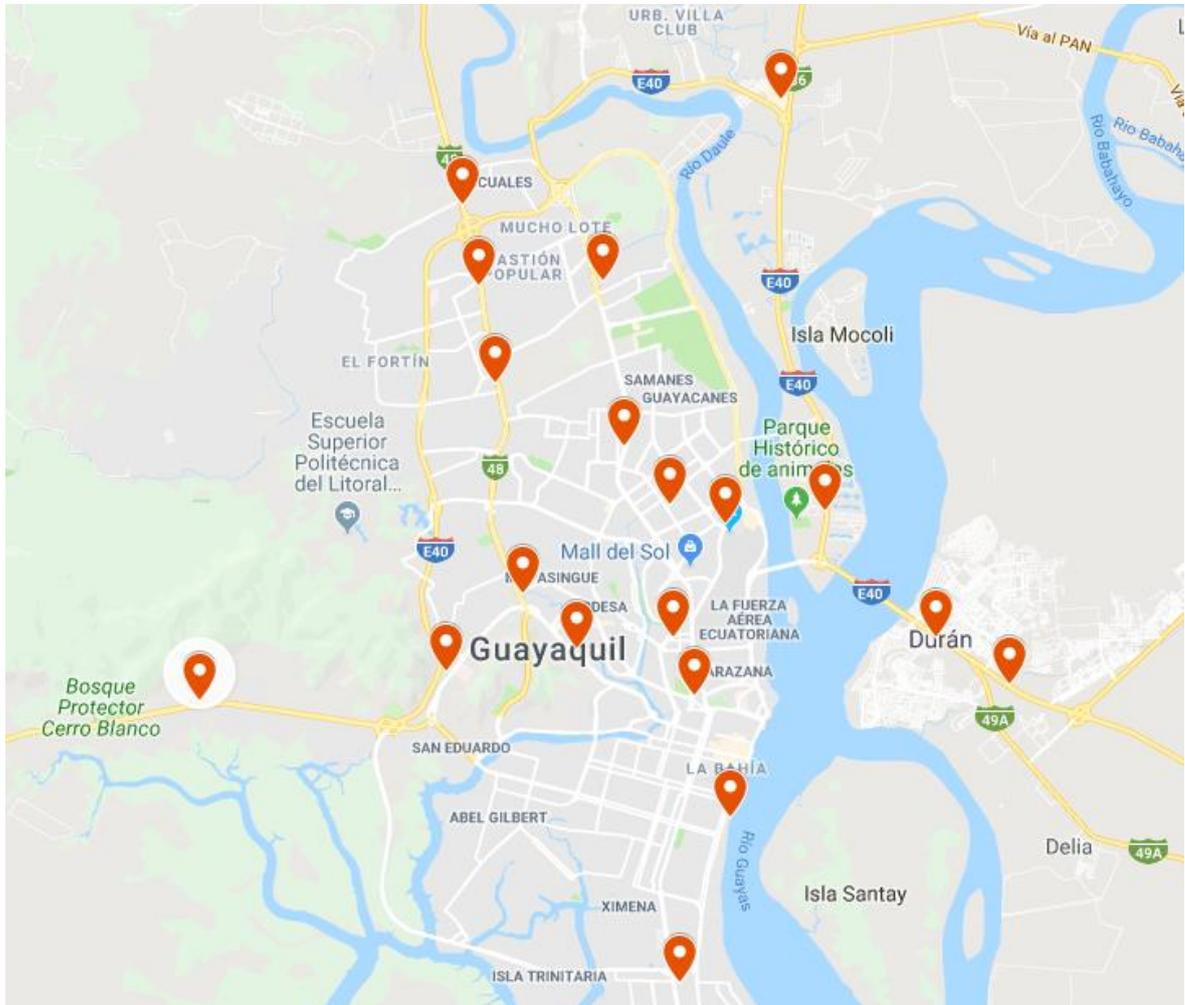
En la tabla 2 que se muestra a continuación, se encuentra las ventanas de atención de los clientes y el tiempo de servicio de estos, teniendo en cuenta una holgura para cualquier imprevisto. La política de la empresa es respetar la franja horaria ya que uno de los objetivos de la organización es aumentar el nivel de servicio.

Tabla 2 - Franja Horario de Empresa y Puntos de Venta con sus respectivos tiempos de servicio

Ubicación	Comienzo Franja Horario	Termino Franja Horario	Tiempo de Servicio
Empresa	7:00:00	18:00:00	0:00:00
Riocentro Ceibos	9:00:00	17:00:00	1:30:00
mi comisariato	9:00:00	17:00:00	0:30:00
Mi Comisariato - Ceibos 4 1/2	9:00:00	17:00:00	2:00:00
Hiper Norte	9:00:00	17:00:00	2:00:00
Riocentro El Dorado	9:00:00	17:00:00	1:30:00
Hipermarket Vergeles	9:00:00	17:00:00	1:30:00
Riocentro Sur	9:00:00	17:00:00	1:30:00
Riocentro Entre Ríos	9:00:00	17:00:00	1:30:00
Hipermarket Eloy Alfaro	9:00:00	17:00:00	1:30:00
Mi Comisariato - Cantón Durán	9:00:00	17:00:00	2:00:00
Paseo Shopping Durán	9:00:00	17:00:00	1:30:00
Ferrisariato Alborada	9:00:00	17:00:00	1:30:00
Ferrisariato Orellana	9:00:00	17:00:00	1:30:00
Mi Comisariato - Garzota	9:00:00	17:00:00	1:30:00
Mi Comisariato Américas	9:00:00	17:00:00	2:00:00
C. C. Hipermarket	9:00:00	17:00:00	2:00:00
Paseo Shopping	9:00:00	17:00:00	2:00:00
Hiper Market - Albán Borja	9:00:00	17:00:00	2:00:00

En la siguiente imagen se muestra la distribución geográfica de la ubicación de la empresa y los 18 puntos de ventas del cliente cuenta clave.

Figura 16 - Ubicaciones de Empresa y Puntos de Ventas. Adaptado por Google Maps



Una vez obtenido las ubicaciones de los clientes y empresa mediante las coordenadas, se usa Bing Maps para obtener las distancias aproximadas entre sí. En la siguiente tabla 3 se muestra los km de distancia de cada uno de los puntos.

Tabla 3 - Distancias entre Clientes y Empresa en Km

Km	CD	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
CD	0	12	23	9	10	11	6	26	18	24	21	22	16	18	15	15	3	6	11
C1	12	0	11	3	9	23	12	12	15	10	17	19	9	7	11	8	10	8	4
C2	18	12	0	10	18	28	23	16	22	14	24	26	18	14	19	15	17	15	11
C3	12	6	14	0	7	24	11	13	12	11	15	17	7	5	8	6	10	7	2
C4	10	12	22	6	0	15	4	14	9	11	11	13	2	5	4	8	7	5	6
C5	14	24	35	22	16	0	13	24	11	22	15	17	18	18	17	19	16	19	23
C6	6	16	27	9	4	11	0	18	21	15	14	16	6	9	17	12	7	6	10
C7	27	20	21	15	16	27	23	0	15	5	18	19	17	11	15	9	26	24	13
C8	21	19	26	14	11	12	21	14	0	12	5	7	8	8	7	9	22	18	13
C9	24	17	17	9	11	21	18	5	10	0	12	14	12	6	10	4	16	14	8
C10	22	21	27	15	12	16	16	15	5	13	0	2	9	9	8	10	23	15	15
C11	29	27	34	22	19	23	23	22	12	20	7	0	16	16	15	16	30	22	21
C12	17	11	21	6	2	17	6	12	8	10	10	12	0	4	2	5	9	7	6
C13	20	13	18	4	5	18	10	10	7	7	9	11	4	0	5	2	12	10	5
C14	16	13	26	9	4	17	9	14	6	12	8	10	2	4	0	5	17	12	8
C15	21	14	19	7	7	18	15	8	7	5	9	11	6	2	7	0	14	12	6
C16	2	12	23	8	9	13	8	28	20	26	22	24	17	20	16	14	0	5	10
C18	4	9	20	7	7	15	10	21	22	19	25	26	8	11	19	13	2	0	9
C18	12	10	15	3	6	23	11	10	10	8	13	14	7	3	8	4	10	8	0

También se procede al cálculo del tiempo por la distancia de cada punto entre sí. En la siguiente tabla 4 se muestra los minutos de distancia de cada uno de los puntos.

Tabla 4 – Tiempo entre Clientes y Empresa en Minutos

Min	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
A	0:00	0:19	0:23	0:16	0:17	0:15	0:10	0:34	0:21	0:27	0:19	0:26	0:16	0:22	0:13	0:20	0:07	0:08	0:21
B	0:17	0:00	0:12	0:06	0:20	0:27	0:21	0:21	0:33	0:15	0:23	0:30	0:21	0:16	0:23	0:17	0:15	0:14	0:08
C	0:24	0:11	0:00	0:17	0:29	0:34	0:29	0:26	0:41	0:20	0:28	0:35	0:29	0:25	0:30	0:22	0:23	0:22	0:18
D	0:16	0:04	0:17	0:00	0:14	0:27	0:17	0:24	0:34	0:18	0:21	0:28	0:15	0:11	0:17	0:13	0:14	0:08	0:05
E	0:17	0:16	0:25	0:13	0:00	0:19	0:09	0:29	0:25	0:22	0:17	0:24	0:06	0:10	0:10	0:14	0:19	0:13	0:12
F	0:11	0:26	0:31	0:25	0:17	0:00	0:10	0:32	0:10	0:25	0:14	0:20	0:21	0:20	0:18	0:18	0:16	0:17	0:24
G	0:09	0:22	0:29	0:18	0:09	0:12	0:00	0:33	0:18	0:26	0:18	0:25	0:14	0:18	0:12	0:20	0:14	0:11	0:21
H	0:29	0:18	0:25	0:20	0:24	0:27	0:31	0:00	0:36	0:10	0:18	0:25	0:22	0:16	0:20	0:12	0:31	0:28	0:16
I	0:17	0:21	0:29	0:17	0:17	0:12	0:19	0:22	0:00	0:15	0:04	0:11	0:12	0:11	0:08	0:09	0:22	0:23	0:15
J	0:24	0:14	0:21	0:16	0:20	0:22	0:26	0:12	0:31	0:00	0:14	0:21	0:17	0:11	0:16	0:08	0:27	0:24	0:12
K	0:18	0:22	0:30	0:18	0:18	0:12	0:20	0:24	0:21	0:16	0:00	0:07	0:13	0:12	0:09	0:10	0:24	0:24	0:16
L	0:19	0:23	0:31	0:19	0:19	0:14	0:21	0:25	0:23	0:18	0:03	0:00	0:14	0:13	0:11	0:11	0:25	0:26	0:17
M	0:16	0:18	0:26	0:14	0:06	0:21	0:13	0:27	0:30	0:20	0:13	0:20	0:00	0:08	0:05	0:12	0:21	0:15	0:14
N	0:18	0:14	0:26	0:10	0:10	0:20	0:18	0:20	0:29	0:13	0:12	0:19	0:08	0:00	0:08	0:05	0:22	0:16	0:08
O	0:13	0:20	0:28	0:16	0:09	0:18	0:14	0:24	0:26	0:17	0:09	0:16	0:04	0:10	0:00	0:10	0:18	0:17	0:16
P	0:22	0:12	0:23	0:08	0:14	0:20	0:22	0:16	0:28	0:09	0:11	0:18	0:11	0:04	0:11	0:00	0:22	0:16	0:07
Q	0:08	0:18	0:24	0:14	0:18	0:18	0:12	0:37	0:24	0:30	0:22	0:29	0:19	0:23	0:16	0:23	0:00	0:06	0:19
R	0:08	0:13	0:20	0:08	0:12	0:19	0:10	0:33	0:26	0:26	0:24	0:30	0:17	0:17	0:18	0:20	0:06	0:00	0:13
S	0:19	0:08	0:20	0:04	0:13	0:24	0:21	0:19	0:33	0:12	0:16	0:23	0:13	0:09	0:16	0:09	0:18	0:12	0:00

En la siguiente tabla 5 se muestra los tipos de vehículos que dispone la empresa con sus respectivos costos fijos y variables, también se indican las capacidades de cada uno de ellos.

Tabla 5 - Costo de Distribución y Capacidades

Vehículo	Capacidad	Costo Fijo por Viaje	Costo Variable Distancia
HINO 5 TONS	\$3500	\$119	\$0.17

Los vehículos disponen con sus respectivos choferes y ayudantes, los cuales están disponibles para trabajar desde las 07h00 hasta 18h00. Los vehículos están obligados a retornar a las instalaciones de la empresa luego de haber entregado la mercadería a los puntos de ventas. La distribución es operada de manera empírica por la empresa usando flota propia y transporte secundario. La empresa cuenta con 8 vehículos disponibles, cinco de ellos son propios y la diferencia es de un proveedor que presta sus servicios. El flete del carro del proveedor tiene un costo de \$60 por un flete a cada punto.

En la siguiente tabla 6 que se muestra a continuación, se encuentra la demanda semanal de cada uno de los puntos de ventas del cliente cuenta clave. Se lo visualiza en valor monetario por política de la empresa ya que los productos son de plásticos, lo que significa son muy livianos y voluminosos. Cada punto de venta solicita varios productos, desde el más barato al más costoso, mientras que no está como opción excluir ciertos artículos por cubrir el espacio total del camión o aumentar el valor de facturación.

Tabla 6 – Demanda Promedio Semanal de Puntos de Venta

Ubicaciones	Demanda
Riocentro Ceibos	\$ 1.028,65
Vía a la Costa	\$ 793,22
Mi Comisariato - Ceibos 4 1/2	\$ 248,41
Hiper Norte	\$ 2.381,68
Riocentro El Dorado	\$ 1.755,72
Hipermarket Vergeles	\$ 638,06
Riocentro Sur	\$ 1.228,03
Riocentro Puntilla	\$ 914,06
Hipermarket Eloy Alfaro	\$ 1.042,42
Mi Comisariato - Cantón Durán	\$ 503,34
Paseo Shopping Durán	\$ 610,10
Ferrisariato Alborada	\$ 606,00
Ferrisariato Orellana	\$ 771,97
Mi Comisariato - Garzota	\$ 308,64
Mi Comisariato Américas	\$ 205,68
Hiper Avena	\$ 429,97
Hiper Daule	\$ 753,20
Hiper Market - Albán Borja	\$ 587,57

En la siguiente imagen se muestra los cálculos respectivos para los costos fijos y variables del vehículo a utilizar. Estos valores se tomarán para el cálculo de la ruta optima optimizando los costos de distribución y aumentando el nivel de servicio.

Figura 17 - Detalle de Costos de Camión de la Empresa. Adaptado por Autor

COSTOS FIJOS		TIPO DE CAMIÓN	
		Hino 5 Ton	
Chasis	Compra	\$	35.000
(a) Chasis + Furgon	al año [V.U. 5 años]	\$	8.200
(b) Matrícula	al año (2,8%)	\$	980
(c) Seguro	al año (4%)	\$	1.640
Baterías	compra	\$	85
(d) Batería	al año [V.U. 1 año]	\$	194
Sueldo Chofer	mensual	\$	935
(e) Sueldo Chofer + Ayudar	al año	\$	17.952
(f) Lavado	26 lavados al año	\$	520
(g) Mantenimiento anual	4% chasis + furgon + Th	\$	1.640
Costo anual (a+b+c+d+e+f+g)		\$	31.126
Costo diario (a+b+c+d+e+f+g)		\$	119

COSTOS VARIABLES		Hino 5 Ton	
Diesel/Gasolina	U\$ /gln		1,04
Combustible	km/gln		18,00
(h) Costo combustible	por km		0,06
Llantas [6 llantas]	Compra	\$	1.495
Rendimiento promedio llanta	km		80.000
(i) Costo llantas	por km		0,02
Aceite y Filtro	usd		35,00
Tiempo cambio	km		5000,00
(j) Costo aceite y filtro	km		0,01
Mantenimiento variable	0.8% Ch + Cm		328,00
(k) Mantenimiento variable	km [/120.000]		0,00
(l) Peajes	km		0,02
(m) Viáticos	km		0,05
(n) Otros			0,01
Costo por km (h+i+j+k+l+m)			0,17

Los costos fijos de estos vehículos, marca Hino de 5 toneladas, se incluyó la compra y mantenimiento del chasis y furgón. El uso diario del vehículo tiene un costo fijo de \$119, esto quiere decir que, el camión se lo use o no ya tiene un costo fijo por el hecho de poseerlo.

La distribución se maneja de manera empírica por la empresa usando los cinco vehículos propios y alquilando tres camiones con un proveedor. Actualmente las entregas de todos los locales de este cliente cuenta clave es distribuida en 8 rutas que toma un tiempo de 453 minutos y se recorre 692.8 kilómetros. En la siguiente

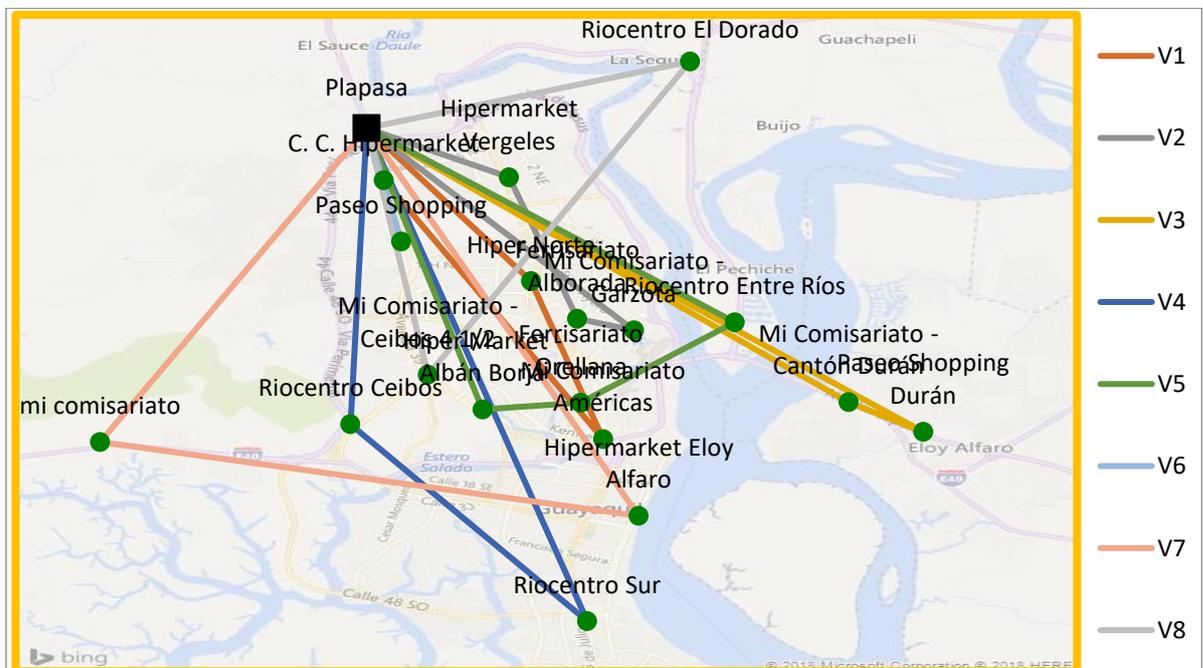
tabla se muestra el detalle de la distribución actual recorrido en kilómetros y los minutos que toma el recorrido de todas las ocho rutas.

Tabla 7 - Kilómetros y minutos de la distribución actual

#	Km	Minutos
Ruta 1	92,4	1:21:00
Ruta 2	61,7	0:52:30
Ruta 3	102,1	0:45:00
Ruta 4	88,1	1:04:00
Ruta 5	129,5	1:16:00
Ruta 6	12,9	0:12:00
Ruta 7	124,3	1:06:30
Ruta 8	81,8	0:56:30
Total	692,8	7:33:30

La distribución es operada empíricamente significa un costo de \$1.951,10 ya que se despacha dos veces por semana. Si este valor semanal lo llevamos al año, quiere decir que, el valor anual de distribución actual de la empresa es de \$101.457,37. En la siguiente imagen se muestra gráficamente como es la distribución actual.

Figura 18 - Ruteo actual manejado empíricamente. Adaptado por Autor



El detalle de los costos anteriormente mencionado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8 - Detalle de costos fijos y variables de la distribución actual

#	Costo Fijo	Costo Variable	Costo
Ruta 1	\$ 119,00	\$ 15,71	\$ 134,71
Ruta 2	\$ 119,00	\$ 10,50	\$ 129,50
Ruta 3	\$ 119,00	\$ 17,36	\$ 136,36
Ruta 4	\$ 119,00	\$ 14,98	\$ 133,98
Ruta 5	\$ 119,00	\$ 22,01	\$ 141,01
Ruta 6	\$ -	\$ 60,00	\$ 60,00
Ruta 7	\$ -	\$ 120,00	\$ 120,00
Ruta 8	\$ -	\$ 120,00	\$ 120,00
Total			\$ 975,55

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

La investigación de operaciones es muy común usarla para la toma de decisión ya que usa métodos cuantitativos. Hay problemas que tienen muchas variables de decisión y el costo computacional se dificulta. Los matemáticos hoy en día tratan de buscar una solución exacta pero debido a la complejidad de los problemas, se usa métodos heurísticos para la solución. Uno de los métodos más comunes de investigación de operaciones es la programación lineal. El algoritmo más conocido para la resolución de programas lineales es el método SIMPLEX, pero muchos usuarios suelen sacrificar la exactitud del resultado por el tiempo de resolución del problema. La mayoría de los problemas aterrizados a la realidad se los considera como problemas NP – Duros, ya que el problema puede reducirse en tiempo polinomial todos los problemas NP, y por esta razón se usan métodos heurísticos.

Estas herramientas de la investigación de operaciones han existido en la antigüedad, específicamente en épocas de guerras, donde se usaban modelos matemáticos para la toma de decisiones y ser óptimos en las acciones que se efectuaban. Anteriormente se usaban estos modelos para la distribución de armas bélicas mientras que ahora ese concepto se lo ha adaptado en diferentes industrias desde la recolección de basura hasta la distribución de productos masivos a nivel mundial. Este tipo de problemas ha evolucionado desde su historia hasta la adaptación en las situaciones actuales para dar soluciones optimas en la toma decisiones.

El problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo, también conocido como Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW), consiste en determinar la ruta de entrega optima en un intervalo de tiempo determinado. Según el autor (Valles Romero, 2013) el VRPTW considera una ventana de tiempo asociada a cada cliente, es decir, se establece un horario de servicio donde se considera el tiempo de desplazamiento del punto de partida al cliente y el tiempo de demora o servicio de cada uno de estos clientes. En el libro denominado “Técnicas para ahorrar costos logísticos.” (Hernández Barrueco, 2017) , el autor indica que el modelo Vehicle Routing Problem (VRP) presenta diferentes variantes como el CVRP (la capacidad es limitada), VRPSTW (con ventanas de horario con posibles

incumplimiento de entrega), VRPMD (con destinos móviles), VRP periódico (con fecha de entrega fijas), VRP estocástico (con entregas al azar), VRP abierto (cuando el vehículo no tiene que regresar al origen), VRPPD (Con entrega y recepción al mismo tiempo), VRPHE (con flotas heterogéneas) y VRPTW (con horarios de entrega).

El Vehicle Routing Problem with Time Windows es una extensión del problema de ruteo de vehículo (VRP) considerando los tiempos de servicio, de atención y cierre de cada cliente con el fin de minimizar el número de carros a usar y la distancia de viaje para atender cada cliente. La restricción principal de este problema es atender al cliente después de la hora de apertura de los clientes y antes de la clausura de atención del cliente, considerando que no se debe exceder el tiempo de ruta del vehículo ni la capacidad de este. La sumatoria de todos los tiempos, es decir, el tiempo de servicio, el tiempo de espera y el tiempo de viaje del vehículo. El vehículo tiene una capacidad establecida y la demanda no debe excederla.

Según (Dorigo & Stützle, 2004), los autores del libro "Ant Colony Optimization", indican que el VRPTW tiene dos objetivos: 1) minimizar el número de uso de vehículos y 2) minimizar el tiempo total del viaje o ruta. La función principal de la resolución de este problema va a ser siempre buscar el menor número posible de vehículos usados que el tiempo total del viaje. "Savelsbergh (1985) demostró que encontrando una solución factible al problema de programación de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) es un problema NP" (Chambers, 2019).

El problema de diseño de rutas de reparto con ventanas de tiempo es complejo ya que depende de un horario de atención o el tiempo de mercadería en tránsito. "La ventana de tiempo puede ser dura (hard time window) o blanda (soft time window)" (Robusta & Galván, 2005). Es un horario duro cuando el vehículo llega antes de la hora de atención, este vehículo tendrá que esperar hasta que esté listo, sin embargo, no es permitido llegar tarde. Es blanda cuando los tiempos son flexibles, pero esto es penalizado al nivel de servicio. "Este modelo presenta dos particularidades que lo hacen apropiado para el análisis de la logística urbana"(Cortés Achedad & Onieva Giménez, 2011). El primero consiste que un solo vehículo debe considerar la demanda de cada cliente como prioridad en vez de la capacidad. La segunda particularidad consiste en que la mayor restricción es la franja horaria de atención ya que dependerá de la hora de arribo del vehículo.

El modelo matemático que representa el problema es el siguiente:

Índices

$i =$ cliente origen

$j =$ cliente destino

$k =$ vehiculos

Parámetros

$c_{ij} =$ Costo en transporte de i a j

$[a_i, b_i] =$ Franja horario donde a_i es la hora de apertura y b_i es la hora de clausura

$W_{ik} =$ Tiempo de servicio del cliente i

$W_{jk} =$ Franja horaria de atencion del cliente j

$t_{ij} =$ Tiempo de traslado de i a j

$d_i =$ Demanda semanal

$C =$ Capacidad del vehiculo

Variables de decisión

$Z =$ La funcion objetivo del modelo matematico

X_{ijk}

= Variable binaria que toma el valor de 1 cuando k es designado para visitar de i a j

Función Objetivo

$$1) \min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} X_{ijk}$$

Restricciones

$$2) \sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ijk} = 1 ; \forall i \in N$$

$$3) \sum_{j \in \Delta^+(0)} X_{0jk} = 1 ; \forall k \in N$$

$$4) \sum_{i \in \Delta^-(j)} X_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} X_{ijk} = 0 ; \forall k \in K, i \in N$$

$$5) \sum_{i \in \Delta^-(n+1)} X_{in+1k} = 1 ; \forall k \in N$$

$$6) W_{ik} + S_i + t_{ij} - W_{jk} \leq (1 - X_{ijk})M_{ij} ; \forall k \in K, (i,j) \in N$$

$$7) a_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ijk} \leq W_{jk} \leq b_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ijk} ; \forall k \in K, i \in N$$

$$8) a_i \leq W_{ik} \leq b_i \quad ; \quad \forall k \in K, i \in \{0, n + 1\}$$

$$9) \sum_{i \in N} d_i - \sum_{i \in \Delta^+(i)} X_{ijk} \leq C \quad ; \quad \forall k \in K$$

$$10) X_{ijk} \geq 0 \quad ; \quad \forall k \in K, (i, j) \in A$$

$$11) X_{ijk} \in \{0, 1\}; \quad \forall k \in K, (i, j) \in A$$

La función objetivo representa el costo total de la red de distribución, el cual, se puede representar en tiempo, distancia recorrida o valor monetario. Su principal función es encontrar la distancia total mínima recorrida con el menor número posible de vehículos. Cuando el vehículo k es designado para visitar al cliente i al cliente j , la variable X_{ijk} toma el valor de 1. La empresa o la bodega principal de la compañía se la representa como $i = 0$ o $i = 1 + n$.

Las restricciones son condiciones que se deben cumplir para tener un resultado apropiadamente óptimo. La restricción 2 se encarga de que cada cliente i o j sea atendido por un solo vehículo k . La restricción 3 ayuda a definir que solo un vehículo k puede visitar al cliente j saliendo de la bodega de la empresa. La restricción 4 es un equilibrio para el algoritmo donde se enfoca en que la misma cantidad de vehículo k que llega a un cliente debe ser la misma cantidad que sale. La restricción 5 establece que para cada ruta puede tener solo una conexión con la bodega. La restricción 6 indica que se debe respetar los tiempos de servicio y recorrido, ya que si el cliente i no ha sido atendido, este vehículo k no puede iniciar su servicio en el cliente j porque no ha llegado a su instalación. En esta restricción se usa un número grande como constante denominado M . La restricción 7 regula que el vehículo k debe llegar en una franja horaria $[a_i, b_i]$ de cada cliente i , donde a_i es la hora de apertura y b_i es la hora de clausura. La restricción 8 se encarga de que si el vehículo k llega dentro de la franja horaria $[a_i, b_i]$, el tiempo de servicio W_{ik} puede iniciar. La restricción 9 se enfoca en la capacidad del vehículo k no puede ser excedida por la demanda de todos los clientes atendidos. La restricción 10 establece que el modelo solo use números positivos para la variable X . Por último, tenemos la restricción 11 que establece que el modelo sea lineal entero binario.

Actualmente existen otras investigaciones realizadas relacionadas al tema propuesto como, por ejemplo, según el trabajo de la autora (Chiliquinga, 2017) muestra una optimización de las rutas de reparto para una empresa distribuidora

de productos ferreteros. Los vehículos retornaban con mercadería debido a la tardanza en el tiempo de entrega por los incumplimientos de la ventana horaria de atención y no se respetaba la ruta programada. La autora pretende mejorar los costos de distribución y los tiempos relacionados mediante un modelo matemático VRPTW para la creación de rutas. Se concluyó que semanalmente se ahorraba un 30% en los costos de distribución.

Según el autor (Coque Carrion, 2015) elaboró otra investigación relacionada al tema propuesto donde formuló y solucionó un problema de ruteo vehicular capacitado con ventanas de tiempo, conocido como CBRPTW, mediante el uso del algoritmo de ahorros en una empresa de servicios de telecomunicaciones. En esta investigación se demuestra la disminución de tiempo y kilómetros recorridos de cada vehicula en cada zona investigada, transformándose en ahorros económicos. El ahorro propuesto es alrededor del 9% para la Zona 1 que corresponde a la región costa del Ecuador y 52% para la Zona 2 que corresponde a la región sierra y amazonia del Ecuador.

Según un artículo científico elaborado por (Loor Velez, Sánchez Villamar, & Vega Chica, 2012), se obtuvo un ahorro mayor al 8% en promedio de todas las diferentes rutas analizadas mediante un diseño de rutas de transporte de personal aplicando modelización matemática de enrutamiento vehicular con ventanas de tiempo. El costo mensual antes de la implementación del proyecto fue de \$7,133.20 y con la propuesta de mejora se obtuvo un costo de \$6,553.64. Existen otros tipos de ahorro significativos en rutas específicas ya que se encontró que existen ahorros potenciales hasta el 20%

En un artículo científico con el tema "Implementación de un Problema de Ruteo Vehicular con Ventanas de Tiempo (VRPTW) en una empresa de venta de agroquímicos, sucursal Milagro.", los autores (Morán Villa, Núñez Ginez, & Echeverria Briones, 2017) indican que la distancia total recorrida de la ruta elaborada empíricamente fue de 555 km mientras que con el algoritmo se obtuvo un resultado óptimo de 320 km de recorrido de distancia total. Este resultado mostro una reducción del 42% de distancia total recorrida optimizando los tiempos de entrega, costo de mantenimiento y combustible.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

El modelo que se usará para el diseño de un ruteo óptimo para la entrega de mercadería es el problema con ventanas de tiempo (VRPTW) ya que además de considerar las demandas de cada tienda, se debe considerar la franja horaria de atención de recepción asociada. La función de este modelo matemático pretende minimizar el costo total de las rutas programadas basándose en ciertas restricciones y obligaciones como visitar a todos los clientes satisfaciendo sus necesidades y que cada camión recorre una ruta única respetando el horario de atención de cada punto de venta. Para esto, se debe conocer la capacidad de carga del vehículo utilizado, la distancia máxima recorrido por cada vehículo, el tiempo de servicio o el tiempo promedio de entrega de mercadería en cada tienda, distancia entre la empresa y las tiendas utilizando una matriz de distancias entre puntos mediante los datos de Bing Maps.

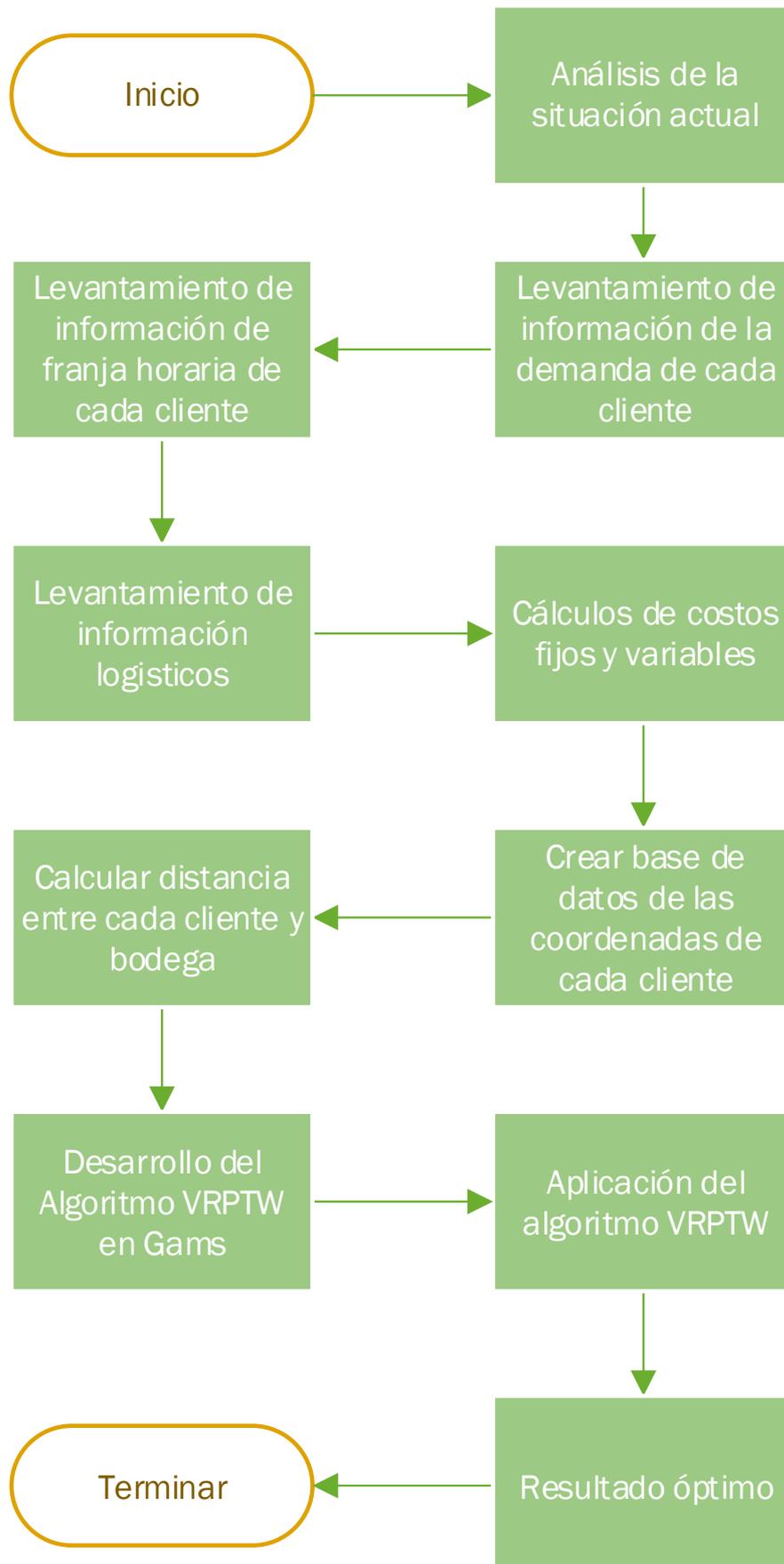
El algoritmo que se usará es a través de la programación lineal entera mixta (MIP), es uno de los más estudiados y difundidos en la rama de planificación de ruteo óptimos. La solución de este algoritmo consiste en hacer varias iteraciones de rutas que se pueden unir entre sí para crear una nueva ruta con un ahorro determinado considerando las restricciones del problema.

El software de optimización que se usará para la programación de este algoritmo es GAMS, el cual nos brindará un reporte con los resultados obtenidos según los datos levantados.

Los datos son recopilados de diferentes departamentos como ventas y bodega de producto terminado o BPT. En la bodega es donde se consolidan, se empaca y despacha la mercadería. Se levantará la información usando la base de datos de todas las guías de remisión emitidas en el año 2018 para conocer los montos de ventas transportados diariamente y los tipos de camiones con sus respectivas capacidades de carga. Se identificará la distancias y tiempos de recorrido de la empresa a cada uno de los puntos de ventas. En el departamento comercial es donde se levantará la información de la franja horaria negociada con cada tienda en Guayaquil del cliente cuenta clave para coordinar los despachos y aumentar el

nivel de servicio. En la siguiente figura se muestra el flujo del proceso del trabajo en desarrollo:

Figura 19 - Flujo de proceso del desarrollo del trabajo. Adaptado por Autor



Diseño de la investigación

En este modelo no experimental se usará el diseño transeccional o transversal ya que la investigación recopilará datos en un momento único, es decir, en un periodo determinado. Esta investigación se basa en datos recogidos del año 2018. El objetivo de este diseño es descubrir las variables y analizar su interrelación en momento específico. Para describir las relaciones entre dos o más variables en un momento determinado se usará el diseño correlacional-causal para observar y reportar las causas y efectos.

Justificación del método

El enfoque de la investigación es mixto ya que se usará una combinación de enfoque cuantitativo y cualitativo. Es cuantitativo porque se medirá el fenómeno mediante estadística haciendo un análisis de causa y efecto. En la investigación se usará datos como indicadores de productividad y los costos que incurren por las falencias en los procesos productivos. Mediante métodos estadísticos como Anova y la razón F se analizarán los resultados obtenidos y se establecerán conclusiones respecto del testeó hipótesis.

La investigación también es cualitativa porque se usará entrevistas no estructuradas para el levantamiento de información y método de observación en los procesos productivos de la empresa. Este enfoque utiliza la recolección de datos sin ninguna medida de escala con el fin de descubrir las preguntas de investigación.

Muestra/Selección de los participantes

La siguiente investigación se basará en una muestra de clase no probabilística o dirigida como el muestreo consecutivo donde se seleccionará los participantes de diferentes departamentos de la organización como el gerente general, gerente de operaciones, jefe de calidad, jefe de producción, jefe de mantenimiento y contador. Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2004) indica que los tipos de muestras que suelen utilizarse en las investigaciones son las no probabilísticas o dirigidas y pueden utilizarse en investigaciones cuantitativas y cualitativas.

Técnicas de recogida de datos

Las técnicas para la recolección de datos que se usará son levantamiento de datos secundarios, observación y entrevistas. Para el levantamiento de información del proyecto se usará recolección de datos secundarios se usará en el FCNM

proyecto porque implicará la revisión de documentos o registros en archivos físicos. También se usará la observación como recolección de datos mediante una guía de observación y por último entrevistas no estructuradas, el cual, se basará en una guía de entrevistas con los tópicos fundamentales para el levantamiento de información.

Técnicas y modelos de análisis de datos

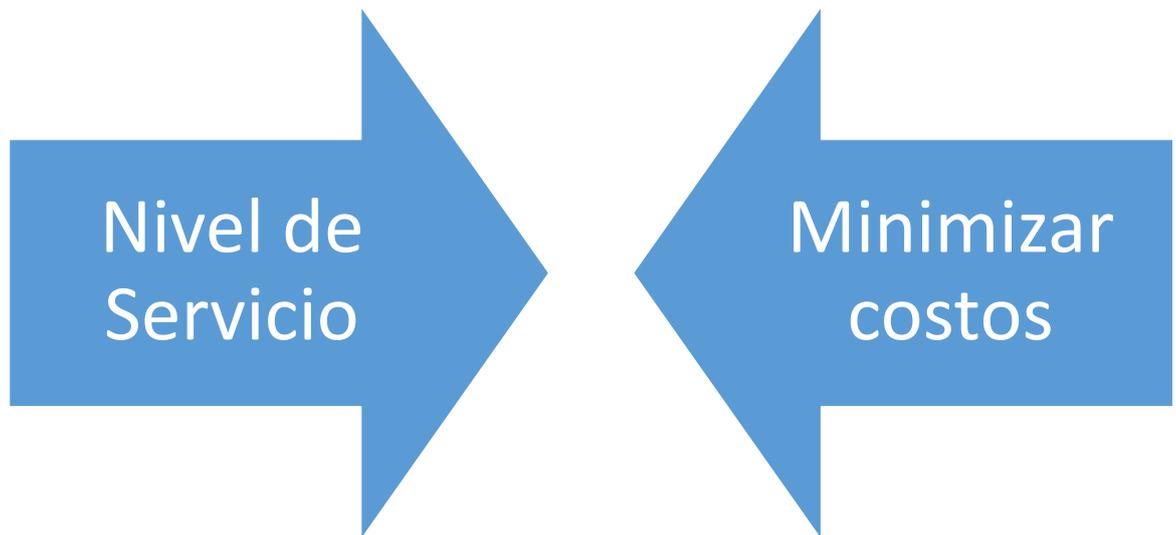
Para la investigación se usará el análisis de datos cuantitativos descriptivo en donde se tomará medida de tendencia central y distribución de frecuencias. Se usará el programa Excel para el tratamiento de los datos

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

El enfoque de este proyecto es aumentar el nivel de servicio minimizando los costos de transporte. Es importante cubrir la demanda de cada punto de venta del cliente cuenta clave, pero considerando reducir al mínimo los costos de transporte, pero al mismo tiempo velar por aumentar el nivel de servicio.

Figura 20 - Enfoque del proyecto. Adaptado por Autor



A continuación, se presenta los respectivos resultados de la resolución del problema de la programación en Gams. En la siguiente figura, se muestra que hemos tenido como resultado 300 minutos en total para todo el recorrido, este valor es el mínimo resultado que se obtuvo como función objetivo para todo el problema.

Figura 21 - Resumen de la solución del Problema En Gams. Adaptado por Autor

```

                S O L V E      S U M M A R Y

MODEL   ejercicio              OBJECTIVE   z
TYPE    MIP                    DIRECTION  MINIMIZE
SOLVER  CPLEX                  FROM LINE  119

**** SOLVER STATUS      1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE              300.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT      293.625      1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT  10465255      10000

ILOG CPLEX      Dec  1, 2008 22.9.2 WEX 7311.8080 WEI x86_64/MS Windows
Cplex 11.2.0, GAMS Link 34
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

MIP status(101): integer optimal solution
Fixed MIP status(1): optimal
Proven optimal solution.

MIP Solution:          300.000000      (10465255 iterations, 206785 nodes)
Final Solve:          300.000000      (0 iterations)

Best possible:        300.000000
Absolute gap:         0.000000
Relative gap:         0.000000

```

El solver que se usó en la resolución del problema, fue CPLEX. El número de iteraciones que incurrieron en la resolución del problema fue de 10,465,255, el cual fue resuelto en 04:57.

Según los resultados obtenidos, en la siguiente tabla se detalla cómo se debe organizar la distribución de entregas de los productos plásticos. En esta tabla general se presentará los nodos que se relacionan para armar el ruteo y cumplir con toda la demanda de los clientes.

Tabla 9 - Resultado de ruteo en Gams

	CD	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
CD			1			1					1				1	1	1		
C1				1															
C2		1																	
C3	1																		
C4							1												
C5								1											
C6	1																		
C7	1																		
C8												1							
C9								1											
C10										1									
C11	1																		
C12					1														
C13																			1
C14													1						
C15														1					
C16																		1	
C17	1																		
C18	1																		

Se generaron 6 rutas en donde se visita los 18 locales del cliente cuenta clave y regresa al depósito de la empresa. En resumen, se muestra el tiempo que toma cada ruta en la siguiente tabla:

Tabla 10 - Resumen de rutas con sus costos en minutos

Ruta 1		Ruta 2		Ruta 3	
CD.C2	23	CD.C5	15	CD.C10	19
C2.C1	11	C5.C8	10	C10.C9	16
C1.C3	6	C8.C11	11	C9.C7	12
C3.CD	16	C11.CD	19	C7.CD	29
Total	56	Total	55	Total	76
Ruta 4		Ruta 5		Ruta 6	
CD.C14	13	CD.C15	20	CD.C16	7
C14.C12	4	C15.C13	4	C16.C17	6
C12.C4	6	C13.C18	8	C17.CD	8
C4.C6	9	C18.CD	19	Total	21
C6.CD	9	Total	51		
Total	41				

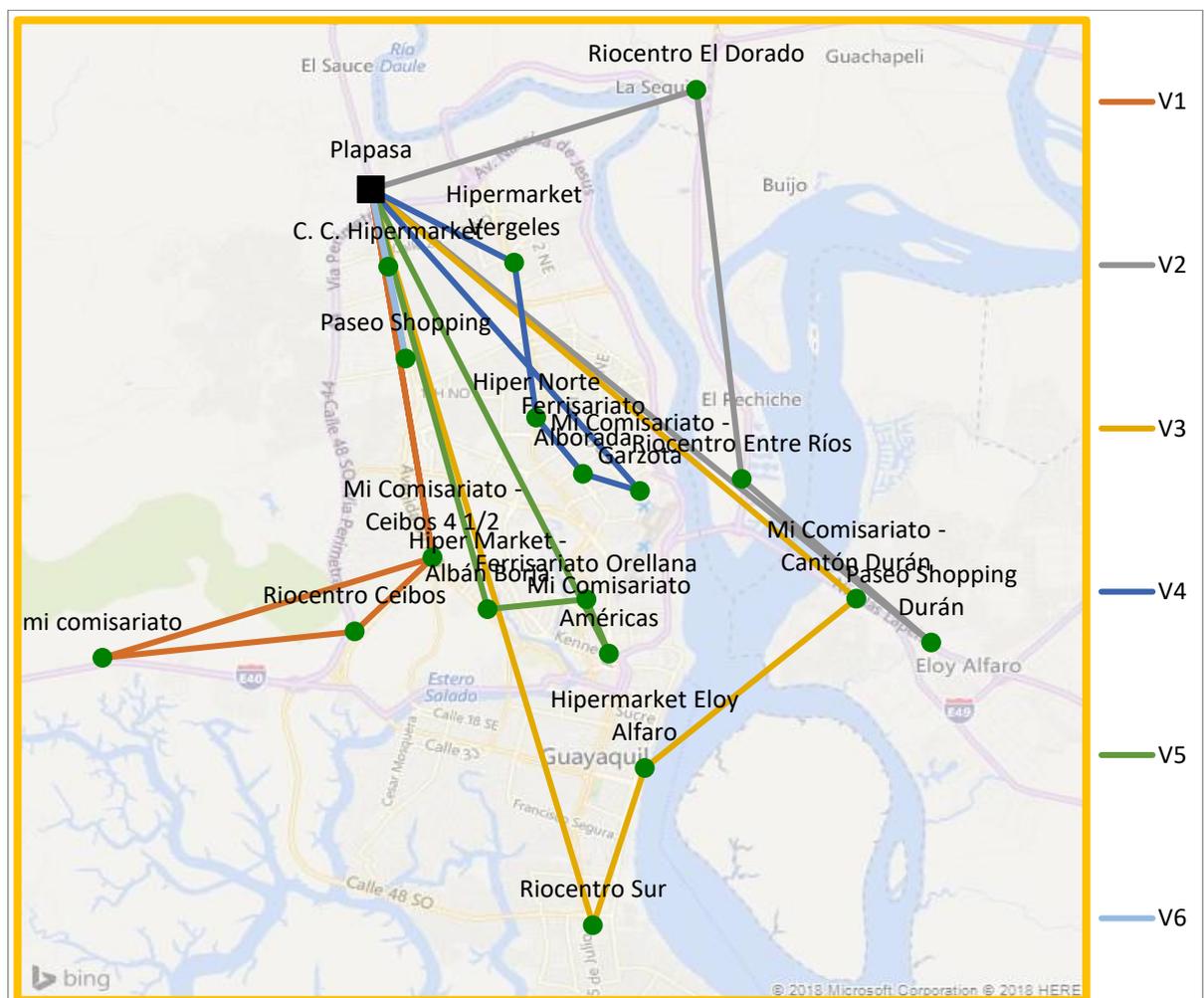
La sumatoria de todas las 6 rutas da como resultado 300 minutos en total de todos los recorridos entre 6 camiones. El tiempo de llegada del vehículo a cada cliente, de acuerdo con su ruta asignada, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11 – Tiempo de arribo del vehículo en cada cliente

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
384	60	480	351	60	480	480	280	258	60	480	154	382	60	60	60	480	480

El resultado del algoritmo para una distribución óptima fue 6 rutas. En la siguiente grafica se podrá visualizar como es el ruteo de cada local del cliente cuenta clave.

Figura 22 - Propuesta de ruteo utilizando modelo de optimización Adaptado por Autor



Se ha recorrido un total de 249 kilómetros en las 6 rutas óptimas. El detalle de cada ruta con su respectivo recorrido se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12 - Recorrido en kilómetros de cada ruta optima obtenida del algoritmo

Ruta 1		Ruta 2		Ruta 3	
CD.C2	22	CD.C5	14	CD.C10	22
C2.C1	10	C5.C8	12	C10.C9	12
C1.C3	3	C8.C11	12	C9.C7	5
C3.CD	9	C11.CD	22	C7.CD	26
Total	45	Total	60	Total	66
Ruta 4		Ruta 5		Ruta 6	
CD.C14	16	CD.C15	21	CD.C16	4
C14.C12	2	C15.C13	2	C16.C17	3
C12.C4	2	C13.C18	3	C17.CD	4
C4.C6	4	C18.CD	11	Total	11
C6.CD	6	Total	38		
Total	30				

La distribución óptima dio como resultado para atender a los 18 locales de este cliente cuenta clave, tomaría 5 horas usando 6 vehículos con su respectiva ruta y recorrería 249 kilómetros en total. En resumen, de los datos obtenidos en Gams, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13 - Kilómetros y minutos de la distribución propuesta

#	Km	Minutos
Ruta 1	45	0:56:00
Ruta 2	60	0:55:00
Ruta 3	66	1:16:00
Ruta 4	30	0:41:00
Ruta 5	38	0:51:00
Ruta 6	11	0:21:00
Total	249	5:00:00

En este caso, se usaría los 5 vehículos propios y solo se tendría que alquilar un camión para la distribución de solo una ruta. Los costos que incurría en esta distribución propuesta se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 14 - Detalle de costos fijos y variables de la distribución propuesta

#	Costo Fijo	Costo Variable	Costo
Ruta 1	\$ 119,00	\$ 7,64	\$ 126,64
Ruta 2	\$ 119,00	\$ 10,14	\$ 129,14
Ruta 3	\$ 119,00	\$ 11,22	\$ 130,22
Ruta 4	\$ 119,00	\$ 5,07	\$ 124,07
Ruta 5	\$ 119,00	\$ 6,43	\$ 125,43
Ruta 6	\$ -	\$ 120,00	\$ 120,00
Total			\$ 755,49

El valor de distribución semanal sería de \$1,510.97 que, transformándolo anualmente, tendremos un resultado de \$78,570,63.

Luego de obtener los datos, se realiza un análisis comparativo de la situación actual contra la situación óptima usando una herramienta de optimización para la una distribución ideal minimizando los tiempos de entregas y costos. En la situación actual se obtuvo que con flota propia y alquiladas, las 8 rutas recorren 692.8 kilómetros con un tiempo de 453 minutos y un costo anual de \$101457.37, mientras que la propuesta dio como resultado que en 6 rutas se recorrería 249 kilómetros en 300 minutos y con un costo anual de \$78,750.63. En la siguiente tabla se muestra el análisis comparativo de manera resumida.

Tabla 15 - Resumen del análisis comparativo

	Modelo Empírico	Modelo Optimo
Kilómetros Recorridos	692,8	249
Tiempo empleado	453	300
Costos de Distribución	\$ 101.457,37	\$ 78.570,63

Se obtuvo un ahorro de \$22.886,73 que representa un ahorro de 23% con respecto al modelo actual. También el control de la distribución será mejor organizada, ya que es más sencillo supervisar a 6 vehículos que 8 camiones como normalmente se maneja en la actualidad. La reducción en el tiempo de entrega fue de un 34%.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES

Uno de los problemas más comunes en el área de logística es la planificación de rutas para la distribución de productos de esta empresa manufacturera, por lo cual, se vio la necesidad de aplicar programación entera mixta (MIP) con restricciones de franjas de tiempos de recepción de mercadería, tiempo de servicios, etc.

Mediante el desarrollo de un modelo matemático basado en la herramienta de GAMS, se optimizó el proceso de distribución de una empresa de la industria de plásticos para sus clientes cuenta clave.

Para alcanzar el primer objetivo, se analizó el sector y la situación actual de la empresa de una forma detallada, se desglosó los procesos actuales del departamento de logística para identificar las oportunidades de mejora.

Se logró reducir los costos de distribución de mercadería para los puntos de venta del cliente cuenta clave, utilizando un ruteo óptimo mediante un modelo matemático en el presente año. El resultado fue de un ahorro de \$22.886,73 que representa el 23% anual comparando la operación empírica contra la operación óptima con el algoritmo implementado. De esta manera, se cumplió el segundo objetivo de este trabajo.

Este ahorro representativo es debido a la implementación de un modelo matemático, no solo ayudó a la optimización en costo, sino que también en los recursos. Se redujo el número de vehículos utilizados y los tiempos de entrega en la distribución de productos plásticos. Actualmente se usan 8 vehículos para la distribución de productos, pero con la implementación de este modelo matemático se evitó a usar dos vehículos para el ruteo. También se obtuvo un decremento en el tiempo de entrega del 34%, mejorando el nivel de servicio ya que se entregan los productos respetando los horarios de atención. El recorrido total tomaría un tiempo de 300 minutos y antes era de 453 minutos, cumpliendo con el tercer objetivo.

6. RECOMENDACIONES

- 1) Empezar a agregar nuevas restricciones al modelo matemático como la capacidad del vehículo, la velocidad del vehículo sea variable transportando la mercadería y los paros programados de semáforos.
- 2) Es importante hacer reuniones con el área de logística diarias y semanales para dar seguimiento a la planificación de distribución.
- 3) Se debe implementar indicadores para ayudar al control de la gestión de flota e implementar mejoras al proceso.
- 4) En la empresa actualmente está en constante invocación e implementación de tecnologías de información, por lo cual, es recomendable completar con un ERP para el flujo de información sea automático y no ingresar información manualmente.

7. REFERENCIAS

- Banco Central del Ecuador. (2018). *Estadísticas macroeconómicas*. Quito.
- Briales Morales, E., & Chacón Rebollo, T. (2001). *Actas del encuentro de matemáticos andaluces, Volumen 2*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Chambers, L. D. (2019). *Practical Handbook of Genetic Algorithms: Complex Coding Systems, Volumen 3*. Londres: CRC Press.
- Chiliquinga, E. (2017). *Optimización de las rutas de reparto para una empresa*. Guayaquil: Espol.
- Coque Carrion, M. (2015). *Formulacion y solucion del problema de ruteo vehicular capacitado con ventanas de tiempo (CVRPTW) mediante el uso del algoritmo de ahorros en una empresa de servicios de telecomunicaciones*. Guayaquil: Espol.
- Cortés Achedad, P., & Onieva Giménez, L. (2011). *Ingeniería de organización: Modelos y aplicaciones*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Dorigo, M., & Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. Londres: MIT Press.
- Ekos. (2018). Producción de plásticos: Un pilar para el encadenamiento productivo. *Ekos / Zoom al sector*. Obtenido de <https://www.ekosnegocios.com/articulo/produccion-de-plasticos-un-pilar-para-el-encadenamiento-productivo>
- Francesc Robusté, F. R. (2005). *Logística del transporte*. Univ. Politèc. de Catalunya.
- Hernández Barrueco, L. C. (2017). *Técnicas para ahorrar costos logísticos*. Barcelona: Marge Books.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2004). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Loor Velez, L. M., Sánchez Villamar, P. E., & Vega Chica, V. (2012). Diseño de rutas de transporte de personal aplicando modelización matemática para resolver el problema de enrutamiento vehicular capacitado con ventanas de tiempo. *Centro de Investigación Científica y Tecnológica*. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/21023>
- Morán Villa, C. D., Núñez Ginez, J. J., & Echeverría Briones, P. F. (2017). Implementación de un Problema de Ruteo Vehicular con Ventanas de Tiempo (VRPTW) en una empresa de venta de agroquímicos, sucursal Milagro. *Centro de Investigación Científica y Tecnológica*, 44.
- Muñoz, A. D. (2007). *Metaheurísticas*. Librería-Editorial Dykinson.
- Pablo Cortés Achedad, L. O. (2011). *Ingeniería de organización: Modelos y aplicaciones*. Ediciones Díaz de Santos.
- Robusta, F., & Galván, D. (2005). *E-logistics Volumen 9 de Temas de transporte y territorio*. Cataluña: Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica.
- Valles Romero, J. A. (2013). *Trafico y Transporte*. Mexico: McGraw Hill.

8. APENDICES Y ANEXOS

```
****DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE REPARTO EN L
*Precision del solver
          OPTION OPTCR=0.0001
SETS
i vertices /CD,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,C15,C16,C17,C18/
d(i) depositos /CD/
alias (i,j)
alias (d,dk)

parameters
arcos (i,j,d) arcos posibles

/
CD.C1.CD 19
CD.C2.CD 23
CD.C3.CD 16
CD.C4.CD 17
CD.C5.CD 15
CD.C6.CD 10
CD.C7.CD 34
CD.C8.CD 21
CD.C9.CD 27
CD.C10.CD 19
CD.C11.CD 26
CD.C12.CD 16
CD.C13.CD 22
CD.C14.CD 13
CD.C15.CD 20
CD.C16.CD 7
CD.C17.CD 8
CD.C18.CD 21
C1.CD.CD 17
C1.C2.CD 12
C1.C3.CD 6
C1.C4.CD 20
C1.C5.CD 27
C1.C6.CD 21
C1.C7.CD 21
C1.C8.CD 33
C1.C9.CD 15
C1.C10.CD 23
C1.C11.CD 30
C1.C12.CD 21
C1.C13.CD 16
C1.C14.CD 23
C1.C15.CD 17
C1.C16.CD 15
C1.C17.CD 14
C1.C18.CD 8
C2.CD.CD 24
```

Figura 23 - A1 - Modelo en GAMS

```

$CALL GDXXRW COMI.xls par=tpini rng=timeini!A1:B20 dim=1 Cdim=0 Rdim=1
$GDXIN COMI.gdx
$LOAD tpini
$GDXIN

$CALL GDXXRW COMI.xls par=tpfin rng=timefin!A1:B20 dim=1 Cdim=0 Rdim=1
$GDXIN COMI.gdx
$LOAD tpfin
$GDXIN

$CALL GDXXRW COMI.xls par=costos rng=arcos!B2:D343 dim=2 Cdim=0 Rdim=2
$GDXIN COMI.gdx
$LOAD costos
$GDXIN

$CALL GDXXRW COMI.xls par=dem rng=demanda!A1:B20 dim=1 Cdim=0 Rdim=1
$GDXIN COMI.gdx
$LOAD dem
$GDXIN
*display tpini

*$ontext
variables
z funcion objetivo
v numero de viajes
tiempo(i) tiempos de arribo
L(i) carga;

binary variables
x(i,j) ARCOS POSIBLES.

```

Figura 24 - A2 - Modelo en GAMS

```

variables
z funcion objetivo
v numero de viajes

tt(i) tiempo de arribo;

binary variables
x(i,j,d) arcos;

equations
obj
viajes
res1 en cada cliente solo sale un arco
res2 para cada cliente el numero de arcos que entra es igual al que sale (solo uno)
res3
res4 CONTROL DE VENTANA DE TIEMPO INICIAL
res5 CONTROL DE VENTANA DE TIEMPO FINAL
res6 CUADRE DE TIEMPO ENTRE CLIENTES
res7 CONTROL DE PRIMERA VISITA
;

* Min Z = # Rutas Salen de los Dep. * Cto. Fijo + Ruta Asigada * Cto. Variable
obj.. z=e=sum((i,j,d)$ (arcos(i,j,d)),arcos(i,j,d)*x(i,j,d));
*+sum((j,d)$ (arcos(j,d,d)),x(j,d,d)*costosfijos(d));
viajes.. sum((j,d)$ (arcos(j,d,d)),x(j,d,d))=e=v;
res1(i)$ (ord(i)>1).. sum((d,j)$ (arcos(i,j,d)),x(i,j,d))=e=1;
res2(i,d)$ (ord(i)>1).. sum(j$(arcos(j,i,d)),x(j,i,d))=e=sum(j$(arcos(i,j,d)),x(i,j,d));
res3(d,dk)$ (not sameas(d,dk)).. sum(i$(arcos(d,i,dk)),x(d,i,dk))+sum(i$(arcos(i,d,dk)),x(i,d,dk))=1=0;
res4(i)$ (ord(i)>1).. tt(i)=g=tsinf(i);
res5(i)$ (ord(i)>1).. tt(i)=l=tsup(i);
* X es binaria Tpo. final = Tpo. del anterior cliente + Tpo. Traslado
* 10000 es el dato M numero grande
res6(i,j,d)$ (ord(i)>1 and ord(j)>1 and arcos(i,j,d)).. tt(i)+Sev(i)+arcos(i,j,d)-tt(j)=1=1000000000*(1-x(i,j,d));
*si la binaria x es 1 significa que acumula la hora de salida mas viaje para llegar al cliente
res7(i,d)$ (ord(i)>1 and arcos(d,i,d)).. arcos(d,i,d)*x(d,i,d)-tt(i)-Sev(i)=1=1000000000*(1-x(d,i,d));
*conocer el tiempo de cada cliente

model VRPTIEMPO /all/
solve VRPTIEMPO minimizing z using mip
display z.l, x.l, v.l, tt.l, d,res1.l,res2.l,res3.l,res4.l,res5.l,res6.l,res7.l

```

Figura 25 - A3 - Modelo en GAMS

```

Clique cuts applied: 73
Implied bound cuts applied: 464
Flow cuts applied: 18
Mixed integer rounding cuts applied: 6
Zero-half cuts applied: 6
Gomory fractional cuts applied: 6
MIP status(101): integer optimal solution
Fixing integer variables, and solving final LP...
Tried aggregator 1 time.
LP Presolve eliminated 398 rows and 362 columns.
All rows and columns eliminated.
Presolve time = 0.00 sec.
Fixed MIP status(1): optimal

Proven optimal solution.

MIP Solution:          300.000000      (6333955 iterations, 247414 nodes)
Final Solve:          300.000000      (0 iterations)

Best possible:         300.000000
Absolute gap:          0.000000
Relative gap:          0.000000

--- Restarting execution
--- VRPTW - Tesis Final (David Antonio De Santis Bermeo).gms(471) 2 Mb
--- Reading solution for model VRPTIEMPO
--- VRPTW - Tesis Final (David Antonio De Santis Bermeo).gms(471) 2 Mb
--- Executing after solve: elapsed 0:02:13.934
--- VRPTW - Tesis Final (David Antonio De Santis Bermeo).gms(472) 3 Mb
*** Status: Normal completion
--- Job VRPTW - Tesis Final (David Antonio De Santis Bermeo).gms Stop 01/2

```

Figura 26 - A4 – Resolución del Modelo en GAMS

```

**** REPORT SUMMARY :           0      NONOPT
                                0 INFEASIBLE
                                0 UNBOUNDED

GAMS Rev 229 WEX-WEI 22.9.2 x86_64/MS Windows           01/25/20 11:56:40 Page 6
General Algebraic Modeling System
Execution

|---- 472 VARIABLE z.L           =      300.000  funcion objetivo
---- 472 VARIABLE x.L  arcos

                CD
CD .C2          1.000
CD .C5          1.000
CD .C10         1.000
CD .C14         1.000
CD .C15         1.000
CD .C16         1.000
C1 .C3          1.000
C2 .C1          1.000
C3 .CD          1.000
C4 .C6          1.000
C5 .C8          1.000
C6 .CD          1.000
C7 .CD          1.000
C8 .C11         1.000
C9 .C7          1.000
C10.C9         1.000
C11.CD         1.000
C12.C4         1.000
C13.C18        1.000
C14.C12        1.000
C15.C13        1.000
C16.C17        1.000
C17.CD         1.000
C18.CD         1.000

---- 472 VARIABLE v.L           =      6.000  numero de viajes

```

Figura 27 – A5 – Resumen de la Resolución del Modelo en GAMS