

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Rediseño de rutas de distribución propia de una empresa minorista de
productos farmacéuticos

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero/a Industrial

Presentado por:

Canchingre Lara Alisson Dessire
Sánchez Aguilar Geovanny Alejandro

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado principalmente a nuestros padres por el esfuerzo realizado, a la familia por el constante apoyo y el aliento que nos motivaba en aquellos momentos difíciles para no rendirnos y sacar adelante esta meta. A todas las personas que de una u otra manera estuvieron ahí brindándonos su ayuda y apoyo para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco siempre en primer lugar a Dios quién me permitió llegar a este punto tan importante, a mis padres, Geovanny y Marisol por su esfuerzo y dedicación para que pueda lograr mi más anhelada meta y a todas las personas quienes a lo largo de la carrera han intervenido y han estado ahí apoyándome en los momentos más difíciles. Agradezco a mi compañera de tesis por el mutuo esfuerzo realizado.

Geovanny.

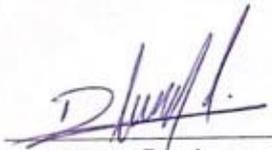
AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por ser el pilar de mi vida y acompañarme en cada paso que doy. Les agradezco a mis padres Gina, Cristhian y Rafael por apoyarme siempre incondicionalmente y hacer de este camino algo agradable, a mi hermano Kafir por enseñarme a ser un equipo. Les agradezco profundamente a Gaby y Leo por ser los mejores amigos y estar ahí cuando no sé a dónde ir. A Argumentum por enseñarme tantas cosas que ahora me sirven para este camino profesional. Estoy profundamente agradecida, con la vida, con el destino, con Dios, porque no he llegado sola, gracias a todas las personas que lo hicieron posible.

Dessiré.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Canchingre Lara Alisson Dessire* y *Sánchez Aguilar Geovanny Alejandro* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Alisson Dessire
Canchingre Lara



Geovanny Alejandro
Sánchez Aguilar

EVALUADORES

.....
Sofia López, M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Jorge Abad, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Para el desarrollo del presente proyecto que se realiza dentro de una empresa dedicada a la venta minorista de productos farmacéuticos, se utilizó la metodología de Lean Six Sigma con las siguientes etapas: Definir, Medir, Analizar, Diseñar e Implementar el prototipo. En la primera etapa se estableció el objetivo de rediseñar las rutas utilizadas para la distribución propia de sus productos, a través de modelos de ruteo.

En la etapa de medición se solicitaron datos como la demanda, las características del vehículo y se recopilaron otros datos de los puntos de venta para calcular tiempos de servicio y la matriz de distancias mediante la herramienta de Google maps y Python.

Se seleccionaron los modelos de rutas VRP Y VRPTW en la etapa de analizar, puesto que se adaptan a las restricciones y requerimientos de diseño de la empresa, se realizó un análisis financiero de la situación inicial y el costo de implementar cualquiera de los modelos de ruteo para poder tener un punto de comparación y decisión estableciendo un punto de equilibrio de \$3115k.

Para la etapa de diseñar a través de la herramienta Gams Studio se simularon los modelos de rutas propuestos, y se obtuvo que el modelo con mejores resultados fue el ganador VRP, dando como resultados 3 rutas al mínimo costo, representando la reducción de los costos de transporte en un 19% del costo actual, aumenta la utilización de la capacidad del camión en un 50% y logra una reducción del 75% de las horas extras.

Palabras Clave: Rediseño de rutas, Modelos de rutas, VRP, VRTPTW, Costos de transporte

ABSTRACT

For the development of this project, which is carried out within a company dedicated to the retail sale of pharmaceutical products, the Lean Six Sigma methodology was used with the following stages: Define, Measure, Analyze, Design, and Implement the prototype. In the first stage, the objective was to redesign the routes used for the distribution of its own products, through routing models.

In the measurement stage, data such as demand, vehicle characteristics and other data were requested from the points of sale to calculate service times and the distance matrix using Google maps and Python.

The VRP and VRPTW routing models were selected in the analysis stage since they adapt to the company's restrictions and design requirements. A financial analysis of the initial situation and the cost of implementing any of the routing models was carried out to have a point of comparison and decision, establishing a break-even point of \$3115k.

For the design stage, the proposed routing models were simulated using the Gams Studio tool, and the model with the best results was the winning VRP, resulting in three routes at minimum cost, representing a 19% reduction in transportation costs compared to the current cost, increasing truck capacity utilization by 50% and achieving a 75% reduction in overtime.

Key words: Route redesign, Route models, VRP, VRTPTW, Transportation fees.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	2
1 Introducción	2
1.1. Descripción del Problema	2
1.2. Justificación del problema	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Marco teórico	3
1.4.1. Diseño de rutas de transporte.....	3
1.4.2. Rutas	4
1.4.3. Costos de Transporte	4
1.4.4. Modelos de ruteo	4
1.4.5. Ruta de un modelo TSP.....	5
1.4.6. El objetivo del modelo es visitar todos los puntos de venta con un solo camión al mínimo costo. Rutas de un modelo VRP	5
1.4.7. Rutas de un modelo MDVRP	6
1.4.8. Métodos o algoritmos de solución de los modelos de rutas.....	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología	8
2.2. Definir	8

2.2.1.	SIPOC.....	8
2.2.2.	Voz del cliente.....	8
2.2.3.	Despliegue de la función de calidad QFD	9
2.2.4.	Restricciones de Diseño	11
2.3.	Medición.....	11
2.3.1.	Plan de recolección de datos.....	11
2.4.	Análisis.....	15
2.4.1.	Análisis para la selección del modelo de ruta de transporte	15
	Segundo Criterio de Decisión.....	15
2.4.2.	Análisis Financiero de la situación actual	16
	Costos detallados por ruta están en las tablas del APÉNDICE D	16
2.4.3.	Análisis de los costos para la implementación de los modelos seleccionados 17	
2.4.4.	Construcción de los modelos matemáticos.....	18
	CAPÍTULO 3.....	21
3.	Resultados Y ANÁLISIS	21
3.1	Modelos Matemáticos para la solución de los modelos de transporte seleccionados.....	22
3.1.1	Modelo VRP (Vehicle Routing Problem)	22
	Para la obtención de la función objetivo del modelo VRO, se realizó lo siguiente:	22
3.1.2	Modelo VRPTW (Vehicle Routing Problem Time Windows) Para la obtención de la función objetivo del modelo VRPTW, se realizó los siguiente:	23
3.2.	Modelado en Gams Studio	24
3.2.1.	Resultados de Modelado VRP.....	24
3.2.2.	Resultados de Modelado VRPTW	25
3.3.	Análisis de costos	25
3.3.1.	ANÁLISIS DE LAS RUTAS DEL MODELO SELECCIONADO	26

3.4. Resultados de Sostenibilidad del escenario seleccionado del modelo VRP.	
30	
3.4.1. Social	30
3.4.2. Beneficios ambientales	30
3.4.3. Beneficios económicos	31
3.5. Otros beneficios	32
3.5.1. Utilización del camión	32
3.5.2. Tiempo de recorrido	32
3.6. Viabilidad del proyecto	32
CAPÍTULO 4.....	34
Conclusiones Y Recomendaciones	34
4.1 Conclusiones	34
4.2 Recomendaciones	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35
APÉNDICES.....	37
APÉNDICE A.....	37
APÉNDICE B.....	41
APÉNDICE C.....	42
apéndice D	44
APÉNDICE E	45
APÉNDICE F	48
APÉNDICE G	53

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
VRP	Vehicle Routing Problem
VRPTW	Vehicle Routing Problem Time Windows
MDVRP	Multiple Depot Vehicle Routing Problem
VRPB	Vehicle Routing Problem Backhaul
TSP	Travel Salesman Problem
GAMS	General Algebraic Modeling System
USD	United States Dollars
DEPOT	Bodega Principal

SIMBOLOGÍA

km	Kilómetro
min	Minuto
\$	dólares
L	Litros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ruta de un Modelo VRP. (Elaboración Propia,2022)	6
Figura 1.2 Ruta de un Modelo MDVRP. (Elaboración Propia, 2022)	6
Figura 2.1 Proceso de Distribución. (Elaboración Propia, 2022)	8
Figura 2.2 Voz del cliente. (Elaboración Propia, 2022).....	9
Figura 2.3 Despliegue de la función de calidad. (Elaboración Propia, 2022)	10
Figura 2.4 Simbología para el QDF. (Elaboración Propia, 2022).....	10
Figura 2.5 Plan de recolección de datos. (Elaboración Propia, 2022)	12
Figura 2.6 Ejemplo de base de datos de medicamentos con su PVP. (Elaboración Propia, 2022)	14
Figura 3.1 Ejemplo Matriz de Resultados. (Elaboración Propia, 2022)	24
Figura 3.2 Ejemplo de solución rutas (línea recta). (Elaboración Propia, 2022).....	25
Figura 3.3 Análisis de Costos. (Elaboración Propia, 2022)	26
Figura 3.4 Solución Ruta 1. (Elaboración Propia, 2022).....	26
Figura 3.5 Solución Ruta 3. (Elaboración Propia, 2022).....	27
Figura 3.6 Solución Ruta 3. (Elaboración Propia, 2022).....	27
Figura 3.7 Ejemplos escenario 1 y 2 (Elaboración Propia, 2022)	28
Figura 3.8 Reducción de horas extra. (Elaboración Propia, 2022)	30
Figura 3.9 Reducción de emisión CO2 (Elaboración Propia, 2022)	31
Figura 3.10 Reducción de costos de transporte. (Elaboración Propia, 2022).....	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Parte de la tabla puntos y coordenadas	18
Tabla 2.2 Ejemplo Matriz de distancias	19
Tabla 3.1 Requerimientos del cliente	21
Tabla 3.2 Restricciones	21
Tabla 3.3 Análisis de Costos Escenario 1	28
Tabla 3.4 Resultados Escenario 2.....	29
Tabla 3.5 Análisis de Costo Escenario 2	29
Tabla 3.6 Horas Extras.....	30
Tabla 3.7 Beneficios Económicos.....	31
Tabla 3.8 Viabilidad del proyecto.....	33

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

Una de las necesidades desde la existencia de la humanidad ha sido la movilización de objetos, personas, alimentos y mercancías en general, los grupos se desplazaban y se establecían en diferentes territorios, creando la necesidad de transportar objetos de un lugar a otro. Por lo que surgió la necesidad de buscar una forma más eficiente de transportar la carga a través de medios terrestres, marítimos, ferroviarios o aéreos, por lo que aparecieron los primeros vehículos, ferrocarriles, barcos y aviones.

El transporte de carga en cualquiera de sus formas toma cada vez más protagonismo en el mundo actual, siendo un factor clave para la economía de cualquier país industrializado, desarrollado o en vías de desarrollo. (Campo Elías López Rodríguez, 2019)

La logística es un factor importante dentro de la cadena de suministros de cualquier organización. Con el tiempo los clientes se vuelven más exigentes y aparecen nuevas necesidades que la logística debe de satisfacer para tener ventaja competitiva como, por ejemplo: enfocarse en que el cliente tenga su producto en el lugar y en el momento indicado. Para lograr esto, las empresas deben de enfocarse en minimizar variables que influyen en gran medida en la competitividad como lo son las distancias y los costos de transporte en su proceso de distribución. (Rendón, 2013)

Las pequeñas y medianas empresas en su mayoría realizan el transporte de cargas por vía terrestre debido a que no tienen altos volúmenes y tampoco distancias largas por recorrer. En la distribución logística se tienen grandes retos y uno al cual se enfrentan las corporaciones y cualquier tipo de negocio que se encargue de la distribución de productos es poder diseñar rutas que sean óptimas, recorrer las distancias más cortas entre puntos, ser capaces de responder a las restricciones del sistema o el cliente y que de esta manera se pueda reducir costos de transporte. Por este motivo se empezaron a estudiar y plantear diferentes modelos de ruteo, cada uno con características y beneficios diferentes, ya dependerá de cada empresa poder adaptar a su proceso el modelo que mejores resultados pueda dar considerando sus necesidades y restricciones.

1.1. Descripción del Problema

La empresa se dedica a la venta al por menor de productos farmacéuticos, de los cuales el 98% de sus productos son entregados directamente en los puntos de venta por el proveedor principal y, el 2% restante de los productos se compran a otros proveedores del mercado nacional. Es importante mencionar que este 2% de productos son receptados en la bodega principal de la empresa ubicado en la ciudad de Vinces provincia del Guayas, al que llamaremos: depot.

La empresa se encarga de la distribución de ese 2% de productos hacia los 77 puntos de venta con los que cuenta, estos puntos están ubicados en la provincia de los Ríos y Guayas.

Para la distribución de los productos farmacéuticos a todos sus puntos de venta, la empresa cuenta con un camión de 19.14 metros cúbicos de capacidad. Todos los puntos de venta actualmente son cubiertos mediante estrategias empíricas de distribución mediante 3 rutas, las cuales están denominadas por la empresa como: Babahoyo, Pueblos y Guayas con 35, 31 y 11 puntos de venta respectivamente. Las rutas Babahoyo y Pueblos actualmente se realizan dos veces a la semana y la ruta Guayas una vez.

El presente proyecto de investigación tiene como propósito realizar el rediseño de las rutas utilizadas por la empresa en la distribución de los productos, así como también realizar un análisis financiero de la situación actual de la empresa debido a que es una información con la que no cuentan y es necesario para poder tener un punto de comparación e identificar los beneficios que se obtendrían implementando el nuevo diseño de rutas los cuales podrían ser: reducción de distancias recorridas, costos de transporte, ahorro de tiempos, etc. Considerando siempre las restricciones que se tienen en el diseño como, por ejemplo: el número de vehículos que existen para la distribución, la ventana horaria de los puntos de venta, el punto de inicio y fin de las rutas, entre otras.

1.2. Justificación del problema

Actualmente la empresa desconoce si la forma en la que distribuye su producto hacia los diferentes puntos de venta es la adecuada, ya que las rutas se realizan de manera empírica, toman más de 10 horas en completarse lo que implica el pago de horas extras y no llevan un control de los costos generados, esto no les permite medir si la forma en la que distribuyen sus productos es la más conveniente para reducir costos. Necesita también encontrar el número de rutas óptimas, que minimice las distancias recorridas y que en lo posible no le tome más de 8 horas al personal de abastecimiento completar

cada ruta existente, debido a que se busca reducir las horas extras utilizadas para realizar el recorrido de las rutas, de esta manera poder mejorar el proceso de distribución propia de dichos productos, lo que conlleva tener la información real de cómo se está distribuyendo la mercadería.

Por otro lado, con la implementación del modelo de ruteo y método matemático implementado se logrará que la empresa pueda tener un control sobre los gastos que se generan cuando se realiza una determinada ruta y a futuro puedan tomar decisiones sobre el proceso de distribución entre la bodega principal (depot) y los diferentes puntos de venta.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Rediseñar las rutas del proceso de distribución propia aplicando modelos de ruteo para determinar las rutas óptimas de una empresa de venta minorista de productos farmacéuticos logrando cubrir todos los puntos de venta de cada ruta minimizando los costos de transporte.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Obtener las distancias y tiempos reales desde la bodega central a los puntos de venta y entre puntos de venta, para realizar el modelado de las nuevas rutas.
2. Planificar el recorrido de las nuevas rutas utilizando un modelo matemático que optimice las rutas de distribución propia a los 77 puntos de venta.
3. Minimizar el costo de transporte modelando rutas óptimas de tal manera que este no sea mayor a la utilidad esperada por cada ruta.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Diseño de rutas de transporte

Las rutas de transporte se pueden conceptualizar como un sistema integrado entre las bodegas de almacenamiento (depot) o centros de distribución y los diferentes métodos de transporte, este sistema también es conocido como red de distribución.

En la actualidad las rutas de transporte son consideradas un elemento de gran impacto en el mundo empresarial y la ubicación de los centros de distribución debe ser pensada estratégicamente, puesto que con esta decisión se puede obtener una reducción de las variables distancia y tiempo de recorridos en las rutas, lo cual implica una reducción en los costos finales de transporte.

Los flujos que se encargan de conectar una red de distribución son los siguientes:

- Flujo de materiales
- Flujo de información
- Flujo Monetario

Para realizar el diseño de una red de distribución, se debe identificar los requerimientos y las restricciones en el proceso de distribución del cliente, con el objetivo de poder seleccionar el tipo de modelado de ruteo adecuado y estructurar los elementos requeridos, que, dependerá del producto o servicio que brinde el cliente (Garcia Sabater, 2020).

1.4.2. Rutas

Una ruta se define como el recorrido realizado en la distribución de la mercancía (producto o servicio) y está condicionada en dos parámetros, la distancia recorrida y el tiempo en que se completa la ruta. Se puede subdividir en rutas fijas donde los puntos de recolección y entrega pueden ser los mismos en un periodo de tiempo determinado o rutas dinámicas que están sujetas a cambio o reprogramaciones, optimizando el tiempo y las distancias recorridas.

Las rutas y los medios de transporte son los encargados del traslado de los productos entre la empresa y sus clientes los cuales están separados entre distancias. Este proceso de distribución que se realiza para que el producto llegue al cliente tiene una repercusión en el costo final del producto.

Las rutas tomadas como variables pueden ser manipuladas o administradas mediante un sistema de red de distribución y actualmente son vistas como una oportunidad para reducir costos y optimizar la operación de distribución del producto final.

1.4.3. Costos de Transporte

Los costos de transporte son los costos logísticos de mayor magnitud, las variables tomadas en cuenta para el cálculo del costo dependerán si el transporte lo hace la misma empresa o si se tiene un proveedor para este servicio, en el primer caso estarán implicados los diferentes costos de la cadena de transporte como el mantenimiento del vehículo, seguros, peajes, combustible, salarios, entre otros y para el segundo caso los costos serán dados en la factura del proveedor (RESTREPO DE OCAMPO, 2010).

1.4.4. Modelos de ruteo

Los modelos de ruteo de vehículos son representaciones matemáticas que abarcan diferentes características y restricciones de las situaciones que se podría encontrar en

un problema de rutas de transporte o red de distribución, con la finalidad de poder analizar y encontrar la mejor solución para el cliente. Dentro de un modelo de rutas se consideran distintas variables dependiendo del modelo que se esté estudiando, es muy común encontrar variables como distancias, capacidad del vehículo, tiempos de servicio, ventanas horarias, demanda y otras características de las cuales es necesario conocer su comportamiento.

Para poder llegar a una solución óptima los modelos utilizan algoritmos o métodos de resolución como el método exacto, heurística y metaheurística que se eligen de acuerdo con la situación estudiada. Un modelo de ruteo no solo necesita de métodos de resolución, es esencial que esto sea traducido a un lenguaje de programación con softwares que permitan llegar a una solución más rápido. (Rocha & González, 2011)

Existen diferentes tipos de modelos de ruteo de vehículos, a continuación, se mencionarán los que podrían ajustarse más al proyecto.

- Ruta de un modelo TSP
- Ruta de un modelo VRP
- Ruta de un modelo MDVRP

1.4.5. Ruta de un modelo TSP

El modelo se conoce por su sigla en inglés como TSP (Travelling Salesman Problem) Problema del Agente Viajero en español, se podría considerar como el primer modelo a partir del cual se generaron nuevos modelos un poco más complejos, en otras palabras, el modelo TSP es el modelo más general o con menos restricciones de todos los que existen. Para aplicar este tipo de modelo se debe considerar los siguientes aspectos:

- Contar con una sola bodega o depot
- La ruta empieza y termina en el mismo y único depot,
- Para este modelo no se considera restricciones como la capacidad del vehículo porque no existe demanda asociada a los clientes.

1.4.6. El objetivo del modelo es visitar todos los puntos de venta con un solo camión al mínimo costo. Rutas de un modelo VRP

El modelo se conoce por sus siglas en inglés como VRP (Vehicle Routing Problem) Problema de Ruteo de Vehículo en español, a diferencia del modelo TSP, este considera la capacidad del vehículo, un conjunto de puntos o clientes, una flota de vehículos, adicionalmente cada vehículo debe de realizar una ruta, visitar a los clientes una sola vez, empezar y terminar la ruta en el mismo depot como lo expresa la Figura 1.1. El

objetivo de este modelo es determinar el conjunto de rutas óptimas al mínimo costo, lo que hace de aquí se desprendan otros modelos con el principio inicial, pero abarcan otras restricciones.

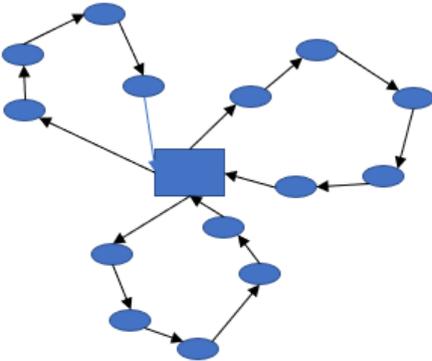


Figura 1.1 Ruta de un Modelo VRP. (Elaboración Propia,2022)

1.4.7. Rutas de un modelo MDVRP

El modelo se conoce por sus siglas en ingles MDVRP (Multiple Depot Vehicle Routing Problem), Problema de Ruteo de Vehículos con Múltiples Depósitos en español, como su nombre lo indica es una extensión del modelo VRP, pero ahora considerando “Múltiples Bodegas”, el modelo crea rutas que son óptimas y que cada ruta cuente con una bodega diferente. Este modelo cumple la misma función que en el modelo VRP, la ruta inicia y termina en el mismo depot y el camión visita una sola vez a los clientes. EL MDVRP tiene como objetivo minimizar la cantidad de vehículos que se utilizan durante las rutas (Bermeo Muñoz, 2009). Como se muestra en la Figura 1.2.

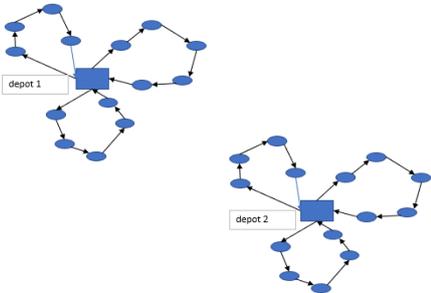


Figura 1.2 Ruta de un Modelo MDVRP. (Elaboración Propia, 2022)

1.4.8. Métodos o algoritmos de solución de los modelos de rutas

Existen diferentes categorías para los métodos de solución de los modelos de ruteo, entre los más comunes se tiene el método exacto, heurístico y metaheurístico, de estos existen subcategorías que se basan en la programación entera, lineal y dinámica (Laporte, 1941).

El método exacto se utiliza cuando el número de nodos llega a 50 y no se busca ser tan exactos con la solución, por otro lado, el método heurístico se utiliza para nodos de menor tamaño y cuando se requiere una solución más exacta, es decir que se consideren la mayor cantidad de variables que influyen en el proceso. Es importante mencionar que fue en el 1960 cuando empezaron a desarrollarse este tipo de métodos, siendo Clarke y Wright quienes propusieron el primero método con resultados satisfactorios (Laporte, 1941).

El método metaheurístico se utiliza cuando se quiere ser lo más acertados posibles en la solución, este método se clasifica en diferentes algoritmos de solución, siendo los más comunes a utilizarse los siguientes: la búsqueda por vecindades, búsqueda Tabú y Redes Neuronales.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El presente proyecto se realizó bajo la metodología Lean Six Sigma, metodología de mejora continua, la cual cuenta con las etapas de Definir, Medir, Analizar, Diseñar e Implementar el prototipo.

2.2. Definir

2.2.1. SIPOC

Según KANBAN TOOL (2022), el diagrama SIPOC es una representación gráfica en la cual intervienen: Proveedores (suppliers), Entradas (inputs), Procesos (process), Salidas (outputs), y Clientes (customers). A través de esta herramienta se logró mostrar el proceso de distribución actual de la empresa, e identificar el enfoque del proyecto en el proceso de planificar el recorrido de la ruta, como se puede observar en la figura 2.1:

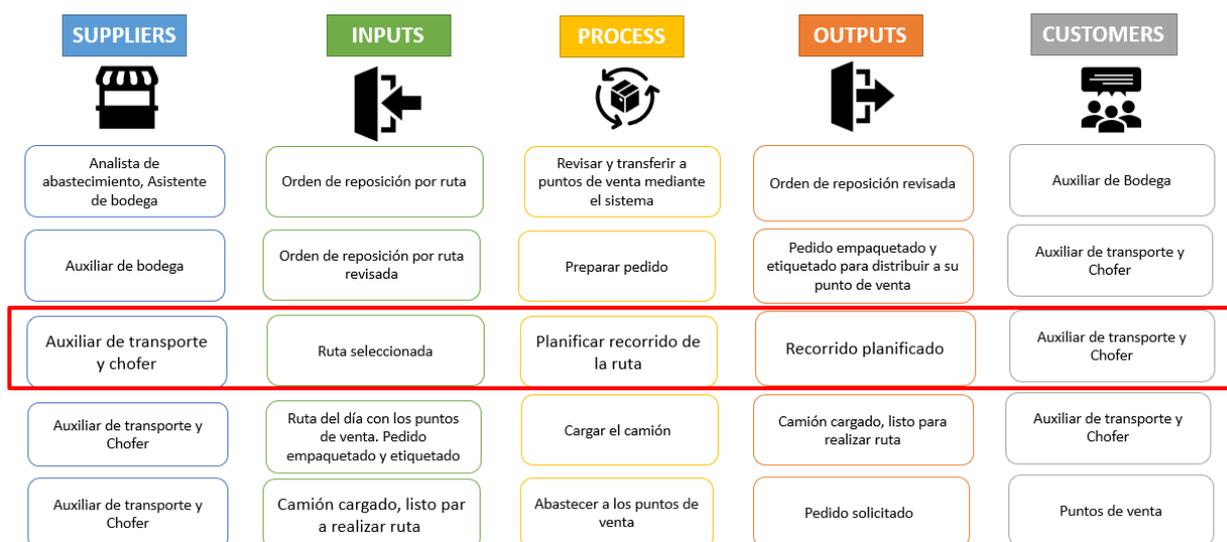


Figura 2.1 Proceso de Distribución. (Elaboración Propia, 2022)

2.2.2. Voz del cliente

La voz del cliente o VOC es un método que permite describir las necesidades del cliente, los requerimientos o expectativas que tienen sobre los diferentes productos o servicios de una marca (QUALTRICS XM, 2022).

De las diferentes reuniones que se tuvo con el equipo del proyecto, y con el cliente clave. Los clientes o el equipo de trabajo del proyecto está conformado por: Gerente de cadena de suministro, Supervisoras de área de ventas y La Coordinadora de Operaciones quien

a su vez cumple el rol de cliente clave. El cliente clave dentro del equipo de trabajo de la empresa es el encargado de la aprobación y verificación del proyecto, quien da paso a las siguientes etapas o realiza correcciones.

De las reuniones conjuntas se obtuvieron las siguientes necesidades como se muestra en la Figura 2,2:

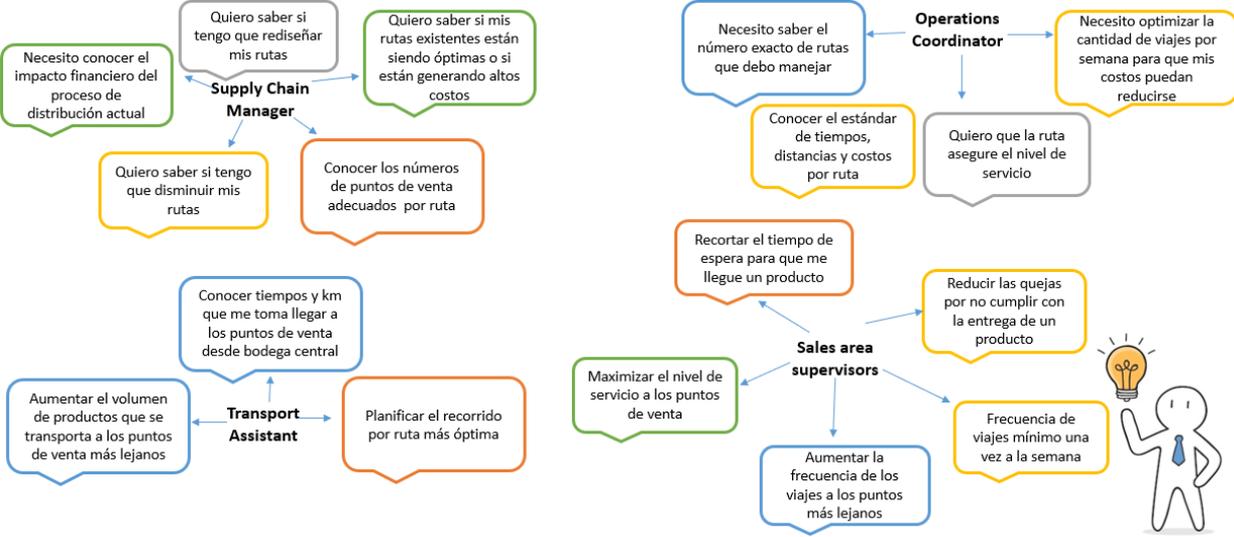


Figura 2.2 Voz del cliente. (Elaboración Propia, 2022)

2.2.3. Despliegue de la función de calidad QFD

Según Ruiz & Rojas (2009), el QFD de las siglas en inglés Quality Function Deployment se puede definir como un sistema detallado para transformar las necesidades y deseos del cliente en requisitos de diseños de productos o servicios.

A través de esta herramienta, el equipo del proyecto y el cliente clave calificaron las especificaciones de diseño y su grado de importancia, por lo que se obtuvieron los siguientes resultados, como lo muestra la Figura 2.3:

QFD

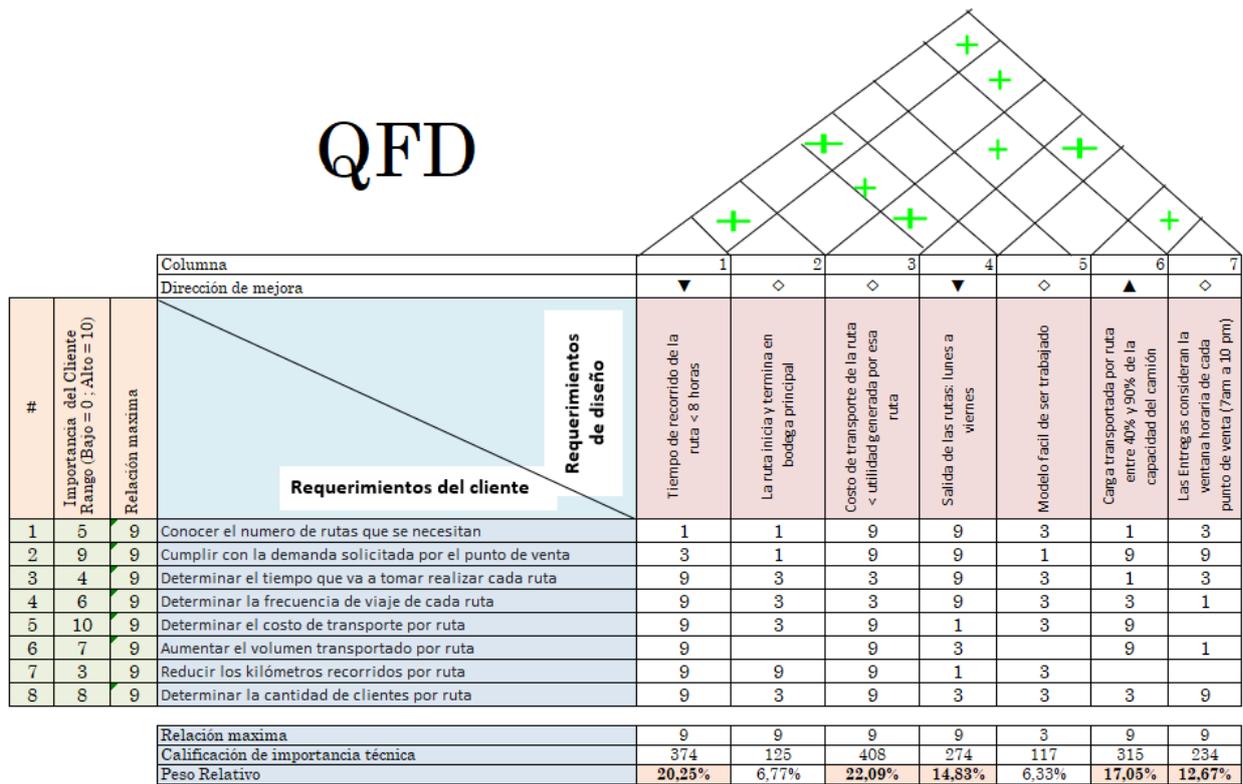


Figura 2.3 Despliegue de la función de calidad. (Elaboración Propia, 2022)



Figura 2.4 Simbología para el QFD. (Elaboración Propia, 2022)

Como resultado del QFD se obtuvieron que los requerimientos de diseño con la mayor calificación fueron los siguientes:

- EL costo de transporte de la ruta sea menor a la utilidad generada.
- El Tiempo de recorrido de la ruta sea menor a 8 horas.
- El porcentaje de ocupación del camión este entre el 40% y el 90% en cada recorrido.
- El horario de las salidas de las rutas sea de lunes a viernes.
- Las ventanas horarias de los puntos de venta estén entre las 7am a las 10pm.

2.2.4. Restricciones de Diseño

Se consideró como restricciones a los diferentes tipos de limitaciones que existen en el diseño del proyecto, teniendo así:

- Número de vehículos disponibles, la empresa actualmente para la distribución de los productos farmacéuticos cuenta con un camión con una capacidad de carga de 3.5 toneladas, el mismo que tiene un furgón con capacidad volumétrica de 19.14 metros cúbicos, teniendo: 2,10m de altura, 4,34m de largo y 2,10m de ancho
- No hay data histórica sobre las rutas, ya que actualmente en la empresa no se llevan registros de los kilómetros, tiempos y costos que se generan cada vez que el camión realiza una determinada ruta.
- Ventanas horarias en las que el camión puede visitar los puntos de venta son de 7h00 de la mañana hasta las 10h00 de la noche.
- La bodega principal es el punto de inicio y punto final de la ruta.
- El camión puede realizar el recorrido de las rutas de lunes a sábado.

2.3. Medición

Para esta fase se recolectó la información requerida para cada una de las variables establecidas en el diseño del modelo de la ruta de transporte. La información fue incluso recolectada por los líderes del proyecto.

2.3.1. Plan de recolección de datos

En el plan de recolección de datos se detalla las variables que se desean medir, la unidad en que fue medida, el tipo de dato, así como también el porqué, cuándo, donde, como y para qué se midió la variable. El plan de recolección de datos implementado en este proyecto lo podemos observar en la siguiente Figura 2.5.

ESPECIFICACIONES QFD	Nomenclatura	QUÉ	Unidad de medida	Tipo de datos	DÓNDE	CÓMO		POR QUÉ	ESTADO	QUIÉN
		Significado de la operación			Donde recoger	Método de observación	Como recolectar	Por qué coleccionar	Progreso	Persona a cargo
Tiempo de recorrido de la ruta < 8 horas - Salida de las rutas: lunes a viernes	x1	Total de puntos de venta	Farmacias	Cuantitativa y discreta	Punto de venta	Se visitó cada uno de los puntos	Visitando los 77 puntos de venta	Esto permitirá conocer los puntos de venta que se tienen que considerar en las rutas	completo	Geovanny Sánchez
Tiempo de recorrido de la ruta < 8 horas - Costo de transporte de la ruta < utilidad generada por esa ruta	x2	Distancias	KM	Cuantitativa y discreta	En ruta	Medidas realizando la ruta	Tomando el kilometraje del vehículo a la llegada y salida de cada punto de venta	Esto permitirá conocer los puntos de venta más cercanos entre si	completo	Alisson Canchingre, Geovanny Sánchez
Tiempo de recorrido de la ruta < 8 horas	x3	Ubicaciones de los puntos de venta (coordenadas)	Longitud y Latitud	Cuantitativa y discreta	Puntos de venta	Tomados en puntos de venta	En cada punto de venta guardar la ubicación que aparece en Google maps	Esto permitirá conocer las distancias en km entre puntos de venta	completo	Geovanny Sánchez
Tiempo de recorrido de la ruta < 8 horas	x4	Tiempo entre puntos de venta	Minutos	Cuantitativa y discreta	En ruta	Tomando al realizar la ruta	Tomar el tiempo de salida de un punto de venta y el tiempo de llegada al siguiente punto de venta	Esto permitirá modelar la ruta con la restricción que no tome más de 8 horas	completo	Geovanny Sánchez
Tiempo de recorrido de la ruta < 8 horas	x5	Tiempo de servicio	Minutos	Cuantitativa y discreta	Puntos de venta	Tomando al realizar la ruta	Tomar el tiempo de llegada y salida en cada punto de venta	Esto permitirá conocer el tiempo real hasta llegar de un punto de venta a otro	completo	Alisson Canchingre, Geovanny Sánchez
Carga transportada por ruta entre 40% y 90% de la capacidad del camión	x6	Capacidad del camión	Metros cúbicos	Cuantitativa y discreta	Warehouse	Medida junto a los operadores	Verificar las especificaciones que ya vienen en el camión	Esto permitirá conocer cuál es el límite de carga a transportar por viaje	completo	Alisson Canchingre, Geovanny Sánchez
Costo de transporte de la ruta < utilidad generada por esa ruta	x7	Costo de compra por producto	USD (\$)	Cuantitativa y discreta	Departamento de Abastecimiento	Entrevista	Solicitar la base de datos al departamento de abastecimiento y compararlo con una nota de compra	Esto permitirá analizar la información del costo de la carga que se está transportando en cada viaje.	completo	Alisson Canchingre, Geovanny Sánchez
Costo de transporte de la ruta < utilidad generada por esa ruta	x8	PVP por producto	USD (\$)	Cuantitativa y discreta	Departamento Financiero	Entrevista	Solicitar base de datos al departamento financiero	Nos permitirá calcular la utilidad de la carga transportada	completo	Alisson Canchingre, Geovanny Sánchez
Carga transportada por ruta entre 40% y 90% de la capacidad del camión. - Salida de las rutas: lunes a viernes	x9	Demanda de los puntos de venta	Unidades/día	Cuantitativa y discreta	Departamento de Abastecimiento	Entrevista	Histórico del consumo real de los productos	Esto permitirá realizar un modelado óptimo y diseñar rutas de acuerdo a la demanda	completo	Alisson Canchingre, Geovanny Sánchez
Costo de transporte de la ruta < utilidad generada por esa ruta	x10	Costo de transporte actual	USD (\$)	Cuantitativa y discreta	Departamento de Abastecimiento	GEMBA	Costos fijos y costos variables (mantenimiento, combustible)	Permitirá conocer la situación actual de las rutas	completo	Alisson Canchingre
Ventana horaria de los puntos de venta entre 7am a 10 pm	x11	Ventana de puntos de venta	Horas del día	Cuantitativa y discreta	Puntos de venta	Visita a los puntos de venta	En cada punto de venta	Conocer la franja horaria del punto de venta abierto, en donde puede ser entregado el producto	completo	Geovanny Sánchez

Figura 2.5 Plan de recolección de datos. (Elaboración Propia, 2022)

2.3.1.1 Descripción de las variables

Variables por obtener:

X1: Total de puntos de venta. – Se logró constatar la totalidad de 77 puntos de venta en las tres rutas existentes.

X2: Distancias. – Al realizar las diferentes rutas se tomaba la distancia en kilómetros que existe entre los puntos de venta de una ruta.

X3: Ubicación de los puntos de venta. – Mientras se realizaba una ruta al llegar a cada punto de venta se tomaba la ubicación de cada punto utilizando la herramienta Google Maps.

X4: Tiempo entre puntos de venta. – Se tomaba el tiempo que demoraba llegar de un punto de venta a otro.

X5: Tiempo de servicio. – Se tomaba el tiempo que demoraba el auxiliar de transporte en dejar el producto en cada punto de venta.

X6: Capacidad del camión. – Se midió junto a los auxiliares de transporte la totalidad de la capacidad del furgón de camión para conocer el límite de carga a transportar en una ruta.

X7: Costo de compra por producto. – Valor de cada uno de los productos distribuidos, dato otorgado por la empresa.

X8: PVP por producto. – Precio en el que la empresa vende cada producto distribuido, dato proporcionado por la empresa que permitía a futuro calcular la utilidad del producto.

X9: Demanda de los puntos de venta. – Cantidad de producto solicitado por cada punto de venta, dato proporcionado por la empresa.

X10: Costo de transporte actual. – Dato a considerar para conocer la situación económica actual que generaba realiza cada ruta.

X11: Ventana de puntos de venta. – Franja horaria en la que era permitido entregar el producto en cada punto de venta.

2.2.1.2 Confiabilidad de los datos

Para garantizar confiabilidad de los datos otorgados por la empresa, se realizó la validación in-situ de las siguientes variables:

- X1 Total de puntos de venta; fue necesario visitar personalmente todos los puntos de venta en los que se entregó producto, dando como resultado una totalidad de 77 puntos de venta.
- X2 Distancias; se tomó la distancia de los kilómetros recorridos de punto a punto, anotando el kilometraje que marcaba el camión distribuidor antes de salir de un punto de venta hasta llegar a otro punto de venta.
- X3 Ubicación de los puntos de venta; al llegar a cada punto de venta se tomaba la ubicación de este utilizando la herramienta de Google Maps, dato que sería luego comparado y verificado con la base de datos de las ubicaciones de los puntos de venta proporcionados por la empresa.
- X4 Tiempo entre puntos de venta; se tomó el tiempo por cronómetro de la duración al llegar de un punto de venta a otro.

- X5 Tiempo de servicio; tiempo tomado con cronómetro de la duración que tenía el despacho de producto en cada punto de venta.
- X6 Capacidad del camión; dato medido personalmente junto a los auxiliares de transporte.
- X11 Ventana de puntos de venta; dato tomado personalmente visitando algunos de los puntos de venta dentro de las ventanas horarias.

A través de la toma de datos durante el recorrido de las 3 rutas que actualmente la empresa realiza para la distribución propia de sus productos. En el APÉNDICE se encuentran los resultados obtenidos.

Para corroborar la validez de algunos otros datos otorgados por la empresa como por ejemplo sobre el PVP del producto, se tomó una muestra de los productos entregados en un punto de venta. Se realizó una cotización, se compararon los valores, y se corrobora la validez de la información otorgada. Como se muestra en la Figura 2.6.

MEDICAMENTOS	PROVEEDORES	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL CALCULADO	PVP TOTAL CALCULADO
CURITA NEXCARE P-AGUA TRANSPx12	3M MEDICAL	\$1,66	\$6,63	\$16,08
PARCHE NEXCARE SOBx6CMx10CMx5+PAD	3M MEDICAL	\$4,47	\$8,94	\$18,54
PARCHE NEXCARE TEGADE SOBx5CMx7CMx5	3M MEDICAL	\$3,20	\$9,59	\$19,29
ENSOY POLVO DYAL+ VAINILLAx400GR	ABBOTT ESPECIALIDAD	\$15,62	\$31,23	\$44,28
BACTIFLOX COMx500MGx10	ACINO PHARMA	\$10,23	\$40,93	\$51,48
BERIFEN CAP-LIB-PROLOGx100MGx20	ACINO PHARMA	\$9,94	\$29,82	\$47,37
BERIFEN TABSx50MGx20	ACINO PHARMA	\$3,10	\$3,10	\$4,77
GASEC CAPx20MGx14	ACINO PHARMA	\$12,56	\$25,13	\$31,32
MESPORIN IM AMP-INYx1GR	ACINO PHARMA	\$8,85	\$17,69	\$24,00
MESPORIN-IV AMPx1000MGx10MLx1	ACINO PHARMA	\$8,84	\$17,69	\$24,00
HYLO DUAL GOT-OFTx20/0.5MGx10ML	ALEXIAPHARMA	\$11,40	\$11,40	\$16,52
HYLO FRESH GOT-OFTx0.3MG/10ML	ALEXIAPHARMA	\$10,18	\$10,18	\$14,80
AMLOPRESS TAB-RECx10/16MGx30	ALIANZA ABBOTT.FARMA	\$25,00	\$25,00	\$34,50
AMLOPRESS TAB-RECx5/16MGx30	ALIANZA ABBOTT.FARMA	\$24,38	\$24,38	\$33,00
BELLAFACE SUAVE TAB-REx20MCG/2MGx28	ALIANZA ABBOTT.FARMA	\$12,07	\$12,07	\$16,03
BETASERC COMx16MGx20	ALIANZA ABBOTT.FARMA	\$11,38	\$11,38	\$15,20
BETASERC TABx24MGx20	ALIANZA ABBOTT.FARMA	\$14,89	\$29,78	\$40,00
BIOTIPLUS CAPx3.4Gx15	ALIANZA ABBOTT.FARMA	\$17,95	\$143,61	\$235,52
BLOPRESS COMx16MGx30	ALIANZA ABBOTT.FARMA	\$33,61	\$33,61	\$44,59
BLOPRESS COMx8MGx30	ALIANZA ABBOTT.FARMA	\$23,41	\$93,63	\$123,84
BLOPRESS-PLUS TABx16MGx30	ALIANZA ABBOTT.FARMA	\$20,39	\$20,39	\$26,40
CONTROLIP CAPx160MGx30	ALIANZA ABBOTT.FARMA	\$15,18	\$30,36	\$38,42
CREON CAPx25000UIx20	ALIANZA ABBOTT.FARMA	\$27,44	\$54,87	\$71,20

Figura 2.6 Ejemplo de base de datos de medicamentos con su PVP. (Elaboración Propia, 2022)

2.4. Análisis

2.4.1. Análisis para la selección del modelo de ruta de transporte

En esta etapa se analizaron diferentes modelos de ruteo, tomando en consideración tanto los requerimientos del cliente, como las restricciones que existen para el diseño del proyecto.

Se analizaron los siguientes modelos de ruteo:

- Vehicle Routing Problem VRP
- Vehicle Routing Problem Time Window VRPTW
- Multiple Depot Vehicle Routing Problem MDVRP
- Vehicle Routing Problem Backhauls VRPB
- Traveling Salesman Problem TSP

Primer Criterio de Decisión

De los modelos de ruteo mencionados anteriormente, este criterio lo que consideró fue seleccionar aquellos modelos acordes a los requerimientos del cliente que fueron obtenidos del QFD Figura 2.3 Despliegue de la función de calidad (Elaboración Propia, 2022), de los cuales resultaron seleccionados:

- Vehicle Routing Problem VRP
- Vehicle Routing Problem Time Window VRPTW
- Traveling Salesman Problem TSP

Estos modelos resultaron seleccionados ya que se consideró que: es un solo camión el que va a generar las rutas, la ruta comienza y termina en el mismo punto, los puntos de venta son visitados una sola vez por el camión.

Segundo Criterio de Decisión

Considerando las restricciones en el diseño de las rutas, se comparó las características de todos los modelos a consideración, de los modelos que cumplen con los requerimientos del cliente fueron obtenidos:

- Vehicle Routing Problem VRP
- Vehicle Routing Problem Time Window VRPTW
- Traveling Salesman Problem TSP

De estos se consideró en segunda instancia las restricciones existentes y se obtuvo los siguientes modelos como resultado, los cuales serán considerados en las propuestas de diseño:

- Vehicle Routing Problem VRP
- Vehicle Routing Problem Time Window VRPTW

2.4.2. Análisis Financiero de la situación actual

Se procedió a realizar un análisis financiero de las rutas que se realizan actualmente en la empresa.

Con la información que se recopiló cuando se realizaron las rutas, se pudo obtener los costos fijos y variables.

Para los costos fijos se consideraron los siguientes parámetros:

- Sueldos de las personas que intervienen en el proceso: 1 chofer, 2 auxiliares de bodega y 1 auxiliar de transporte, también se consideraron horas extras.
- Rastreo satelital del vehículo
- Peajes de las rutas realizadas
- Matrícula y seguro del vehículo.

Para los costos variables se consideraron los siguientes parámetros:

- Mantenimiento del vehículo, esto incluye lo que es cambios de aceite, lavadas, engrasadas y mantenimientos en general,
- Gasto por combustible en el que se consideró el diésel consumido por kilómetro (L/Km) del vehículo, los kilómetros recorridos de acuerdo con la ruta, el costo del diésel por litro precio actual del país (\$0.50 por litro).

La suma de los costos fijos y variables resulta en el costo total que tiene la empresa cada vez que sale una ruta. Los costos detallados por ruta se encuentran las tablas del APÉNDICE C

Una vez calculado los costos de cada ruta, se lo llevó a un costo mensual como se muestra en la Figura 2.7.

COSTO TOTAL DE RUTAS MENSUAL					
RUTA	KILOMETROS RECORRIDOS	COSTO POR RUTA	TIEMPO EMPLEADO	FRECUENCIA DE LA RUTA EN EL MES	COSTO TOTAL
Babahoyo	326 Km	\$ 165,45	12 Horas	6	\$ 992,70
Pueblos	360 Km	\$ 170,61	10 H 57 min	8	\$ 1.364,88
Guayas	481 Km	\$ 189,38	8 H 51 min	4	\$ 757,52
TOTAL	1167 Km	\$ 525,44	31 H 48 min	18	\$ 3.115,10

Figura 2.7 Costo total de las rutas mensual (Elaboración Propia, 2022)

Como parte del análisis financiero se determinó que el valor total mensual de las 3 rutas estudiadas es **\$3.115,10** este valor fue definido como punto de equilibrio, entiéndase como punto de equilibrio a el mínimo necesario para no tener pérdidas y donde el beneficio es cero, a partir de este punto la empresa comenzará a generar ganancias (Arias, 2020).

2.4.3. Análisis de los costos para la implementación de los modelos seleccionados

Es decir que este valor será el criterio para poder seleccionar el modelo con los mejores resultados.

El costo de implementar cualquiera de los modelos planteados va a ser \$42,51 USD, que resulta de la suma del tiempo empleado por el operador cada vez que genera una ruta, más el total de costo mensual de la licencia de la plataforma GAMS empleada para la programación como se muestra en la Figura 2.8.

COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO	
Herramienta	Costo Mensual
EXCEL	\$0,00
GAMS	\$26,67
PYTHON (navegador)	\$0,00
Costo de planificador de las rutas	\$21,96
TOTAL	\$48,63

Figura 2.8 Costo de implementación del modelo (Elaboración Propia, 2022)

Con esta información podemos decir que se conoce actualmente el costo mensual que tendría la utilización del presente proyecto, más el costo total que resultará del valor que tendrá generar las nuevas rutas.

Para la implementación del presente proyecto y su factibilidad esta suma de costos no puede ser mayor ni igual que el punto de equilibrio.

2.4.4. Construcción de los modelos matemáticos

La construcción de los modelos matemáticos inicia con la recolección y levantamiento de la información, obteniendo las coordenadas a través de Google Maps, posteriormente mediante la plataforma computacional en línea Google Colab, se calcula la matriz de distancias entre los nodos que conforman la red. Con esta información se implementa el modelo matemático en GAMS, produciendo el valor óptimo para la configuración de la red de clientes presentada.

A continuación, se detallan cada uno de los pasos realizados:

2.4.4.1. Recolectar y depurar la data

La data que se necesita para la implementación del modelo matemático depende del tipo de negocio de la organización y del alcance del estudio, el mismo que abarca al proceso de distribución de productos farmacéuticos a los clientes de las zonas etiquetadas como Babahoyo, Guayaquil y Pueblos. Por lo tanto, la información requerida es la siguiente:

- i. Número de puntos de venta a abastecer
- ii. La demanda promedio de los puntos de venta.

2.4.4.2. Considerar las coordenadas obtenidas

Para el proceso de consecución de las coordenadas de todos los nodos de la red (bodega y clientes), se empleó, Google Maps de tal manera que se obtiene la latitud y longitud de cada uno de los nodos presentes en la red como se observa en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Parte de la tabla puntos y coordendas

CÓDIGO	NODO	LATITUD	LONGITUD
SDV01	0	-1.556472	-79.753822
SDV05	1	-1.624622913	-79.56275401
SDV06	2	-1.8029525	-79.5238673
SDV07	3	-1.802182	-79.538625
SDV08	4	-1.8124703	-79.507421
SDV09	5	-1.784687	-79.6782153
SDV12	6	-1.798854	-79.529645
SDV13	7	-1.811692	-79.544044

SDV14	8	-1.7983883	-79.5327142
SDV16	9	-1.798863727	-79.53127883
SDV17	10	-1.8007009	-79.5354517

2.4.4.3. Emplear Google Colab para calcular la matriz de distancias

Con el levantamiento de las coordenadas de todos los clientes de las zonas Babahoyo, Guayaquil y Pueblos, así como de la bodega que funge como centro de distribución, se procede a construir de manera automática la matriz de distancias entre todos los nodos de la red. Mediante el uso de Google Colab.

Los pasos efectuados son:

- i. Importación al entorno de Google Colab de las librerías sklearn, math, pandas y numpy.
- ii. Importación de la hoja de cálculo de Excel que contiene las coordenadas.
- iii. Convertir las coordenadas de latitud y longitud en radianes.
- iv. Seleccionar la métrica de distancia, de acorde a las necesidades del modelado. Para efectos prácticos, se hace uso de la distancia Haversine.

Se construye la matriz de distancias como se puede visualizar en la Tabla 2.2 y se exporta la misma desde el entorno de Google Colab hacia una hoja de cálculo en Excel.

Tabla 2.2 Ejemplo Matriz de distancias

	0	1	2	3	10	15	20	40	50	60	70	77
0		22,556	37,487	36,323	39,513	26,739	36,716	36,740	36,447	36,593	36,433	18,105
1	0	19054	30619	53392	37393	98352	15948	54182	1143	88644	90093	86649
2	22,556		20,301	19,931	21,781	21,949	19,726	20,911	19,614	19,694	19,818	10,760
3	19054	0	27728	23087	06974	2329	19603	38406	33151	17212	96134	83215
10	37,487	20,301		1,6429	2,1127	17,279	0,7876	2,4447	1,1068	0,9411	1,3120	19,384
15	30619	27728	0	21069	81749	54279	65492	12178	47406	5529	18721	01588
20	36,323	19,931	1,6429		3,6529	15,640	1,0647	1,2173	0,7809	0,8962	0,3893	18,224
40	53392	23087	21069	0	64894	52897	68606	26371	50947	38569	60646	38807
50	39,513	21,781	2,1127	3,6529		19,237	2,8980	4,0724	3,2187	3,0538	3,3801	21,420
60	37393	06974	81749	64894	0	8962	00237	53288	80127	00112	02449	32022
70	26,739	21,949	17,279	15,640	19,237		16,592	15,215	16,247	16,411	15,971	12,575
77	98352	2329	54279	52897	8962	0	3665	93293	78299	65895	43599	11759
0	36,716	19,726	0,7876	1,0647	2,8980	16,592		2,1451	0,3451	0,1816	0,6774	18,611
1	15948	19603	65492	68606	00237	3665	0	49403	27824	44022	57675	3809
2	36,740	20,911	2,4447	1,2173	4,0724	15,215	2,1451		1,9432	2,0124	1,5514	18,680
3	54182	38406	12178	26371	53288	93293	49403	0	63314	68654	80967	31992
10	36,447	19,614	1,1068	0,7809	3,2187	16,247	0,3451	1,9432		0,1681	0,3984	18,341
15	1143	33151	47406	50947	80127	78299	27824	63314	0	11484	85981	31245
20	36,593	19,694	0,9411	0,8962	3,0538	16,411	0,1816	2,0124	0,1681		0,5069	18,488
40	88644	17212	5529	38569	00112	65895	44022	68654	11484	0	31049	32708
50	36,433	19,818	1,3120	0,3893	3,3801	15,971	0,6774	1,5514	0,3984	0,5069		18,329
60	90093	96134	18721	60646	02449	43599	57675	80967	85981	31049	0	50302
70	18,105	10,760	19,384	18,224	21,420	12,575	18,611	18,680	18,341	18,488	18,329	
77	86649	83215	01588	38807	32022	11759	3809	31992	31245	32708	50302	0

2.4.4.4. Declarar los conjuntos, índices y parámetros del modelo

De acuerdo con las políticas internas de la organización el sistema debe cumplir las siguientes condiciones:

- Todos los clientes (farmacias) geográficamente distribuidos deben ser atendidos una y sólo una vez.
- El punto de partida es la bodega ubicada en Vinces, misma a la que se debe retornar una vez atendidos los clientes, según la planificación.
- Para la operación se dispone de un solo camión
- Debido a que no hay decisiones asociadas a la capacidad del camión, la demanda de cada uno de los clientes es considerada en unidades.
- Se debe minimizar la utilización del vehículo para cada ruta, obteniendo el menor coste posible en el transporte de los insumos médicos.

A partir de esta información en el siguiente capítulo se estudiará los resultados obtenidos en la ejecución de ambos modelos, tanto del modelo VRP como del modelo VRPTW, con la finalidad de definir qué modelo se recomienda implementar.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El siguiente paso fue la selección del modelo, para esto se consideraron algunas opciones de modelos de ruteo tales como: VRP, VRPTW, MDVRP, VRPB y TSP y se analizó cuáles de estos modelos podían cumplir con las especificaciones de diseño y las restricciones planteadas en el QFD por el cliente, como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Requerimientos del cliente

Requerimientos del cliente	VRP	VRPTW	MDVRP	VRPB	TSP
Tiempo de recorrido	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Costo de transporte	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Salida de las rutas	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Carga transportada en ruta	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Ventanas horarias	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

En la tabla 3.4 se puede evidenciar que, para las especificaciones de diseño, 4 de los 5 modelos propuestos si pueden responder a esta necesidad.

Tabla 3.2 Restricciones

Restricciones	VRP	VRPTW	MDVRP	VRPB
Número de vehículos disponibles	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Data histórica	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Ventanas horarias	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Inicio y fin de ruta en el mismo depot	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Salida de las rutas	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Número de depósitos: 1 depot	SÍ	SÍ	NO	SÍ

En la tabla se evidencia que de los 4 modelos que podrían cumplir con los requerimientos de diseño solo 2 de ellos, el modelo VRP y VRPTW pueden incluir en sus características las restricciones que tiene la empresa, en los datos tomados se determinó que las ventanas de tiempo de los puntos de venta son amplias de 7 am a 10 pm, por lo tanto, el modelo VRP podía cumplir esta necesidad.

3.1 Modelos Matemáticos para la solución de los modelos de transporte seleccionados

3.1.1 Modelo VRP (Vehicle Routing Problem)

Para la obtención de la función objetivo del modelo VRO, se realizó lo siguiente:

Definir las variables:

Conjuntos e índices

i Nodos de origen de la red (Bodega y Clientes)

j Nodos de destino de la red (Bodega y Clientes)

Parámetros

d_{ij} Distancia asociada al arco $(v_i, v_j) \in A$

dem_i Cantidad demandada por el cliente i

Q Capacidad del camión

z Variable objetivo que contempla la distancia total recorrida

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si el arco es factible en la ruta } ij \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

u_i Variable auxiliar que establece la demanda acumulada al momento de llegar al nodo i

Función Objetivo:

$$\min \sum_{\forall i \in V} \sum_{\forall j \in V} d_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a:

Se sale de cada nodo cliente exactamente una sola vez:

$$\sum_{\forall j \in V, j \neq i} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\}$$

Se llega a cada nodo cliente exactamente una sola vez:

$$\sum_{\forall i \in V, i \neq j} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\}$$

Eliminación de subciclos y establecer la demanda acumulada al momento de salir del cliente i :

$$u_i - u_j + Qx_{ij} - Q + dem_j \leq 0$$

$$\forall i \in V \setminus \{0\}, \forall j \in V \setminus \{0\}, i \neq j$$

Restricciones de capacidad:

$$dem_i \leq u_i \leq Q \quad \forall i \in V \setminus \{0\}$$

Variables binarias y no negatividad:

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V, \forall j \in V$$

$$u_i \in Z^+ \quad \forall i \in V \setminus \{0\}$$

3.1.2 Modelo VRPTW (Vehicle Routing Problem Time Windows) Para la obtención de la función objetivo del modelo VRPTW, se realizó lo siguiente:

Se utilizaron las mismas variables que en el Modelo VRP (Vehicle Routing Problem) adicionando la variable k que hace referencia a la cantidad de camiones.

$$\min \sum_{\forall i \in V} \sum_{\forall j \in V} \sum_{\forall k} d_{ij} x_{ijk}$$

Sujeto a:

$$\sum_{\forall j \in V \setminus \{0\}, j \neq i} x_{ijk} = 1; \quad \forall i \in V \setminus \{0\}, \quad \forall k$$

$$\sum_{\forall j \in V \setminus \{0\}, i \neq j} x_{0jk} = 1; \quad \forall k$$

$$\sum_{\forall i \in V \setminus \{0\}, i \neq j} x_{ijk} = \sum_{\forall i \in V \setminus \{0\}, j \neq i} x_{jik}; \quad \forall j \in V \setminus \{0\}, \quad \forall k$$

$$\sum_{\forall i \in V \setminus \{0\}, i \neq j} x_{i0k} = 1; \quad \forall k$$

$$t_{ik} + ts_i + tv_{ij} - t_{jk} \leq (1 - x_{ijk})M; \quad \forall i \in V, \quad \forall j \in V, \quad \forall k, \quad i \neq j$$

$$a_i \leq t_{ik} \leq b_i \quad \forall i \in V, \quad \forall k$$

$$\sum_{\forall i \in V \setminus \{0\}} \sum_{\forall j \in V \setminus \{0\}} dem_i x_{ijk} \leq Q; \quad \forall k$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V, \forall j \in V, \forall k$$

$$t_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in V \setminus \{0\}, \forall k$$

3.2. Modelado en Gams Studio

Una vez creados los modelos matemáticos con la función objetivo y sus respectivas restricciones se utilizó la herramienta de Gams Studio para obtener los resultados de la cantidad de rutas óptimas que se debe de tener y la secuencia que cada ruta deberá seguir.

3.2.1. Resultados de Modelado VRP

Para el modelo VRP, se obtuvo como resultado una configuración de 3 rutas con un recorrido lineal de 371 km. A través de la a herramienta Google My Maps se determinó el recorrido real de 945 km de las 3 rutas generadas, se puede visualizar en el APÉNDICE los resultados obtenidos de la programación en Gams del modelo VRP.

El modelo dio como resultado una matriz con los puntos de venta que son visitados en cada ruta y la secuencia que estos siguen.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	0	1												
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														

Figura 3.1 Ejemplo Matriz de Resultados. (Elaboración Propia, 2022)

Se consideran los 78 puntos incluida la bodega principal, todas las rutas salen del mismo y único depot, los puntos de venta son visitados solo una vez por el camión y se considera una utilización del camión del 60% de su capacidad. La ruta 1 cuenta con 27 puntos que están ubicados por la zona de Babahoyo, la ruta 2 cuenta con 17 puntos de venta ubicados en la zona sur tomando como referencia Vines y la ruta 3 que cuenta con 33 puntos de venta que se encuentran en la zona norte tomando como referencia la ciudad de Vines. En la Figura 3.2 se muestra el recorrido de las rutas obtenidas con el modelo VRP.



Figura 3.2 Ejemplo de solución rutas (línea recta). (Elaboración Propia, 2022)

3.2.2. Resultados de Modelado VRPTW

Para el modelo VRP, se obtuvo como resultado un recorrido lineal de 889 km con la distancia real este valor iba a aumentar haciendo que incluso llegue a ser mayor a la situación que inicialmente tenía la empresa. Se puede visualizar en el APÉNDICE .

3.3. Análisis de costos

Con un costo estimado de 0.45\$/km que se obtiene del costo inicial calculado los costos para los dos modelos planteados, como se muestra en la Figura 3.3. Para el modelo VRP se obtuvo un costo total de \$425, mientras que para el modelo VRPTW el costo total fue de \$1439, 35. Por lo cual, el modelo con el mejor costo total fue el VRP. Sin embargo, el modelo VRPTW es conveniente realizarlo con un número mayor de camiones distribuidores o depósitos y con ventanas de tiempo más reducidas.

Modelo	Kilometros recorridos calculados en GAMS (línea recta)	Kilometros reales recorridos	Costo total
situación actual		1167	\$ 525,44
VRP	657,95	945	\$425,25
VRPTW	2911,50	3198,55	\$1.439,35

Figura 3.3 Análisis de Costos. (Elaboración Propia, 2022)

3.3.1. ANÁLISIS DE LAS RUTAS DEL MODELO SELECCIONADO

Se analizó si los resultados dados por el modelo ganador (VRP) cumplen con las especificaciones de diseño y las restricciones planteadas en el QFD y se consideraron dos escenarios que se presentan a continuación:

3.3.1.1. Escenario 1

El escenario 1 es el resultado que arrojó el modelado de gams inicial APÉNDICE con 3 rutas como se muestra en la Figura 3.4, Figura 3.5 y Figura 3.6 a continuación:

- **Ruta 1**



Figura 3.4 Solución Ruta 1. (Elaboración Propia, 2022)

- **Ruta 2**

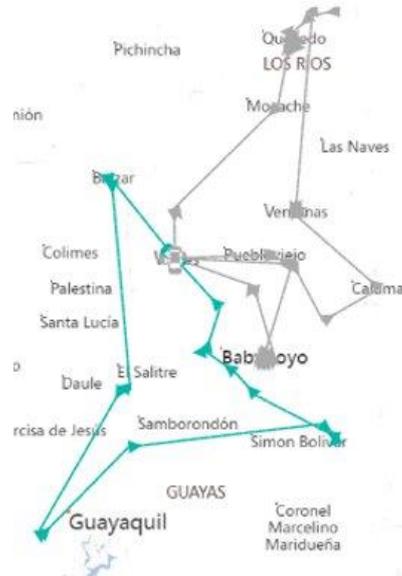


Figura 3.5 Solución Ruta 3. (Elaboración Propia, 2022)

- **Ruta 3**



Figura 3.6 Solución Ruta 3. (Elaboración Propia, 2022)

Análisis de costos escenario 1

Se consideran los siguientes aspectos para los costos del escenario 1 mostrados en la Tabla 3.6.

Costo por kilómetro = 0.45\$/km

Costo Total = Costo por kilómetro * Distancia recorrida por ruta

Tabla 3.3 Análisis de Costos Escenario 1

ESCENARIO 1						
RUTA	Nº de puntos	Distancia Recorrida (KM)	Tiempo promedio de servicio (Hrs)	Duración de la ruta (Hrs)	Tiempo total (Hrs)	Costo Total (\$)
1	27	156	1,80	3,02	4,82	70,239
2	17	412	1,13	7,77	8,90	185,502
3	33	377	2,20	6,92	9,12	169,744
TOTAL	77	945	5,13	17,71	22,84	425,485

3.3.1.2. Escenario 2

Se identifica la oportunidad de modificar los resultados dados por el escenario 1 mostrados en la Tabla 3.4 ya que la ruta 1 tiene un tiempo de recorrido de 4.86 horas, aún tiene un gap considerable hasta las 8 horas que dura la jornada laboral. Se identificó que había tres puntos pertenecientes a la ruta 3 que estaban muy cercanos al recorrido que hace la ruta 1. Como se muestra en la Figura 3.7.

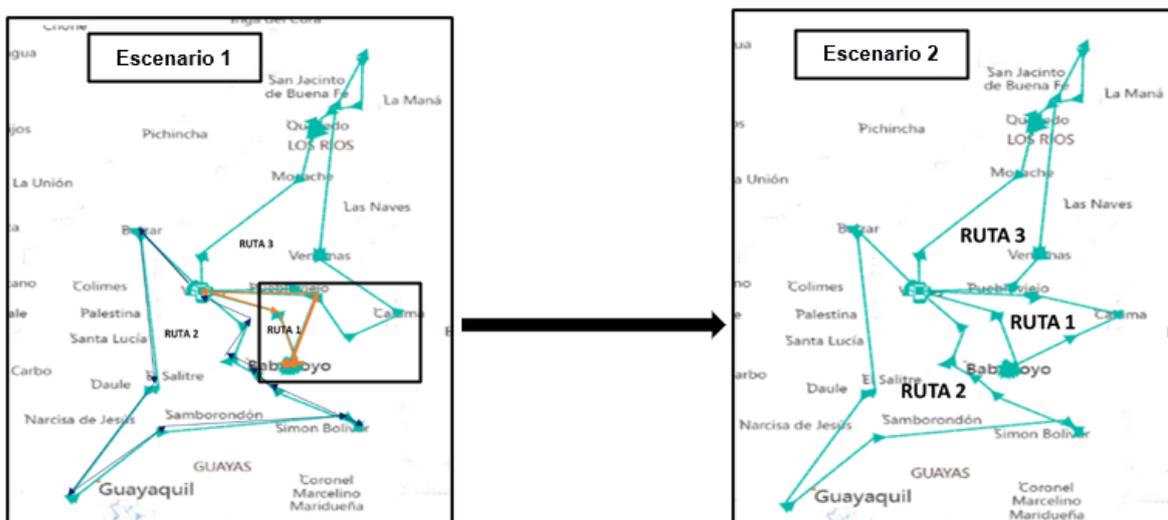


Figura 3.7 Ejemplos escenario 1 y 2 (Elaboración Propia, 2022)

Tabla 3.4 Resultados Escenario 2

ESCENARIO 2			
DATOS	RUTA 1	RUTA 2	RUTA 3
Tiempo de recorrido [hrs]:	6.47	8.90	7.53
Kilómetros recorridos [km]:	204	412	293,5
Puntos visitados:	30	17	30
Punto de inicio y Fin:	Depot (Bodega Principal)		
Cantidad de camiones:	1 camión		
% Carga transportada:	97%	60%	74%

Para el escenario 2 el porcentaje de la carga transportada era variable como se muestra en la Tabla 3.5 debido a que el modelo no consideraba la especificación del 60% de la carga transportada, aunque los tiempos de recorrido de las rutas estuvieron mejor distribuidos el porcentaje de utilización del camión de la ruta 1 estaba muy cercano al 90%, esto considerando un escenario de demanda promedio.

Análisis de costos del escenario 2

Se consideran los siguientes aspectos para los costos del escenario 2.

Costo por kilómetro = 0.45\$/km

Costo Total = Costo por kilómetro * Distancia recorrida por ruta

Tabla 3.5 Análisis de Costo Escenario 2

ESCENARIO 2						
ROUTE	N° de puntos	Distancia Recorrida (KM)	Tiempo promedio de servicio (Hrs)	Duración de la ruta (Hrs)	Tiempo total (Hrs)	Costo Total (\$)
1	30	204	2,00	4,47	6,47	\$91,80
2	17	412	1,13	7,77	8,90	\$185,40
3	30	293,5	2,00	5,53	7,53	\$132,08
TOTAL	77	909,5	5,13	17,77	22,90	\$409,28

El costo total del escenario 2 son \$16.2 usd menos que el costo del escenario 1 y aunque podría considerarse mejor en términos de dar el costo más bajo, el tema de la capacidad del camión en el escenario 2 no era conveniente para la empresa porque una de las rutas estaba fuera del rango de especificaciones (40% y 90 %). Por estas razones se selecciona el escenario 1 Figura 3.7, obteniendo los siguientes beneficios.

3.4. Resultados de Sostenibilidad del escenario seleccionado del modelo VRP.

3.4.1. Social

Al reducir el tiempo de recorrido de las rutas, disminuyen las horas extras por consiguiente la carga laboral de los operadores como se muestra en la Tabla 3.7 y Figura 3.8.

Tabla 3.6 Horas Extras

HORAS EXTRAS				
ESCENARIOS	RUTA 1	RUTA 2	RUTA 3	TOTAL
ANTES	3	4	1	8
PROPUESTO: ESCENARIO 1	0	1	1	2

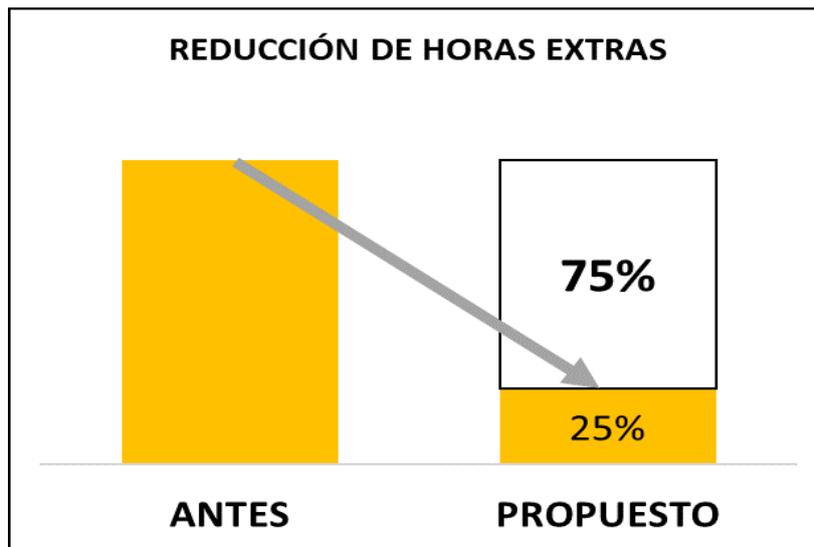


Figura 3.8 Reducción de horas extra. (Elaboración Propia, 2022)

3.4.2. Beneficios ambientales

Disminuyendo los kilómetros recorridos por el camión, se disminuye el consumo de combustible, por consiguiente, la emisión de CO₂ se reduce en un 19% con respecto a la emisión de CO₂ inicial de la empresa como se muestra en la Figura 3.9 Reducción de emisión CO₂ (Elaboración Propia, 2022) Figura 3.9.

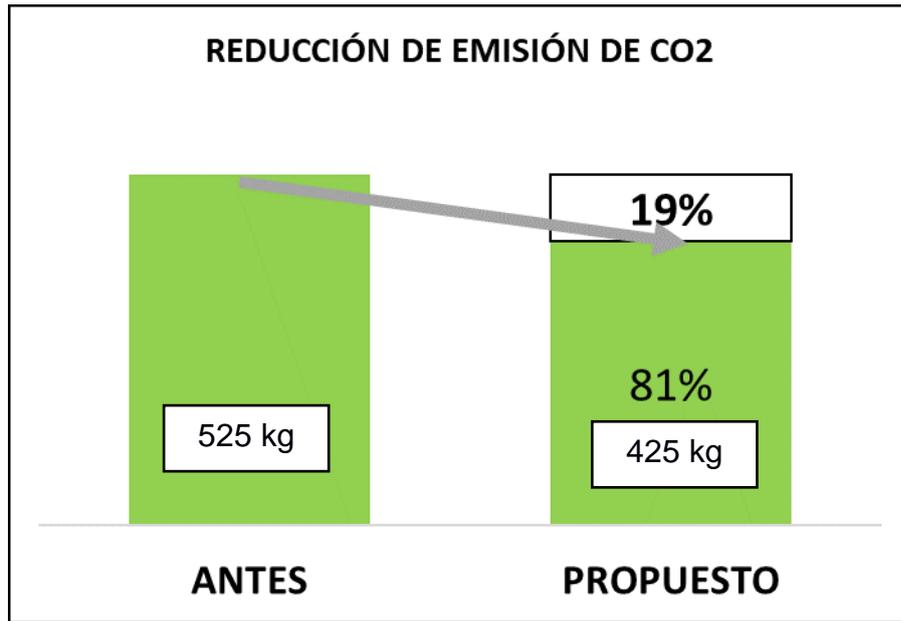


Figura 3.9 Reducción de emisión CO2 (Elaboración Propia, 2022)

3.4.3. Beneficios económicos

Con el modelo propuesto y el escenario seleccionado se logra reducir en un 19% los costos de transporte con respecto al costo inicial que tenía la empresa como se muestra en la Tabla 3.8 y la Figura 3.10.

Tabla 3.7 Beneficios Económicos

MODELO	KM RECORRIDOS	COSTO TOTAL
ANTES	1167	\$525.44
PROPUESTO	945	\$425.25

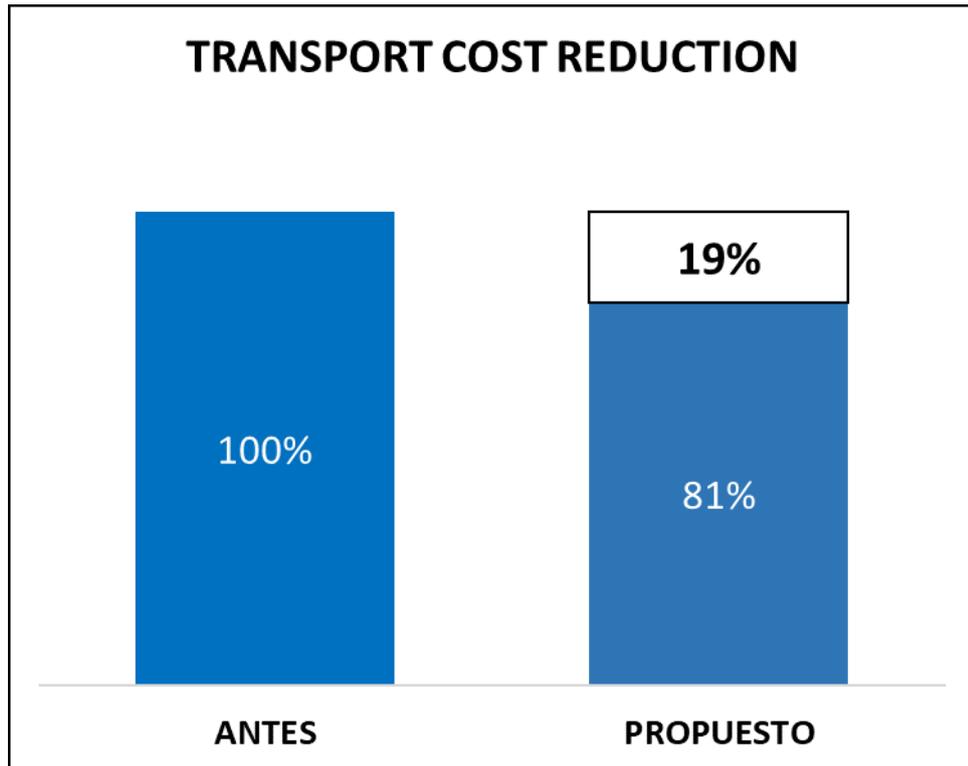


Figura 3.10 Reducción de costos de transporte. (Elaboración Propia, 2022)

3.5. Otros beneficios

3.5.1. Utilización del camión

Con el escenario seleccionado se logra aumentar en un 50% la utilización de la capacidad del camión con respecto a la utilización inicial que tenía la empresa del 40%, esto debido a que en la programación se consideró que el vehículo vaya a una capacidad del 60%.

3.5.2. Tiempo de recorrido

Con el escenario seleccionado se logra reducir el tiempo total de recorrido de las rutas en un 28% pasando de 31.80 horas a 22.84 horas.

3.6. Viabilidad del proyecto

El proyecto es viable debido a implementar las nuevas rutas del escenario 1 elegido, considerando el mismo escenario de frecuencia actual de las rutas da un costo de transporte menor que el costo inicial que tenía la empresa, el cual se había definido como el punto de equilibrio y la base para decidir si la implementación del modelo era factible y el resultado se muestra en la Tabla 3.9.

Tabla 3.8 Viabilidad del proyecto

COSTO DE IMPLEMENTACIÓN	COSTO DE LAS RUTAS	COSTO TOTAL	PUNTO DE EQUILIBRIO	¿ES VIABLE?
\$48,63	\$2.584,43	\$2.633,06	\$3.115,10	SÍ

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se rediseñaron las rutas del proceso de distribución propia, aplicando un modelo de ruteo (VRP) para que determine las rutas optimas a seguir, logrando cubrir la totalidad de los puntos de venta y minimizando costos de transporte.
- Se obtuvo una reducción de la distancia recorrida de 1167km a 945km con el modelo propuesto, lo que representa una reducción de kilómetros recorridos del 19,02%; así mismo la reducción del tiempo de recorrido de 31,80 horas a 22,84 horas lo que equivale al 28% de disminución del tiempo.
- Se pudo reducir los costos generados por transporte en un 19,06% ya que actualmente la empresa gasta \$525.44 y con el modelo propuesto gastaría \$425.25 por el recorrido de las 3 rutas.
- Se logró incrementar la utilización del camión en un 50% al pasar de una utilización de 40% al 60%.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda crear un manual para el usuario, para que permita al usuario realizar los pasos en los softwares empleados como Google Colab y Gams.
- Se recomienda utilizar una interfaz amigable, para que la interpretación de resultados sea fácil de entender y de utilizar.
- Se recomienda realizar el monitoreo correspondiente cuando se vayan a realizar cada una de las rutas propuestas, para que se puedan tomar en cuenta situaciones naturales que suceden en el trayecto, que no han sido considerados en los modelos utilizados.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, E. R. (06 de mayo de 2020). *Economipedia.com*. Obtenido de Punto de equilibrio: <https://economipedia.com/definiciones/punto-de-equilibrio.html>
- Campo Elías López Rodríguez, S. D. (Junio de 2019). *El transporte de carga terrestre en el comercio internacional. Análisis comparativo entre Bogotá Colombia y Santa Cruz de la Sierra, Bolivia*. Obtenido de Ensayos Económicos, Universidad Nacional de Colombia: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ede/article/view/75022>
- G., L. (1941). The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms . *European Journal of Operational Research*, vol 59, 345-358.
- García Sabater, J. P. (2020). *REDES DE DISTRIBUCIÓN Y APROVISIONAMIENTO*. Valencia: RIUNET Repositorio UPV.
- KANBAN TOOL. (2022). *Guía Kanban*. Obtenido de <https://kanbantool.com/es/guia-kanban/que-es-un-diagrama-sipoc>
- QUALTRICS XM. (2022). *Gestión de la Experiencia* . Obtenido de [https://www.qualtrics.com/es-la/gestion-de-la-experiencia/cliente/voz-del-cliente/#:~:text=La%20voz%20del%20cliente%20\(VoC\)%20es%20un%20%C3%A9rmino%20que%20describe,en%20la%20mejora%20del%20producto](https://www.qualtrics.com/es-la/gestion-de-la-experiencia/cliente/voz-del-cliente/#:~:text=La%20voz%20del%20cliente%20(VoC)%20es%20un%20%C3%A9rmino%20que%20describe,en%20la%20mejora%20del%20producto).
- Rendón, A. I. (2013). El transporte internación como factor de competitividad en el comercio exterior . *Journal of Economic, Finance and Administrative Science* , 117-118.
- RESTREPO DE OCAMPO, L. S. (2010). ANÁLISIS DE LOS COSTOS LOGÍSTICOS EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO. . *Scientia Et Technica*, XVI(45), 272-277.
- Rocha, L., & González, C. y. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. *Ingeniería*, Vol. 16, No. 2, 35-55.
- Rodriguez, N. (22 de marzo de 2021). *HubSpot*. Obtenido de Cómo realizar un análisis de costo-beneficio paso a paso: <https://blog.hubspot.es/sales/analisis-costo-beneficio>
- Roldán, P. N. (01 de mayo de 2017). *Economipedia*. Obtenido de Análisis Financiero: <https://economipedia.com/definiciones/analisis-financiero.html>

Ruiz, A., & Rojas, F. (abril de 2009). Obtenido de <https://web.cortland.edu/matresearch/QFD.pdf>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Ubicación y coordenadas de los puntos de venta

CODIGO	NODO	NOMBRE	DIRECCIÓN	LATITUD	LONGITUD
SDV01	0	BODEGA	Vinces	-1,556472	-79,753822
SDV05	1	MIRGENCITA	Sju Aurora Estrada	-1,624622913	-79,56275401
SDV06	2	STEVEN	Bab Clemente Baquerizo y V.Machuca	-1,8029525	-79,5238673
SDV07	3	NICOLE	Bab 5 de Junio y 9 de Noviembre	-1,802182	-79,538625
SDV08	4	NELSON JOSUE	Bab La Ventura	-1,8124703	-79,507421
SDV09	5	TATITO	Baa Av. Guayaquil Bco Banecuador	-1,784687	-79,6782153
SDV12	6	BARRIOLINDO	Bab 5 de Junio y 27 de mayo	-1,798854	-79,529645
SDV13	7	BEBELITZY	Bab Av 25 de Junio y Av. BY PASS	-1,811692	-79,544044
SDV14	8	ALEMANA	Bab General Barona y Sucre	-1,7983883	-79,5327142
SDV16	9	MARITZA	Bab 5 de Junio y Calderon	-1,798863727	-79,53127883
SDV17	10	MEGADESCUENTO	Bab Olmedo y 5 Junio	-1,8007009	-79,5354517
SDV21	11	M-1 KATITA	Isl Av. Principal	-1,67686	-79,644217
SDV23	12	MI AHORRO 5	Bab Mi ahorro 5	-1,798949	-79,5330562
SDV24	13	NELLY MARGOT	Bab 10 Agosto y M.Icaza	-1,799768	-79,534507
SDV25	14	SUDAMERICANA	Juj Sudamerica	-1,891017	-79,556659
SDV27	15	MI AHORRO 4	Pvj Calle Aurora Estrada # 2	-1,6244042	-79,5626117
SDV30	16	KRISSAN	Bab Febres Cordero	-1,993622	-79,3550296
SDV34	17	M-9 LA UNION	Bab Abraham Freyre y Transversal	-1,7098157	-79,3938904
SDV35	18	MI AHORRO 10	Bab Pedro Carbo entre 10 De Agosto y	-1,7985351	-79,529799
SDV37	19	M-11 PIMOCHA	Bab Calle G y Primera	-1,8344603	-79,6080762
SDV39	20	M-14 NELLY NUEVA	Bab Martin Icaza y General Barona	-1,799288	-79,534704
SDV41	21	M-16 MAXICARNES	Bab. Eloy Alfaro y 5 De Junio	-1,784678	-79,5327239
SDV42	22	M-17 BABA NUEVO	Baa Av. Guayaquil y Sucre GAD Municipi	-1,800422	-79,533448
SDV43	23	M-19 PREFECTURA	Bab Av. Benetazzo y Calle N	-1,800422	-79,533448
SDV44	24	M-18 PUEBLO NUEVO	Bab Av. 2 De Agosto Y Los Angeles Pue	-1,960473737	-79,39905215
SDV45	25	M-20 (PICHINCHA)	Bab Flores y General Barona	-1,799648479	-79,53550672
SDV50	26	M- 28 FARMISARIATO	Bab Calderon y 5 de Junio	-1,799065	-79,531087
SDV51	27	M-29 GENESIS	Bab Juan X Marcos y Martin Icaza	-1,802292	-79,5335433
SDV53	28	M-26 UNION NUEVA	Bab Abraham Freire Entre 5 De Junio y	-0,79861335	-79,35311128
SDV62	29	M-37 BABAHOYO NUEVA	Ca Bab Juan X Marcos y Mejia	-1,802561	-79,538429
SDV71	30	M-45 MATA CACAO NL	Bab Febres Cordero Y 9 De Octubre	-1,99485	-79,356435
FD115	31	M-85 HOSPITAL	Bab Malecon Y Ricaurte	-1,7999235	-79,5386556
FD116	32	M-84 COOPERATIVA JL	Bab 10 De Agosto Y Mejia	-1,800624	-79,5367186
FD117	33	M-87 HOTEL	Bab Av 6 De Octubre	-1,8001657	-79,5236456
FD118	34	M-88 UNILAB	Bab 10 De Agosto Y Ricaurte	-1,8012565	-79,5384125
FD119	35	M-86 MINISTERIO DE E	Bab Mejia Y General Barona	-1,8002565	-79,5368807
SDV46	36	M-30 (CHONGON NEW	Chg Via A La Costa Km 24	-2,2180119	-80,0817634
SDV47	37	M-22 (CHONGON)	Chg Paquisha	-2,234743058	-80,07968733
SDV48	38	M-24 (LOGARE)	Sal Via Salitre	-2,016364	-79,866237
SDV49	39	M-23 (T DE DAULE)	Dau La T Via A Salitre	-1,871243664	-79,88189958
SDV72	40	M-47 LOS TINTOS	Dau Av. Juan B Aguirre	-1,8760194	-79,8622893
SDV38	41	M-12 (PALENQUE)	Pal Bolivar y Nicolas Infante	-1,435628609	-79,75617612
SDV60	42	M-35 (PALENQUE NEW	Pal Bolivar y 10 De Septiembre	-1,4365653	-79,7554502
SDV83	43	M-53 Balzar 1	Bal Av Daule y Olmedo	-1,36725132	-79,90708732
SDV84	44	M-54 Balzar 2	Bal Romulo Rendon Y Vinces	-1,365911769	-79,90652879
SDV85	45	M-55 Balzar 3	Bal Av Daule Y Vinces	-1,365622968	-79,90713913
SDV86	46	M-56 Balzar 4	Bal Calle Vinces Y Av Guayaquil	-1,366157575	-79,90574097
FD102	47	M-72 VENTANAS - CC	De Comercio Y Servicios Lc 3	-1,441362	-79,460449
SDV10	48	KRISSOL	Ric Av Pinargote	-1,569439	-79,467991
SDV19	49	MI AHORRO 6	Ric Av Pinargote II	-1,5720435	-79,4694653
SDV22	50	M-3 PUEBLOVIEJO	Pvj Fermín Chavez	-1,548576	-79,5312342
SDV28	51	DIVINO NIÑO	Pvj Divino Niño	-1,549648	-79,53519
SDV29	52	SUIZA	Que Calle Bolivar y Sexta	-1,0245231	-79,4660482
SDV31	53	MARIA JOSE	Que Av 7 de Octubre y Septima	-1,0254493	-79,4670343
SDV32	54	M-7 CALUMA	Clu Las Naranjas Y Heroes Del Cenepa	-1,630633	-79,257363
SDV36	55	M-13 SAMMY	Que Rosita Paredes ent Lib. Nacional y	-1,0062551	-79,4681494
SDV52	56	M-25 EL VERGEL	Val Pista - Aterrizaje El Vergel	-0,79861335	-79,35311128
SDV54	57	M- 27 LA ESPERANZA	Que Via Valencia	-0,966096	-79,4226085
SDV56	58	M-31 HOTEL	Que Av Walter Andrade	-1,0398602	-79,475724
SDV57	59	M-32 PARQUE VELERO	Que Av Walter Andrade #1407 y Segun	-1,0372367	-79,4736188
SDV58	60	M-33 PUENTE SUR	Que Jaime Roldos 5118	-1,0416861	-79,46808807
SDV59	61	M-34 TERMINAL	Que Barrio Kennedy	-1,011669	-79,466691
SDV61	62	M-36 AV. QUITO	Que Av Quito # 401	-1,0063044	-79,4666732
SDV64	63	M-39 ESPERANZA NUEVA	Que Via Principal Comuna La Esperanza	-0,9635053	-79,4205077
SDV65	64	M-40 VALENCIA NUEVA	Val 13 de Diciembre y Quevedo	-0,9531266	-79,3548864
SDV69	65	M-43 COMUNITARIA	Que Nueva Esperanza y 10 de Agosto	-1,015633469	-79,47261916
SDV73	66	M-48 GINA	Que 7 de Octubre y Sexta	-1,0243789	-79,4666038
SDV74	67	M-50 COOP. NUEVA	Que 7 de Octubre entre	-1,0273058	-79,4674876
SDV75	68	M-51 CATARAMA	Urd Carlo Tola y Justino Landivar	-1,570893	-79,472417
SDV77	69	SJ001	Vta Bolivar y 10 De Agosto	-1,442611103	-79,46130515
SDV78	70	SJ004	Vta 10 Noviembre Y 28 de Mayo	-1,44438293	-79,46418774
SDV79	71	SJ002	Vta Quito Y Antonio José de Sucre	-1,4509074	-79,4616358
SDV80	72	SJ003	Vta 9 De Octubre Y José María Velasco	-1,443551252	-79,46184497
SDV81	73	SJ005	Vta Av. Seminario Y 28 de Mayo	-1,444139936	-79,46055519
SDV82	74	SJ006	Vta Jose Joaquin De Olmedo y María Is	-1,436239437	-79,45769583
SDV87	75	M-57 SAN ANDRES	Que Siete de Octubre y Déclma Primer	-1,028169682	-79,46783491
SDV88	76	M-58 MOCACHE 1	Moc 28 de Mayo 503 y Sucre	-1,041656722	-79,46848726
SDV89	77	M-59 MOCACHE 2	Moc 28 de Mayo y Segunda	-1,186411	-79,5038158

Distancia y tiempo entre puntos de venta

Codigo del punto	Punto de venta	Hora de inicio	Hora de llega	Hora de salida	Tiempo de rerrido (min)	Tiempo de demora en el punto (MIN)	Kilometraje inicial	Kilometraje final	Kilometros recorridos
SDV01	Bodega central Vinces	6h00	6h00	6h00	0	0	44155	44155	0
SDV05	VIRGENCITA	6H00	6H35		35		44155	44187	32
SDV27	MI AHORRO 4	6H00	6H35	7H20	0	45	44187	44187	0
SDV21	M-1 KATITA	7H20	7H32	7H38	12	6	44187	44200	13
SDV42	M-17 BABA NUEVO	7H38	7H54	8H15	16	21	44200	44216	16
SDV09	TATITO	7H38	7H54	8H15	0		44216	44216	0
SDV37	M-11 PIMOCHA	8H15	8H31	8H39	16	8	44216	44233	17
SDV34	M-9 LA UNION	8h39	9h39	9h57	60	18	44233	44288	55
SDV53	M-26 UNION NUEVA	9h57	9h58	10h06	1		44288	44288	0
SDV25	SUDAMERICANA	10h06	11h03	11h08	63	5	44288	44336	48
SDV44	M-18 PUEBLO NUEVO	11h08	11h35	11h46	27	11	44336	44367	31
SDV71	M-45 MATA CACAO NUEVA	11h46	11h54	12h04	8	10	44367	44374	7
SDV30	KRISSAN	12h04	12h06	12h13	2	7	44374	44374	0
	ALMUERZO	12H13		12H34	0	21	44374	44374	0
SDV13	BEBELITZY	12H34	13H11	13H28	23	17	44374	44409	35
SDV07	NICOLE	13H30	13H37	13H45	7	8	44409	44410	1
SDV62	M-37 BABAHOYO NUEVA	13H45	13H48	13H52	3	3	44410	44411	1
SDV51	M-29 GENESIS	13H52	13H53	13H57	1	4	44411	44411	0
SDV17	MEGADESCUENTO	13H57	14H00	14H07	3	7	44411	44411	0
SDV24	NELLY MARGOT	14H07	14H09	14H30	2	21	44411	44412	1
FD116	M-84 COOPERATIVA JUAN PIO	14H35	14H37	14H42	2	5	44412	44412	0
FD119	M-86 MINISTERIO DE EDUCACION	14H42	14H43	14H48	1	5	44412	44412	0
FD115	M-85 HOSPITAL	14H48	14H50	14H54	2	4	44412	44413	1
FD118	M-88 UNILAB	14H54	14H55	14H58	1	3	44413	44413	0
SDV45	M-20 (PICHINCHA)	14H58	15H00	15H10	2	10	44413	44413	0
SDV14	ALEMANA	15H10	15H13	15H15	3	2	44413	44415	2
SDV41	M-16 MAXICARNES	15H16	15H18	15H20	2	2	44415	44415	0
SDV50	M- 28 FARMISARIATO	15H21	15H35	15H49	14		44415	44415	0
SDV16	MARITZA				0		44415	44415	0
SDV12	BARRIOLINDO			16H02	0	27	44415	44415	0
SDV23	MI AHORRO 5				0		44415	44415	0
SDV35	MI AHORRO 10	16H15	16H20	16H35	5	15	44415	44418	3
FD117	M-87 HOTEL	16H35	16H38	16H42	3	4	44418	44419	1
SDV06	STEVEN	16H42	16H44	16H49	2	5	44419	44419	0
SDV43	M-19 PREFECTURA	16H49	16H53	16H57	4	4	44419	44420	1
SDV08	NELSON JOSUE	16H57	17H02	17H05	3	3	44420	44422	2
SDV01	Bodega central Vinces	17H05		18H13	68		44422	44481	59
TOTAL					391	31			326

Codigo del punto	Punto de venta	Hora de inicio	Hora de llegada	Hora de salida	Tiempo de rerrido (min)	Tiempo de demora en el punto (MIN)	Kilometraje inicial	Kilometraje final	Kilometros recorridos
SDV01	Bodega central Vines	5h35	5h35	5h35	0	0	45298	45298	0
SDV88	M-58 MOCACHE 1	5h35	6h53	7h02	78	9	45298	45358	60
SDV89	M-59 MOCACHE 2	7h02	7h05	7h11	3	6	45358	45359	1
	DESAYUNO	7H11	7H20	7H41		21			
SDV56	M-31 HOTEL	7h13	8h02	8h10	49	8	45359	45378	19
SDV57	M-32 PARQUE VELERO	8H10	8H12	8H16	2	4	45378	45378	0
SDV58	M-33 PUENTE SUR	8H16	8H19	8H20	3	1	45378	45380	2
SDV87	M-57 SAN ANDRES	8H21	8H27	8H34	6	7	45380	45382	2
SDV73	M-48 GINA	8H34	8H35	8H36	0	0	45382	45382	0
SDV29	SUIZA	8H53	8H55	9H16	2	21	45382	45384	2
SDV59	M-34 TERMINAL	9H16	9H21	9H25	5	4	45384	45385	1
SDV61	M-36 AV. QUITO - ADRIAN	9H25	9H27	9H29	2	2	45385	45386	1
SDV36	M-13 SAMMY	9H29	9H31	9H32	2	1	45386	45386	0
SDV69	M-43 COMUNITARIA	9H32	9H36	9H38	6	2	45386	45388	2
SDV65	M-40 VALENCIA NUEVA	9H38	10H06	10H10	28	4	45388	45402	14
SDV64	M-39 ESPERANZA NUEVA	10H10	10H12	10H23	2	11	45402	45403	1
SDV54	M - 27 LA ESPERANZA	10h23	10h31	10h36	8	5	45403	45410	7
SDV52	M-25 EL VERGEL	10h36	10h54	11h00	18	6	45410	45426	16
SDV77	SJ001 VENTANAS 1	11H00	12H31	13H34	91	3	45426	45513	87
SDV78	SJ004 VENTANAS 4	13H34	13H37	13H39	3	2	45513	45514	1
SDV79	SJ002 VENTANAS 2	13H39	13H42	13H45	3	3	45514	45516	2
SDV80	SJ003 VENTANAS 3	13H45	13H46	13H47	1	1	45516	45516	0
SDV81	SJ005 VENTANAS 5	13H47	13H49	13H50	2	1	45516	45517	1
SDV82	SJ006 VENTANAS 7	13H50	13H54	13H59	5	4	45517	45518	1
SDV32	M-7 CALUMA	13H59	15H17	15H24	78	7	45518	45570	52
SDV10	KRISSOL	15H24	16H11	16H18	47	7	45570	45597	27
SDV19	MI AHORRO 6	16H18	16H19	16H23	1	4	45597	45597	0
SDV75	M-51 CATARAMA	16H23	16H24	16H27	1	3	45597	45597	0
SDV22	M-3 PUEBLOVIEJO	16H27	16H43	16H47	15	5	45597	45607	10
SDV28	DIVINO NIÑO	16H47	16H48	16H50	1	2	45607	45607	0
SDV01	Bodega central Vines	16H50	17H52	17H52	62	0	45607	45658	51
TOTAL					524	133			360

Codigo del punto	Punto de venta	Hora de inicio	Hora de llegada	Hora de salida	Tiempo de rerrido (min)	Tiempo de demora en el punto (MIN)	Kilometraje inicial	Kilometraje final	Kilometros recorridos
SDV01	Bodega central Vines	6h08	6h08	6h08	0	0	44813	44813	0
SDV83	M-53 Balzar 1	6h08	7h13	7h18	65	5	44813	44874	61
SDV84	M-54 Balzar 2	7h18	7h21	7h27	3	6	44874	44874	0
SDV85	M-55 Balzar 3	7h27	7h29	7h31	3	3	44874	44876	2
SDV86	M-56 Balzar 4	7h31	7h33	7h36	2	3	44876	44876	0
	DIFARE	7h36	9h01	10h00	85	59	44876	44967	91
SDV46	M-30 (CHONGON NEW)	10h00	10h42	10h46	42	4	44967	45003	36
SDV47	M-22 (CHONGON)	10h46	10h50	10h54	4	4	45003	45005	2
SDV70	M-46 PROGRESO	10h54	11h38	11h44	16	6	45005	45053	48
SDV48	M-24(LOGARE)	11h44	13h30	13h37	106	7	45053	45141	88
	ALMUERZO	12h04		12h30		26			0
SDV49	M-23 (T DE DAULE)	13h37	13h53	13h55	16	2	45141	45158	17
SDV72	M-47 LOS TINTOS	13h55	13h58	14h09	3	11	45158	45160	2
SDV60	M-35 (PALENQUE NEW)	14h09	15h29	15h34	80	5	45160	45244	84
SDV38	M-12 (PALENQUE)	15h34	15h35	15h38	1	5	45244	45244	0
SDV63	M-38 PLAYAS DE VINCES	15h38	16h20	16h25	22	5	45244	45281	37
SDV01	Bodega central Vines	16h25	16h42		17	0	45281	45294	13
TOTAL					465	66			481

CODIGO	NODO	LATITUD	LONGITUD	DEMANDA PROMEDIO MENSUAL (UNIDADES)	DEMANDA PROMEDIO DIARIA (UNIDADES)	TIEMPO DE SERVICIO (MINUTOS)
SDV01	0	-1,556472	-79,753822	0	0	0
SDV05	1	-1,624622913	-79,56275401	1646	137	3
SDV06	2	-1,8029525	-79,5238673	1862	155	5
SDV07	3	-1,802182	-79,538625	1875	156	8
SDV08	4	-1,8124703	-79,507421	2524	210	3
SDV09	5	-1,784687	-79,6782153	1866	156	5
SDV12	6	-1,798854	-79,529645	1246	104	27
SDV13	7	-1,811692	-79,544044	3126	261	17
SDV14	8	-1,7983883	-79,5327142	1395	116	2
SDV16	9	-1,798863727	-79,53127883	1575	131	4
SDV17	10	-1,8007009	-79,5354517	1378	115	7
SDV21	11	-1,67686	-79,644217	1550	129	6
SDV23	12	-1,798949	-79,5330562	2641	220	5
SDV24	13	-1,799768	-79,534507	1194	100	21
SDV25	14	-1,891017	-79,556659	1671	139	5
SDV27	15	-1,6244042	-79,5626117	1480	123	7
SDV30	16	-1,993622	-79,3550296	892	74	45
SDV34	17	-1,7098157	-79,3938904	1620	135	7
SDV35	18	-1,7985351	-79,529799	1885	157	18
SDV37	19	-1,8344603	-79,6080762	1044	87	15
SDV39	20	-1,799288	-79,534704	1898	158	8
SDV41	21	-1,7998568	-79,5327239	931	78	2
SDV42	22	-1,784678	-79,678051	1739	145	21
SDV43	23	-1,800422	-79,523448	1951	163	4
SDV44	24	-1,960473737	-79,39905215	1015	85	11
SDV45	25	-1,799648479	-79,53550672	1013	84	10
SDV50	26	-1,799065	-79,531087	1203	100	5
SDV51	27	-1,802292	-79,5335433	1334	111	4
SDV53	28	-0,79861335	-79,35311128	2156	180	5
SDV62	29	-1,802561	-79,538429	931	78	3
SDV71	30	-1,99485	-79,356435	1268	106	10
FD115	31	-1,7999235	-79,5386556	727	61	4
FD116	32	-1,800624	-79,5367186	1309	109	5
FD117	33	-1,8001657	-79,5236456	1044	87	4
FD118	34	-1,8012565	-79,5384125	809	67	3
FD119	35	-1,8002565	-79,5368807	935	78	5
SDV46	36	-2,2180119	-80,0817634	1416	118	4
SDV47	37	-2,234743058	-80,07968733	1549	129	4
SDV48	38	-2,016364	-79,866237	1446	121	7
SDV49	39	-1,871243664	-79,88189958	995	83	2
SDV72	40	-1,8760194	-79,8622893	812	68	11
SDV38	41	-1,435628609	-79,75617612	2027	169	5
SDV60	42	-1,4365653	-79,7554502	1188	99	5
SDV83	43	-1,36725132	-79,90708732	971	81	5
SDV84	44	-1,365911769	-79,90652879	2411	201	6
SDV85	45	-1,365622968	-79,90713913	940	78	3
SDV86	46	-1,366157575	-79,90574097	1124	94	3
FD102	47	-1,441562	-79,460449	758	63	8
SDV10	48	-1,569439	-79,467991	1586	132	7
SDV19	49	-1,5720435	-79,4694653	1904	159	4
SDV22	50	-1,548576	-79,5312342	1639	137	5
SDV28	51	-1,549648	-79,53519	1405	117	2
SDV29	52	-1,0245231	-79,4660482	1712	143	21
SDV31	53	-1,0254493	-79,4670343	1964	164	6
SDV32	54	-1,630633	-79,257363	1258	105	7
SDV36	55	-1,0062551	-79,4681494	1433	119	2
SDV52	56	-0,79861335	-79,35311128	1569	131	6
SDV54	57	-0,966096	-79,4226085	719	60	5
SDV56	58	-1,0398602	-79,475724	988	82	8
SDV57	59	-1,0372367	-79,4736188	686	57	4
SDV58	60	-1,0416861	-79,46808807	1333	111	2
SDV59	61	-1,011669	-79,466691	696	58	5
SDV61	62	-1,0063044	-79,4666732	1768	147	2
SDV64	63	-0,9635053	-79,4205077	985	82	11
SDV65	64	-0,9531266	-79,3548864	943	79	4
SDV69	65	-1,015633469	-79,47261916	781	65	5
SDV73	66	-1,0243789	-79,4666038	2034	170	7
SDV74	67	-1,0273058	-79,4674876	806	67	4
SDV75	68	-1,570893	-79,472417	1158	96	4
SDV77	69	-1,442611103	-79,46130515	2530	211	3
SDV78	70	-1,44438293	-79,46418774	1267	106	2
SDV79	71	-1,4509074	-79,4616358	886	74	3
SDV80	72	-1,443551252	-79,46184497	1096	91	2
SDV81	73	-1,444139936	-79,4605519	1025	85	2
SDV82	74	-1,436239437	-79,45769583	628	52	4
SDV87	75	-1,028169682	-79,46783491	884	74	7
SDV88	76	-1,041656722	-79,46848726	2069	172	9
SDV89	77	-1,186411	-79,5038158	1510	126	6

APÉNDICE B

CAPACIDAD DEL CAMIÓN



Capacidad Furgón:
Alto: 2,10m
Largo: 4,34m
Ancho: 2,10m
Volumen Furgón: 19,14m³



Producto transportado

VENTANA DE LOS PUNTOS DE VENTA



Punto de venta, abierto a las 4h48 pm
SDV10 KRISSOL RIC AV PINARGOTE
AV.PINARGOTE FRENTE AL HOSPITAL
RICAURTE

TOMADO POR EL **Project Leader**
Geovanny Sánchez

APÉNDICE C

Costos fijos y variables ruta Babahoyo

COSTOS FIJOS		
Sueldo chofer	\$760,00	mensual
Sueldo auxiliar de transporte	\$500,00	mensual
Sueldo Auxiliar de Bodega	\$490,00	mensual
Sueldo Asistente Bodega	\$447,50	mensual
Rastreo satelital	\$36,00	mensual
Peaje y parqueos	\$4,00	mensual
Matrícula	\$8,17	mensual
Seguro	\$119,15	mensual
total costo fijo mensual	\$2.364,82	mensual
total de días al mes	22	días
total costo fijo diario	\$107,49	diarios
COSTOS VARIABLES		
Cambio de Aceite	\$188,37	mensual
Lavada y Engrasada	\$7,50	mensual
total costos variables mensual	\$195,87	mensual
total de días al mes	22	días
total costo variable diario	\$8,90	diarios

Costos ruta Babahoyo

Ciudad Origen	Vinces	
Ruta	Pueblos	
Distancia por ruta	326	KM
\$\$ DIESEL POR LITRO	\$0,50	\$
Diesel consumido por km	0,3	L/KM
Costo por combustible	\$49,10	\$
Costo Fijo	\$107,49	\$
Costo Variable	\$8,90	\$
Costo Total de la ruta	\$165,49	\$/RUTA

Costos fijos y variables ruta Pueblos

COSTOS FIJOS		
Sueldo chofer	\$760,00	mensual
Sueldo auxiliar de transporte	\$500,00	mensual
Sueldo Auxiliar de Bodega	\$490,00	mensual
Sueldo Asistente Bodega	\$447,50	mensual
Rastreo satelital	\$36,00	mensual
Peaje	\$-	mensual
Matrícula	\$8,17	mensual
Seguro	\$119,15	mensual
total costo fijo mensual	\$2.360,82	mensual
total de días al mes	22	días
total costo fijo diario	\$107,31	diarios
COSTOS VARIABLES		
Cambio de Aceite	\$188,37	mensual
Lavada y Engrasada	\$7,50	mensual
total costos variables mensual	\$195,87	mensual
total de días al mes	22	días
total costo variable diario	\$8,90	diarios

Costos Ruta Pueblos

Ciudad Origen	Vinces	
Ruta	PUEBLOS	
Distancia por ruta	360	KM
\$\$ DIESEL POR LITRO	\$0,50	\$
Diesel consumido por km	0,3	L/KM
Costo por combustible	\$54,22	\$
Costo Fijo	\$107,31	\$
Costo Variable	\$8,90	\$
Costo Total de la ruta	\$170,43	\$/RUTA

Costos fijos y variables ruta Pueblos

COSTOS FIJOS		
Sueldo chofer	\$760,00	mensual
Sueldo auxiliar de transporte	\$500,00	mensual
Sueldo Auxiliar de Bodega	\$490,00	mensual
Sueldo Asistente Bodega	\$447,50	mensual

APÉNDICE E

Programación del modelo VRP parte 1 en la herramienta Gams Studio

```
gamside: C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\Rutas_Farmacias_CVRP.gms]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
python api
Rutas_Farmacias_CVRP.gms

SETS
*Se declara el conjunto de NODOS tanto de origen como de destino (Bodega y Farmacias) que constituyen la red.
i Nodos de origen la red (Bodega + Farmacias)
j Nodos de destino de la red (Bodega + Farmacias)
PARAMETER
d(i,j) distancia(en kilómetros) desde el nodo i al nodo j
dem demanda diaria en kilogramos del cliente i
$offecho > modelo.txt
dsset=i rng=Coordenadas!E2:B79 rdim=1
dsset=j rng=Coordenadas!E2:B79 rdim=1
par=d rng=Matriz!A1:CA79 rdim=1 cdim=1
par dem rng=Demanda!A2 rdim=1
$offecho
$call gdxrw Nodos.xlsx trace=3 @modelo.txt
$gdxin Nodos.gdx
$load i,j,d,dem
$gdxin
DISPLAY dem

SCALARS
Q Capacidad del camión /3500/

VARIABLES
z funcion objetivo que contempla la distancia de las rutas a generarse
x i si la ruta de la farmacia i a la farmacia j forma parte de la solución y 0 en caso contrario
u variable auxiliar entera que permite evitar subtours

FREE VARIABLE
z
BINARY VARIABLES
x
INTEGER VARIABLES
u
u.up(i)$(ord(i)>1)=10000;
u.up(j)$(ord(j)>1)=10000

EQUATIONS
funcion_objetivo

```

Programación del modelo VRP parte 2 en la herramienta Gams Studio

```
gamside: C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\Rutas_Farmacias_CVRP.gms]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
python api
Rutas_Farmacias_CVRP.gms

BINARY VARIABLES
x
INTEGER VARIABLES
u
u.up(i)$(ord(i)>1)=10000;
u.up(j)$(ord(j)>1)=10000

EQUATIONS
funcion_objetivo
asignacion_1
asignacion_2
eliminacion_subtours_1
eliminacion_subtours_2
eliminacion_subtours_3
;

*Funcion objetivo que contempla las distancias entre los puntos de venta de la red
funcion_objetivo..z=E=sum((i,j),d(i,j)*x(i,j));

*Estas restricciones aseguran que se llega a cada nodo cliente exactamente una vez
asignacion_1(i)$(ord(i)>1)..sum(j,x(i,j))$(not sameas(i,j))) =E= 1;

*Estas restricciones aseguran que se llega a cada nodo cliente exactamente una vez
asignacion_2(j)$(ord(j)>1)..sum(i,x(i,j))$(not sameas(i,j))) =E= 1;

* Conjunto de restricciones que impiden los subciclos (Formulación de Miller-Tucker-Zemlin)
eliminacion_subtours_1(i,j)$(ord(i)>1 and ord(j)>1 and not sameas(i,j))..u(i) - u(j) + Q*x(i,j) - Q + dem(j) =L= 0;
eliminacion_subtours_2(i)$(ord(i)>1)..dem(i) =L= u(i);
eliminacion_subtours_3(i)$(ord(i)>1)..u(i) =L= Q;

MODEL Farmacias_CVRP /all/
SOLVE Farmacias_CVRP using NLP min z
DISPLAY z,i,x,u;
EXECUTE UNLOAD 'Rutas_Farmacias_CVRP.gdx' z,i,x,u;
EXECUTE 'gdxrw.exe Rutas_Farmacias_CVRP.gdx var=z,i rng=Distancia_Total!A1 '
EXECUTE 'gdxrw.exe Rutas_Farmacias_CVRP.gdx var=x,i rng=Rutas!A1 '

```

Programación del modelo VRP parte 3 en la herramienta Gams Studio

The screenshot displays the Gams Studio interface with the VRP model code on the left and its execution results on the right. The code includes comments in Spanish and defines sets, parameters, and variables. The execution log shows the model was solved successfully, with a final objective value of 702.212427.

```
*** Rev 233 WEI-WEI 23.3.3 x86_64/MS Windows 08/16/22
*** General Algebraic Modeling System
*** Compilation

1 SETS
2 *Se declara el conjunto de NODOS tanto de origen como de destino
  (Farmacias) que constituyen la red.
3 i Nodos de origen la red (Bodega + Farmacias)
4 j Nodos de destino de la red (Bodega + Farmacias)
5 PARAMETER
6 d(i,j) distancia(en kilómetros) desde el nodo i al nodo j
7 dem demanda diaria en kilogramos del cliente i

GDXXRW C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\nodos.gdx
--- LOAD i = 1:1
--- LOAD j = 2:2
--- LOAD d = 3:d
--- LOAD dem = 4:dem
19 DISPLAY dem
20
21 SCALARS
22 Q Capacidad del camión /3500/
23
24 VARIABLES
25 z funcion objetivo que contempla la distancia de las rutas
  x i si la ruta de la farmacia i a la farmacia j forma parte
  y 0 en caso contrario
27 u variable auxiliar entera que permite evitar subtours
28
29 FREE VARIABLE
30 z
31 BINARY VARIABLES
32 x
```

Execution Results:

```
MIP Solution: 702.212427 (2815920 iterations, 108217 nodes)
Final Solve: 702.212427 (0 iterations)

Best possible: 371.007147
Absolute gap: 331.205280
Relative gap: 0.471660

--- Restarting execution
--- Rutas_Farmacias_CVRP.gms (65) 3 Mb
--- Reading solution for model Farmacias_CVRP
--- Rutas_Farmacias_CVRP.gms (65) 3 Mb
--- Executing after solve: elapsed 0:16:57.915
--- Rutas_Farmacias_CVRP.gms (67) 4 Mb

GDXXRW Nov 1, 2009 23.3.3 WIN 14902.15043 VIS x86/MS Windows
Input file : C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\Rutas_Farmacias_CVRP.gdx
Output file: C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\Rutas_Farmacias_CVRP.xlsx
**** Unable to save XLS file: No se puede obtener acceso a un documento de solo lectura "R
Any changes made to the spreadsheet were not saved
Total time = 6469 Ms
--- Rutas_Farmacias_CVRP.gms (68) 4 Mb

GDXXRW Nov 1, 2009 23.3.3 WIN 14902.15043 VIS x86/MS Windows
Input file : C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\Rutas_Farmacias_CVRP.gdx
Output file: C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\Rutas_Farmacias_CVRP.xlsx
**** Unable to save XLS file: No se puede obtener acceso a un documento de solo lectura "R
Any changes made to the spreadsheet were not saved
Total time = 675 Ms
--- Rutas_Farmacias_CVRP.gms (68) 4 Mb
--- Job Rutas_Farmacias_CVRP.gms Stop 08/16/22 06:54:57 elapsed 0:17:06.939
```

Programación del modelo VRPTW parte 1 en la herramienta Gams Studio

The screenshot displays the Gams Studio interface with the VRPTW model code. The code includes comments in Spanish and defines sets, parameters, and variables. It also includes a call to the GDXXRW function to save the model data to an Excel file.

```
*** Se declara el conjunto de NODOS tanto de origen como de destino (Bodega y Farmacias) que constituyen la red.
i Nodos de origen la red (Bodega + Farmacias)
j Nodos de destino de la red (Bodega + Farmacias)
k Flota de vehiculos disponible /1/

PARAMETER
d(i,j) distancia(en kilómetros) desde el nodo i al nodo j
dem demanda diaria en unidades del cliente i
ts(i) tiempo de servicio en el nodo i
tv(i,j) tiempo de viaje(en minutos) desde el nodo i al nodo j
a(i) ventana horaria inferior en el nodo i
b(i) ventana horaria superior en el nodo i

$onEcho > modelo.txt
dat=i zng=Coordenadas!B2:B79 rdim=1
dat=j zng=Coordenadas!B2:B79 rdim=1

par=q zng=Matriz!A1:CA79 rdim=1 odim=1
par=dem zng=Demanda!A2 rdim=1
par=ts zng=TiempoServicio!A2 rdim=1
par=tv zng=Matriz!A1:CA79 rdim=1 odim=1
par=a zng=VentanaInferior!A2 rdim=1
par=b zng=VentanaSuperior!A2 rdim=1
$offecho

$call gdxxrw Nodos.xlsx trace=3 @modelo.txt
$gdxxin Nodos.gdx
$load i,j,d,dem,ts, tv,a,b
$gdxxin

SCALARS
Q Capacidad del camión /3500/
M Constante positiva grande /1000/

VARIABLES
z funcion objetivo que contempla la distancia de las rutas a generarse
x i si la ruta de la farmacia i a la farmacia j forma parte de la solución y 0 en caso contrario
t inicio del tiempo de servicio en el vertice i cuando es atendido por el vehiculo k

FREE VARIABLE
z

BINARY VARIABLES
```

Programación del modelo VRPTW parte 2 en la herramienta Gams Studio

```
gamside: C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\Rutas_Farmacias_VRPTW.gms]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
python api
Rutas_Farmacias_VRPTW.gms

BINARY VARIABLES
x

EQUATIONS
funcion_objetivo
asignacion
trayectoria_1
equilibrio_de_flujo
trayectoria_2
ventanas_de_tiempo_1
ventanas_de_tiempo_2
ventanas_de_tiempo_3
capacidad
:

*Función objetivo que contempla las distancias entre los puntos de venta de la red
funcion_objetivo..z=E*sum((i,j,k),d(i,j)*x(i,j,k));

*Estas restricciones aseguran que cada cliente es asignado a una ruta una sola vez
asignacion(i,k){(ord(i)>1)..sum(j,x(i,j,k){(ord(i)>1 and not sameas(i,j))} =E= 1;

*Definen una trayectoria desde la bodega para cada vehículo de la flota
trayectoria_1(k)..sum(j{(ord(j)>1), x('0',j,k)} =E= 1;

*Efectúan el balance de flujo en cada nodo de la red que es visitado
equilibrio_de_flujo(j,k){(ord(j)>1)..sum(i{(ord(i)>1),x(i,j,k)} =E= sum(i{(ord(i)>1),x(j,i,k));

*Definen una trayectoria hasta la bodega para cada vehículo de la flota
trayectoria_2(k)..sum(i{(ord(i)>1), x(i,'0',k)} =E= 1;

*Garantizan la factibilidad del cronograma de distribución de los insumos con respecto a las ventanas horarias de atención
ventanas_de_tiempo_1(i,j,k){not sameas(i,j)}..t(i,k) + ts(i) + tv(i,j) -t(j,k) =L= (1-x(i,j,k))*M;
ventanas_de_tiempo_2(i,k)..a(i) =L= t(i,k);
ventanas_de_tiempo_3(i,k)..t(i,k) =L= b(i);

*Garantizan la factibilidad del cronograma de distribución de los insumos con respecto a la capacidad del vehículo
capacidad(k)..sum((i,j){(ord(i)>1 and ord(j)>1),dem(i)*x(i,j,k)} =L= Q;

MODEL Farmacias_VRPTW /all/

1: 1 Insert
Escribe aquí para buscar
21°C Mayorm. solea... 7:00 16/8/2022
```

Programación del modelo VRPTW parte 3 en la herramienta Gams Studio

```
gamside: C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\DETPC\Documents\gamsdir\projdir\Rutas_Farmacias_VRPTW.gms]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
python api
Rutas_Farmacias_VRPTW.gms

trayectoria_2
ventanas_de_tiempo_1
ventanas_de_tiempo_2
ventanas_de_tiempo_3
capacidad
:

*Función objetivo que contempla las distancias entre los puntos de venta de la red
funcion_objetivo..z=E*sum((i,j,k),d(i,j)*x(i,j,k));

*Estas restricciones aseguran que cada cliente es asignado a una ruta una sola vez
asignacion(i,k){(ord(i)>1)..sum(j,x(i,j,k){(ord(i)>1 and not sameas(i,j))} =E= 1;

*Definen una trayectoria desde la bodega para cada vehículo de la flota
trayectoria_1(k)..sum(j{(ord(j)>1), x('0',j,k)} =E= 1;

*Efectúan el balance de flujo en cada nodo de la red que es visitado
equilibrio_de_flujo(j,k){(ord(j)>1)..sum(i{(ord(i)>1),x(i,j,k)} =E= sum(i{(ord(i)>1),x(j,i,k));

*Definen una trayectoria hasta la bodega para cada vehículo de la flota
trayectoria_2(k)..sum(i{(ord(i)>1), x(i,'0',k)} =E= 1;

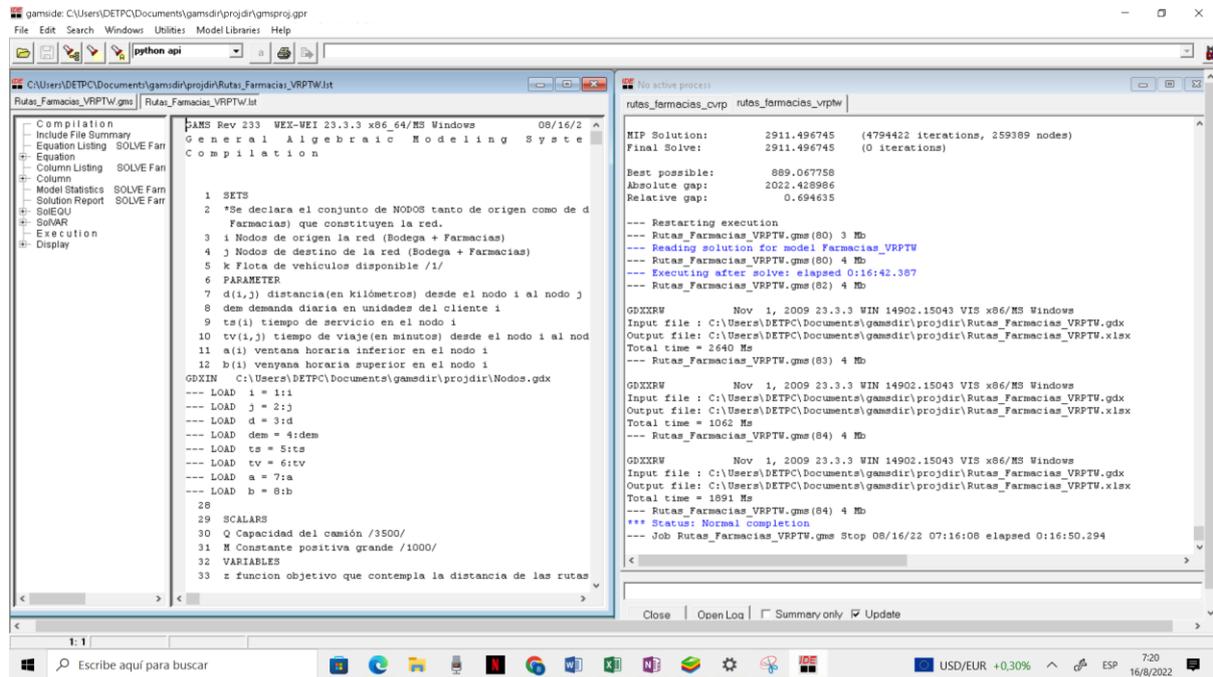
*Garantizan la factibilidad del cronograma de distribución de los insumos con respecto a las ventanas horarias de atención
ventanas_de_tiempo_1(i,j,k){not sameas(i,j)}..t(i,k) + ts(i) + tv(i,j) -t(j,k) =L= (1-x(i,j,k))*M;
ventanas_de_tiempo_2(i,k)..a(i) =L= t(i,k);
ventanas_de_tiempo_3(i,k)..t(i,k) =L= b(i);

*Garantizan la factibilidad del cronograma de distribución de los insumos con respecto a la capacidad del vehículo
capacidad(k)..sum((i,j){(ord(i)>1 and ord(j)>1),dem(i)*x(i,j,k)} =L= Q;

MODEL Farmacias_VRPTW /all/
SOLVE Farmacias_VRPTW using NLP min z
DISPLAY z,i,x,t;
EXECUTE UNLOAD 'Rutas_Farmacias_VRPTW.gdx' z=i, x=i, t=i
EXECUTE 'gdxrw.exe Rutas_Farmacias_VRPTW.gdx var=z.i rng=Distancia_Total!A1 '
EXECUTE 'gdxrw.exe Rutas_Farmacias_VRPTW.gdx var=x.i rng=Rutas!A1 '
EXECUTE 'gdxrw.exe Rutas_Farmacias_VRPTW.gdx var=t.i rng=Tiempos!A1 '

1: 1 Insert
Escribe aquí para buscar
21°C Mayorm. solea... 7:00 16/8/2022
```

Programación del modelo VRPTW parte 4 en la herramienta Gams Studio



APÉNDICE F

RESULTADOS DE ESCENARIO 1

Puntos de venta que conforman la ruta 1 para el escenario 1

Ruta 1-27P	LATITUD	LONGITUD	DIRECCIÓN
0	-1,556472	-79,753822	
15	-1,6244042	-79,5626117	SDV23
1	1,624622913	79,56275401	SDV05
4	-1,8124703	-79,507421	SDV08
2	-1,8029525	-79,5238673	SDV06
23	-1,800422	-79,523448	SDV32
33	-1,8001657	-79,5236456	SDV44
6	-1,798854	-79,529645	SDV10
18	-1,7985351	-79,529799	SDV27
26	-1,799065	-79,531087	SDV36
9	1,798863727	79,53127883	SDV14
8	-1,7983883	-79,5327142	SDV13
12	-1,798949	-79,5330562	SDV19
21	-1,7998568	-79,5327239	SDV30
27	-1,802292	-79,5335433	SDV37
13	-1,799768	-79,534507	SDV21
20	-1,799288	-79,534704	SDV29
25	1,799648479	79,53550672	SDV35

10	-1,8007009	-79,5354517	SDV16
35	-1,8002565	-79,5368807	SDV46
32	-1,800624	-79,5367186	SDV43
3	-1,802182	-79,538625	SDV07
7	-1,811692	-79,544044	SDV12
29	-1,802561	-79,538429	SDV39
34	-1,8012565	-79,5384125	SDV45
31	-1,7999235	-79,5386556	SDV42
49	-1,5720435	-79,4694653	SDV61
68	-1,570893	-79,472417	SDV86
0	-1,556472	-79,753822	

Puntos de venta que conforman la ruta 2 para el escenario 1

Ruta 2-17P	LATITUD	LONGITUD	DIRECCIÓN
0	-1,556472	-79,753822	
46	-1,366157575	79,90574097	SDV58
44	-1,365911769	79,90652879	SDV56
45	-1,365622968	79,90713913	SDV57
43	-1,36725132	79,90708732	SDV54
40	-1,8760194	-79,8622893	SDV51
39	1,871243664	79,88189958	SDV50
36	-2,2180119	-80,0817634	SDV47
37	2,234743058	80,07968733	SDV48
38	-2,016364	-79,866237	SDV49
24	1,960473737	79,39905215	SDV34
16	-1,993622	-79,3550296	SDV24
30	-1,99485	-79,356435	SDV41
14	-1,891017	-79,556659	SDV22
19	-1,8344603	-79,6080762	SDV28
22	-1,784678	-79,678051	SDV31
5	-1,784687	-79,6782153	SDV09
11	-1,67686	-79,644217	SDV17
0	-1,556472	-79,753822	

Puntos de venta que conforman la ruta 3 para el escenario 1

Ruta 3-33P	LATITUD	LONGITUD	DIRECCIÓN
0	-1,556472	-79,753822	
51	-1,549648	-79,53519	SDV64
50	-1,548576	-79,5312342	SDV62
48	-1,569439	-79,467991	SDV60

17	-1,7098157	-79,3938904	SDV25
54	-1,630633	-79,257363	SDV71
71	-1,4509074	-79,4616358	SDV89
70	-1,44438293	- 79,46418774	SDV88
72	- 1,443551252	- 79,46184497	FD102
73	- 1,444139936	- 79,46055519	FD115
69	- 1,442611103	- 79,46130515	SDV87
74	- 1,436239437	- 79,45769583	FD116
47	-1,441562	-79,460449	SDV59
63	-0,9635053	-79,4205077	SDV81
56	-0,79861335	- 79,35311128	SDV73
28	-0,79861335	- 79,35311128	SDV38
64	-0,9531266	-79,3548864	SDV82
57	-0,966096	-79,4226085	SDV74
62	-1,0063044	-79,4666732	SDV80
55	-1,0062551	-79,4681494	SDV72
61	-1,011669	-79,466691	SDV79
65	- 1,015633469	- 79,47261916	SDV83
66	-1,0243789	-79,4666038	SDV84
52	-1,0245231	-79,4660482	SDV65
53	-1,0254493	-79,4670343	SDV69
67	-1,0273058	-79,4674876	SDV85
75	- 1,028169682	- 79,46783491	FD117
76	- 1,041656722	- 79,46848726	FD118
60	-1,0416861	- 79,46808807	SDV78
59	-1,0372367	-79,4736188	SDV77
58	-1,0398602	-79,475724	SDV75
77	-1,186411	-79,5038158	FD119
41	- 1,435628609	- 79,75617612	SDV52
42	-1,4365653	-79,7554502	SDV53
0	-1,556472	-79,753822	

Resultados de escenario 2

Puntos de venta que conforman la ruta 1 para el escenario

Ruta 1-30P	LATITUD	LONGITUD	DIRECCIÓN
0	-1,556472	-79,753822	
15	-1,6244042	-79,5626117	SDV23

1	-1,624622913	-79,56275401	SDV05
4	-1,8124703	-79,507421	SDV08
2	-1,8029525	-79,5238673	SDV06
23	-1,800422	-79,523448	SDV32
33	-1,8001657	-79,5236456	SDV44
6	-1,798854	-79,529645	SDV10
18	-1,7985351	-79,529799	SDV27
26	-1,799065	-79,531087	SDV36
9	-1,798863727	-79,53127883	SDV14
8	-1,7983883	-79,5327142	SDV13
12	-1,798949	-79,5330562	SDV19
21	-1,7998568	-79,5327239	SDV30
27	-1,802292	-79,5335433	SDV37
13	-1,799768	-79,534507	SDV21
20	-1,799288	-79,534704	SDV29
25	-1,799648479	-79,53550672	SDV35
10	-1,8007009	-79,5354517	SDV16
35	-1,8002565	-79,5368807	SDV46
32	-1,800624	-79,5367186	SDV43
3	-1,802182	-79,538625	SDV07
7	-1,811692	-79,544044	SDV12
29	-1,802561	-79,538429	SDV39
34	-1,8012565	-79,5384125	SDV45
31	-1,7999235	-79,5386556	SDV42
17	-1,7098157	-79,3938904	SDV25
54	-1,630633	-79,257363	SDV71
48	-1,569439	-79,467991	SDV60
49	-1,5720435	-79,4694653	SDV61
68	-1,570893	-79,472417	SDV86
0	-1,556472	-79,753822	

Puntos de venta que conforman la ruta 2 para el escenario 2

Ruta 2-17P	LATITUD	LONGITUD	DIRECCIÓN
0	-1,556472	-79,753822	
46	-1,366157575	-79,90574097	SDV58
44	-1,365911769	-79,90652879	SDV56
45	-1,365622968	-79,90713913	SDV57
43	-1,36725132	-79,90708732	SDV54
40	-1,8760194	-79,8622893	SDV51
39	-1,871243664	-79,88189958	SDV50
36	-2,2180119	-80,0817634	SDV47
37	-2,234743058	-80,07968733	SDV48
38	-2,016364	-79,866237	SDV49
24	-1,960473737	-79,39905215	SDV34
16	-1,993622	-79,3550296	SDV24

30	-1,99485	-79,356435	SDV41
14	-1,891017	-79,556659	SDV22
19	-1,8344603	-79,6080762	SDV28
22	-1,784678	-79,678051	SDV31
5	-1,784687	-79,6782153	SDV09
11	-1,67686	-79,644217	SDV17
0	-1,556472	-79,753822	

Puntos de venta que conforman la ruta 3 para el escenario 2

Ruta 3-30P	LATITUD	LONGITUD	DIRECCIÓN
0	-1,556472	-79,753822	
51	-1,549648	-79,53519	SDV64
50	-1,548576	-79,5312342	SDV62
71	-1,4509074	-79,4616358	SDV89
70	-1,44438293	-79,46418774	SDV88
72	-1,443551252	-79,46184497	FD102
73	-1,444139936	-79,46055519	FD115
69	-1,442611103	-79,46130515	SDV87
74	-1,436239437	-79,45769583	FD116
47	-1,441562	-79,460449	SDV59
63	-0,9635053	-79,4205077	SDV81
56	-0,79861335	-79,35311128	SDV73
28	-0,79861335	-79,35311128	SDV38
64	-0,9531266	-79,3548864	SDV82
57	-0,966096	-79,4226085	SDV74
62	-1,0063044	-79,4666732	SDV80
55	-1,0062551	-79,4681494	SDV72
61	-1,011669	-79,466691	SDV79
65	-1,015633469	-79,47261916	SDV83
66	-1,0243789	-79,4666038	SDV84
52	-1,0245231	-79,4660482	SDV65
53	-1,0254493	-79,4670343	SDV69
67	-1,0273058	-79,4674876	SDV85
75	-1,028169682	-79,46783491	FD117
76	-1,041656722	-79,46848726	FD118
60	-1,0416861	-79,46808807	SDV78
59	-1,0372367	-79,4736188	SDV77
58	-1,0398602	-79,475724	SDV75
77	-1,186411	-79,5038158	FD119
41	-1,435628609	-79,75617612	SDV52
42	-1,4365653	-79,7554502	SDV53
0	-1,556472	-79,753822	

APÉNDICE G

Ejemplo Indicaciones A Seguir Ruta 1

A a **B**

34 min (31,3 km)

A -1.556472, -79.753822

↑	1.	Dirígete hacia el noreste por la Sucre hacia Olmedo	0,1 km
↘	2.	Gire a la derecha por Bolivar	0,3 km
↗	3.	Gire a la derecha por Avenida Aquiles Carriel	1,8 km
↙	4.	Gire a la izquierda por E484 / Avenida Aquiles Carriel	29,0 km, 31 min

Llegada a **E484 / Avenida Aurora Estrada**

5. La última intersección es Avenida Seminario
Si llega a 6 de Octubre, se ha pasado de largo

B -1.624404, -79.562612

B a **C**

1 min (26 min)

B -1.624404, -79.562612

	1.	Dirígete hacia el suroeste por la E484 / Avenida Aurora Estrada hacia Avenida Seminario	26 min
	2.	Llegada a E484 / Avenida Aurora Estrada La última intersección es 6 de Octubre Si llega a Avenida Seminario, se ha pasado de largo	

C -1.624623, -79.562754

C -1.624623, -79.562754

	1. Dirígete hacia el suroeste por la E484 / Avenida Aurora Estrada hacia Avenida Seminario	0,1 km
	2. Gire a la izquierda por Avenida Seminario	0,7 km
	3. Gire a la derecha por E25 / Troncal de la Costa	17,9 km, 16 min
	4. Entre en la rotonda	92 min
	5. Abandone la rotonda en la salida número 0	86 min
	6. Continúe recto por Vía al Terminal	1,3 km
	7. Entre en la rotonda	53 min
	8. Abandone la rotonda en la salida número 0	0,1 km
	9. Gire a la derecha por Vía al Terminal	0,3 km
	10. El nombre de la vía cambia a Vía al Terminal	0,7 km
	11. El nombre de la vía cambia a Vía al Terminal	0,5 km