

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Rediseño de las rutas de transporte de una empresa comercializadora de insumos
de construcción”

INGE-2818

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Marlon Gonzalo Barreto Castro

Emilio Fabricio Jiménez Mejía

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a Dios, por brindarme fuerza, sabiduría y ser mi guía durante esta etapa universitaria. A mis padres, Gonzalo y Ruth, por brindarme una educación excepcional y por siempre motivarme. A mi hermana Janna, por inspirarme continuamente y por ser siempre mi ejemplo por seguir. A mi enamorada Ma. Isabel por su motivación, apoyo y cariño constante que me han dado fuerza para alcanzar mis metas. A mis abuelos, que siempre vivirán en mi corazón, y a toda mi familia por su presencia en esta importante etapa.

Marlon

Dedicatoria

Dedico este proyecto, en primer lugar, a Dios, por concederme la salud necesaria para avanzar y cumplir mis metas. A mis padres, Giovanni Jiménez y Marcia Mejía, quienes con su apoyo incondicional han estado a mi lado en esta etapa tan importante. A mi hermano Kevin, por sus consejos y por escucharme en los momentos en que más lo he necesitado. A mi mascota Simba, por ser mi compañero de desveladas y a mi estrella en el cielo, Jack. Finalmente, a mis amistades más cercanas, por su compañía y aliento a lo largo de este camino.

Emilio

Agradecimientos

Agradezco a Dios por un día más de vida, por brindarme salud y sabiduría durante todo este tiempo. A mis padres, Gonzalo y Ruth que siempre me han apoyado y me han brindado de su tiempo y esfuerzo para ser una mejor persona y por ser mis guías para construir mis metas.

Marlon

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mis padres, por nunca dejar de creer en mí, por dedicarme su tiempo y recursos para que pueda salir adelante. A mi compañero de materia integradora, Marlon, quien me ha acompañado en este largo camino y quien ha demostrado valentía y dedicación para la consecución de este trabajo. A mis amigos que conocí en esta importante etapa y me ayudan a crecer cada día. También, a mis profesores de ESPOL, quienes son fuente de inspiración.

Emilio

Declaración Expresa

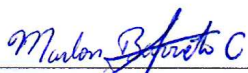
Nosotros Marlon Gonzalo Barreto Castro y Emilio Fabricio Jiménez Mejía acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 22 de mayo del 2025.



Marlon Gonzalo Barreto
Castro



Emilio Fabricio Jiménez
Mejía

Evaluadores

María Laura Retamales G. M.Sc

Profesor de Materia

Sofía Anabel Lopez M.Sc

Tutor de proyecto

Resumen

La organización analizada se dedica a la comercialización y distribución a nivel nacional de materiales de construcción. Actualmente opera con un único centro de distribución y una flota de 8 vehículos. El presente proyecto tiene como objetivo rediseñar las rutas de distribución de esta empresa, mediante la aplicación de un modelo matemático de enrutamiento que incorpore restricciones del entorno. La justificación se fundamenta en la necesidad de reducir costos logísticos, minimizar distancias recorridas y tiempos de entrega, además de contribuir a la sostenibilidad de las operaciones.

Para el desarrollo se empleó la metodología DMADV a fin de estructurar un modelo de programación entera mixta basado en ruteo de múltiples depósitos, implementado en *Python*, resuelto y simulado bajo diversas condiciones en la plataforma *Google Colab*, con datos obtenidos de una semana de operaciones.

Los resultados demostraron reducciones del 14% tanto en distancia recorrida, emisiones de CO₂ y en horas de viaje semanales. Además de una disminución de 7% en costos de transporte.

Se concluye que el modelo propuesto mejora la eficiencia logística, asegura el cumplimiento normativo y aporta a la sostenibilidad integral de la operación.

Palabras Clave: Optimización de rutas, logística sostenible, programación entera mixta, MDVRP.

Abstract

The organization under analysis is dedicated to the nationwide commercialization and distribution of construction materials. It currently operates with a single distribution center and a fleet of 8 vehicles. The objective of this project is to redesign the company's distribution routes through the application of a mathematical routing model that incorporates environmental and operational constraints. The justification lies in the need to reduce logistics costs, minimize traveled distances and delivery times, and contribute to the sustainability of operations.

For the development, the DMADV methodology was applied to structure a mixed-integer programming model based on multi-depot routing, implemented in Python, and solved and simulated under various conditions on the Google Colab platform, using data obtained from one week of operations.

The results showed reductions of 14% in traveled distance, CO₂ emissions, and weekly travel hours, as well as a 7% decrease in transportation costs.

It is concluded that the proposed model enhances logistics efficiency, ensures regulatory compliance, and contributes to the overall sustainability of the operation.

Keywords: Route optimization, sustainable logistics, mixed-integer programming, MDVRP.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas.....	X
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	2
1.3 Justificación del Problema	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Marco teórico	4
1.5.1 Mapa de procesos (ISO 9001)	4
1.5.2 Proveedores, Entradas, Proceso, Salidas, Clientes (SIPOC)	4
1.5.3 Voice of Customer (VOC).....	4
1.5.4 Quality Function Deployment (QFD)	5
1.5.5 Point of View (POV)	5
1.5.6 Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar (DMADV)	5
Capítulo 2	7
2. Metodología.	8
2.1 Definición	8
2.1.1 Situación actual	8
2.1.2 Alcance del proyecto	8
2.1.3 Mapa de empatía.....	10

2.1.4	Voz del cliente.....	11
2.1.5	Despliegue de la función de calidad (QFD)	12
2.1.6	Especificaciones técnicas de diseño	14
2.1.7	Restricciones de diseño	14
2.1.8	Métricas de sostenibilidad	14
2.1.8.1	Aspecto social	15
2.1.8.2	Aspecto ambiental	15
2.1.8.3	Aspecto económico	15
2.1.9	Punto de vista (POV).....	16
2.2	Medición	16
2.2.1	Plan de recolección de datos.....	16
2.2.2	Validación de datos	20
2.2.2.1	Puntos de ventas.....	20
2.2.2.2	Demanda por punto de venta.....	21
2.2.2.3	Capacidad de los camiones disponibles	22
2.2.2.4	Factor de carga por camión.	24
2.2.2.5	Costo de transporte.....	26
2.3	Análisis	29
2.3.1	Situación actual	29
2.3.2	Propuestas de diseño.....	33
2.3.2.1	Propuesta 1: Modelo CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem).....	33
2.3.2.2	Propuesta 2: Modelo VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows)	33
2.3.2.3	Propuesta 3: Modelo MDVRP (Multi-Depot Vehicle Routing Problem).....	33
2.3.3	Análisis comparativo de las propuestas.....	33
2.3.4	Análisis financiero.....	34
2.4	Diseñar.....	36
2.4.1	Modelo de ruteo de múltiples depósitos (MDVRP)	36

2.4.2 Insumos del modelo.....	39
2.4.3 Costos y tiempos de servicio	42
2.4.3.1 Tiempos de servicio	42
2.4.3.2 Costos de transporte	43
2.4.4 Condiciones del entorno	44
2.4.5 Formulación del modelo en Google Colab.....	45
2.4.6 Plan de implementación.	49
Capítulo 3	51
3. Resultados y análisis	52
3.1 Línea base de la operación.....	52
3.2 Resultados del prototipo	52
3.3 Análisis de resultados	54
3.4 Propuesta de plano de descarga y organización de órdenes	62
3.5 Resultados de métricas de sostenibilidad y beneficios complementarios	65
3.5.1 Aspecto social.....	65
3.5.2 Aspecto económico	66
3.5.3 Aspecto ambiental	66
3.5.4 Utilización de la flota vehicular	66
Capítulo 4	68
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	69
4.1.1 Conclusiones	69
4.1.2 Recomendaciones.....	70
Referencias.....	72
Anexos.....	74

Abreviaturas

API	Application Programming Interface
CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem
DMADV	Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar
ERP	Enterprise Resource Planning
MDVRP	Multi-Depot Vehicle Routing Problem
POV	Point of View
QFD	Quality Function Development
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers
SKU	Stock Keeping Unit
VOC	Voice of Customer
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows

Simbología

gal.	Galones
h	Hora
kg	Kilogramos
km	Kilómetro
m3	Metros cúbicos
min.	Minutos
L	Litros
Ton.	Toneladas métricas
USD	dólares estadounidenses

Índice de figuras

Figura 1. <i>Mapa de macroprocesos de la empresa</i>	8
Figura 2. <i>Representación de la cadena de suministro de la compañía</i>	9
Figura 3. <i>SIPOC del proceso de distribución</i>	9
Figura 4. <i>Mapa de empatía: Gerente de la compañía</i>	10
Figura 5. <i>Mapa de empatía: Planificador de rutas</i>	10
Figura 6. <i>VOC general</i>	11
Figura 7. <i>Quality Function Deployment (QFD)</i>	13
Figura 8. <i>Diagrama de dispersión elaborado con las ubicaciones geográficas de los clientes</i> ...	21
Figura 9. <i>Comparación de medias de capacidad de vehículos de la empresa</i>	23
Figura 10. <i>Proceso de empaque y preparación de carga</i>	24
Figura 11. <i>Peso y Factor de carga digitalizado en el sistema Drivin</i>	25
Figura 12. <i>Prueba de Normalidad del factor carga por camión</i>	26
Figura 13. <i>Histograma de Normalidad del factor carga por camión</i>	26
Figura 14. <i>Reporte de gasto de transporte del vehículo GSF-9051</i>	29
Figura 15. <i>Reporte de información histórica con corte junio 2025</i>	32
Figura 16. <i>Ejemplo de matriz de distancias reales entre nodos</i>	40
Figura 17. <i>Formulación en Google Colab parte 1</i>	46
Figura 18. <i>Formulación en Google Colab parte 2</i>	47
Figura 19. <i>Formulación en Google Colab parte 3</i>	47
Figura 20. <i>Formulación en Google Colab parte 4</i>	48
Figura 21. <i>Formulación en Google Colab parte 5</i>	48
Figura 22. <i>Formulación en Google Colab parte 6</i>	48
Figura 23. <i>Reporte MDVRP generado por el modelo</i>	53
Figura 24. <i>Costos por vehículo</i>	54
Figura 25. <i>Resumen por depósito</i>	54

Figura 26. <i>Ruta de distribución Santo Domingo-Santo Domingo</i>	55
Figura 27. <i>Ruta de distribución Guayaquil-El Oro</i>	56
Figura 28. <i>Ruta de distribución Guayaquil-Manabí</i>	58
Figura 29. <i>Ruta de distribución Guayaquil-Santa Elena-Los Ríos</i>	59
Figura 30. <i>Ruta de distribución Guayaquil-Guayaquil</i>	60
Figura 31. <i>Detalle de las órdenes de los clientes asignados al vehículo GQD-439</i>	63
Figura 32. <i>Plano de descarga de pedidos del vehículo GQD-439</i>	64
Figura 33. <i>Secuencia de la descarga de pedidos del vehículo GQD-439</i>	65
Figura 34. <i>Utilización de los camiones según información histórica</i>	66
Figura 35. <i>Diagrama de cajas con utilización de situación actual vs propuesta</i>	67

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Tabla de correlaciones para QFD</i>	12
Tabla 2. <i>Tabla de relaciones para QFD</i>	12
Tabla 3. <i>Punto de Vista (POV)</i>	16
Tabla 4. <i>Plan de recolección de datos</i>	18
Tabla 5. <i>Resultados de la depuración inicial de los datos</i>	20
Tabla 6. <i>Criterio para validar las coordenadas</i>	20
Tabla 7. <i>Datos de órdenes de clientes en peso y volumen</i>	21
Tabla 8. <i>Muestra A: Capacidad de la flota de vehículos según la empresa</i>	22
Tabla 9. <i>Muestra B: Capacidad de la flota de vehículos según ficha técnica</i>	23
Tabla 10. <i>Pesaje manual registrado en ERP</i>	24
Tabla 11. <i>Detalle de gastos de evento</i>	27
Tabla 12. <i>Costos fijos del vehículo GSF-9051</i>	27
Tabla 13. <i>Datos de distancia y consumo de gasolina del vehículo GSF-9051</i>	28
Tabla 14. <i>Clasificación ABC de SKUs según el peso</i>	30
Tabla 15. <i>Clasificación ABC de SKUs según el volumen</i>	31
Tabla 16. <i>Matriz de Evaluación Comparativa de Modelos de Ruteo</i>	34
Tabla 17. <i>Costos de software y soporte</i>	34
Tabla 18. <i>Costos de horas extras</i>	35
Tabla 19. <i>Costos de capacitación al personal involucrado</i>	35
Tabla 20. <i>Resumen de la inversión inicial para el modelo</i>	35
Tabla 21. <i>Datos de clientes de 1 día de operaciones</i>	39
Tabla 22. <i>Información de ubicaciones de depósitos</i>	40
Tabla 23. <i>Información de la flota de vehículos disponible</i>	40
Tabla 24. <i>Datos de pedidos de clientes de un día de operación</i>	41
Tabla 25. <i>Tabla de velocidades permitidas por la ley</i>	42

Tabla 26. <i>Detalle de costos por camión</i>	43
Tabla 27. <i>Plan de implementación del prototipado</i>	50
Tabla 28. <i>Resultados reportados por la empresa en la semana de análisis (11 al 15 de agosto)</i>	52
Tabla 29. <i>Resumen indicadores ruta Santo Domingo-Santo Domingo</i>	55
Tabla 30. <i>Resumen indicadores ruta Guayaquil-El Oro</i>	56
Tabla 31. <i>Resumen indicadores ruta Guayaquil-Manabí</i>	57
Tabla 32. <i>Resumen indicadores ruta Guayaquil-Santa Elena-Los Ríos</i>	58
Tabla 33. <i>Resumen indicadores ruta Guayaquil-Guayaquil</i>	59
Tabla 34. <i>Resultados obtenidos tras una semana de simulación con el modelo</i>	60
Tabla 35. <i>Desempeño semanal de la flota por vehículo</i>	61
Tabla 36. <i>Resultados de la aplicación del modelo</i>	62

Capítulo 1

1.1 Introducción

La empresa analizada es una distribuidora de materiales de construcción y ferretería con presencia regional, que atiende tanto a clientes mayoristas como minoristas desde su único centro de distribución localizado en Guayaquil. Su portafolio supera los 10.000 SKUs activos, abarcando desde insumos de obra gruesa como cementos, morteros y bloques, hasta productos de plomería, porcelanatos, tanques plásticos, herramientas y accesorios eléctricos. Esta amplia variedad de artículos le permite abastecer a diferentes segmentos del mercado, que incluyen ferreterías locales, contratistas de obra y proyectos residenciales.

La diversidad de productos se refleja en la complejidad logística. Por un lado, artículos pesados como morteros y adhesivos concentran gran parte del peso transportado. Por otro, tanques y tuberías representan un desafío por el volumen que ocupan en los vehículos. A esto se suman los productos de alta rotación, como los accesorios de plomería y ferretería, cuya alta frecuencia de pedidos condiciona la operativa diaria. Estos productos, de almacenamiento de alta densidad (empaquetados en cajas), deben gestionarse con agilidad.

En cuanto a la demanda, la empresa atiende a más de 800 clientes activos en la región, con pedidos que combinan artículos de distinta naturaleza en un mismo envío. Esta heterogeneidad obliga a diseñar rutas que equilibren peso, volumen y frecuencia de productos, asegurando tanto el cumplimiento de la capacidad de los vehículos como el servicio oportuno al cliente.

En este contexto, se diseñará un modelo para optimizar el uso de los recursos, minimizando tiempos y distancias de recorrido. El proyecto busca que el sistema de transporte propuesto sea más eficiente, económico, sostenible y acorde a los productos de mayor impacto en la operación logística. Esto permitirá priorizar la planificación de cargas y rutas, atendiendo a la mayor cantidad de clientes de manera eficiente y considerando las restricciones del entorno.

1.2 Descripción del Problema

La empresa enfrenta una necesidad crítica: el rediseño y la optimización de sus rutas de transporte. Al presente, las rutas no están adecuadamente diseñadas para responder eficientemente

a la demanda real ni para maximizar la utilización de la flota. Además, debido a la naturaleza del negocio, la utilización de la flota propia es variable, ya que depende del volumen de los artículos a transportar. Esto se traduce en viajes ineficientes y una cobertura deficiente.

Estas deficiencias generan varios problemas significativos, como extensos tiempos de viaje y entrega, lo que impacta negativamente la satisfacción del cliente. Adicionalmente, el equipo de transportistas ha reportado que las restricciones municipales en zonas de alta demanda complican aún más la planificación de las rutas.

1.3 Justificación del Problema

La implementación de un modelo de ruteo óptimo en el sistema de transporte de la empresa de insumos de construcción es crucial debido a la necesidad de maximizar la utilización de sus camiones. Actualmente, la flota presenta una utilización variable, directamente influenciada por el volumen dada la naturaleza de los artículos a entregar. Esta variabilidad impide el cumplimiento de los tiempos de entrega pactados, lo que a su vez genera insatisfacción en los clientes.

Para la compañía, la satisfacción del cliente es importante pues un cliente satisfecho no solo es más leal, sino que también puede generar referencias, lo cual impacta positivamente en el crecimiento y la sostenibilidad del negocio. Por lo tanto, resolver este problema de ruteo es indispensable para mejorar la eficiencia operativa y, lo que es más importante, fortalecer la relación con los clientes y potenciar la rentabilidad del negocio.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Rediseñar las rutas de transporte de una empresa distribuidora de materiales de construcción mediante la aplicación de modelos de ruteo considerando las restricciones del entorno y que optimicen la utilización de los activos en un plazo de 3 meses.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar las principales necesidades del gerente de operaciones de la empresa mediante entrevistas y el análisis de información histórica de los viajes realizados por

la flota, con el fin de asegurar que el diseño propuesto responda a los requerimientos del cliente.

- Definir las especificaciones técnicas que deberá cumplir el diseño de ruteo propuesto, tomando como base las necesidades previamente identificadas.
- Diseñar y parametrizar el modelo de ruteo seleccionado, implementándolo en una plataforma tecnológica que facilite la resolución, interpretación y el análisis de los resultados por parte del cliente clave.
- Evaluar y validar el desempeño del modelo implementado a través de análisis de rutas, verificando su funcionalidad, adaptabilidad a la naturaleza de los productos transportados y restricciones operativas.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Mapa de procesos (ISO 9001)

Es una representación gráfica que muestra cómo se organiza, relacionan y gestionan los procesos claves de una empresa. No solamente busca la representación gráfica, sino también ayuda a que se garantice los estándares de calidad establecidos por esta norma internacional. (Álvarez, 2012)

1.5.2 Proveedores, Entradas, Proceso, Salidas, Clientes (SIPOC)

Es una herramienta de visualización del flujo de trabajo que ayuda a identificar y analizar sus etapas y componentes clave. Además, sirve como guía para comprender la interconexión entre sus elementos, examinar estrategias para cumplir objetivos y encontrar áreas de mejora en la operación. (Julio Santillán Aldana, 2012)

1.5.3 Voice of Customer (VOC)

Es un enfoque que permite recopilar y analizar los comentarios de los usuarios sobre sus experiencias y expectativas. Su principal objetivo es comprender las necesidades del cliente y

utilizar esa información como base para mejoras constructivas, permitiendo tomar decisiones empresariales más acertadas.

Esta información se obtiene a través de diversas fuentes, como encuestas, entrevistas, redes sociales y análisis de datos, y se utiliza para optimizar productos, servicios y procesos. (Bautista, 2023)

1.5.4 *Quality Function Deployment (QFD)*

Esta metodología de gestión de calidad que ayuda a traducir las necesidades y expectativas del cliente en requisitos técnicos para el diseño de productos o servicios de una organización. (Rojas, 2009)

1.5.5 *Point of View (POV)*

Caeiro Rodríguez y Fernández Iglesias (2019) definen el POV como una herramienta que tiene como enfoque estratégico para entender un problema desde distintas perspectivas garantizando una adecuada estructuración del proyecto. Este se relaciona la perspectiva del cliente con los tres componentes clave de esta herramienta: cliente, necesidades e *insight*.

1.5.6 *Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar (DMADV)*

Es una metodología con enfoque de Seis Sigma utilizada para diseñar o rediseñar procesos, productos o servicios nuevos, asegurando que el nuevo diseño o rediseño cumpla con las expectativas del cliente en cada etapa. (Pyzdek, 2014)

Las siglas DMADV representan las 5 fases de proceso:

- **Definir:** En esta fase inicial, se establecen los objetivos del proyecto como las necesidades del cliente. El equipo de proyecto debe identificar el problema, establecer metas, definir el alcance del proyecto, a partir de la información dada por el cliente.
- **Medir:** Se centra en la recopilación de datos de acuerdo con las variables definidas en la fase anterior.
- **Analizar:** Una vez que se tienen los datos, esta etapa se dedica a analizar tanto la fiabilidad de los datos de la fase previa como de examinar las diferentes opciones de diseño,

enfocándose en explorar diversas ideas y potenciales soluciones que puedan satisfacer las necesidades del cliente.

- **Diseñar:** Se desarrolla el diseño de producto o proceso para entregar valor al cliente. Este diseño debe ser robusto y capaz de operar eficientemente, para ello se usan modelos predictivos, simulación o pruebas piloto.
- **Verificar:** Por último, se comprueba que los sistemas implementados trabajen según lo esperado y se diseñan métricas que permitan asegurar un rendimiento óptimo sostenido.

Capítulo 2

2. Metodología.

2.1 Definición

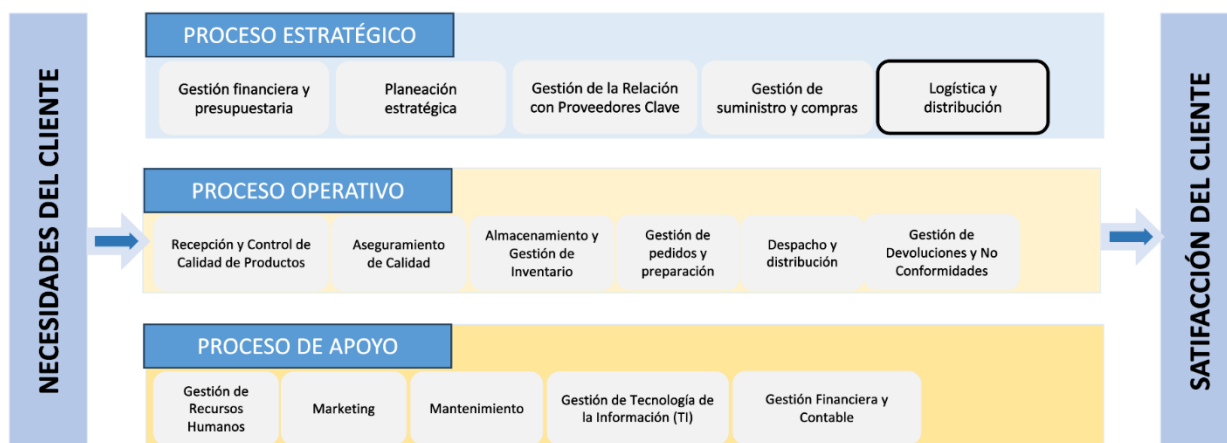
Para esta primera fase, es importante reunir toda la información posible que nos permita entender a fondo las necesidades del cliente clave y a su vez, definir claramente el problema que enfrenta la empresa.

2.1.1 Situación actual

Para comprender la situación de la empresa se entrevistó a actores clave, generando el mapa de macroprocesos mostrado en la Figura 1, donde se evidencian procesos estratégicos, operativos y de apoyo. En este contexto, el estudio de rutas se centró en el departamento de Logística y Distribución.

Figura 1.

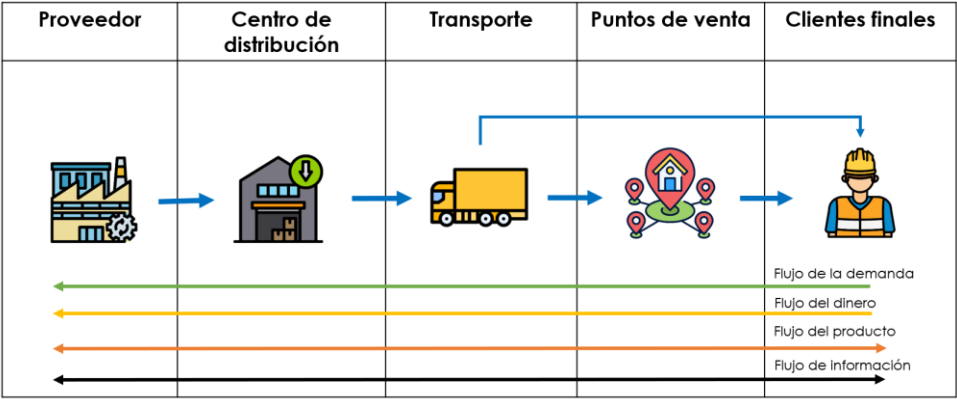
Mapa de macroprocesos de la empresa



2.1.2 Alcance del proyecto

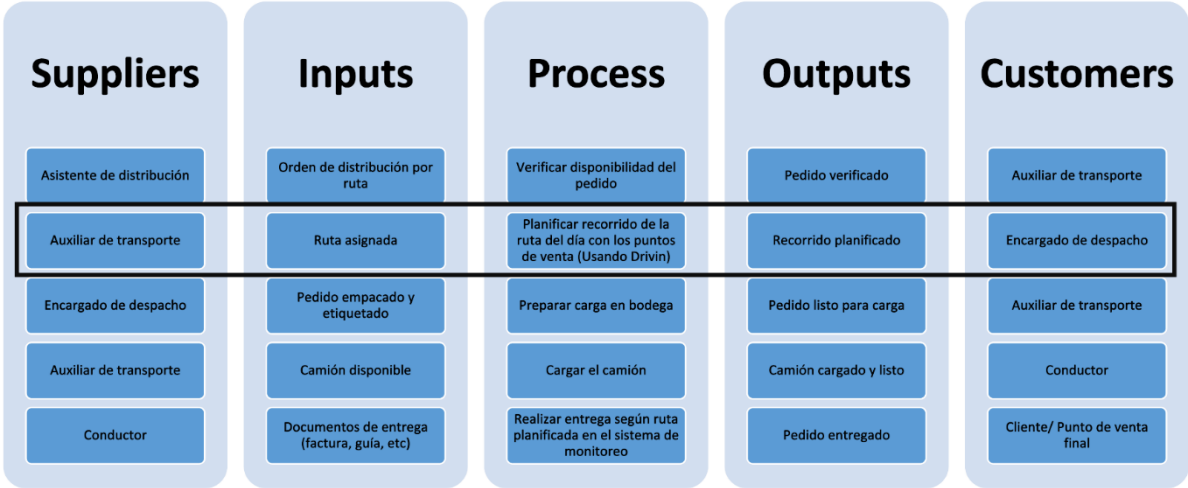
Para delimitar el alcance del proyecto, se consideró necesario realizar una representación de cómo opera la organización a través de un mapa de la cadena de suministro. La Figura 2 muestra el flujo logístico de la empresa, desde proveedores hasta clientes finales. El proceso inicia en el centro de distribución y contempla cuatro flujos principales: demanda, dinero, producto e información, los cuales garantizan coordinación y control entre todos los actores de la cadena de suministro durante las operaciones logísticas.

Figura 2.
Representación de la cadena de suministro de la compañía



Posterior a ello, se elaboró un diagrama SIPOC, una herramienta diseñada para analizar un proceso y su entorno mediante la identificación de sus proveedores (S), entradas (I), proceso (P), y clientes (C) (Gutiérrez, 2009). De esta manera, se logró representar el proceso actual de distribución de la compañía y, al mismo tiempo, enfocar el proyecto específicamente en la etapa del proceso “planificación del recorrido de la ruta del día con los puntos de venta”, detallado en la Figura 3.

Figura 3.
SIPOC del proceso de distribución



2.1.3 Mapa de empatía

Con el objetivo de comprender a profundidad la problemática por la cual atraviesa la organización, se entrevistó a los actores principales del proceso, en este caso al gerente general y al planificador de rutas. Para recopilar la información brindada por ambos actores se levantaron mapas de empatía, los cuales siguen la metodología de *Design Thinking*. Ambos mapas son detallados en las Figuras 4 y 5 respectivamente.

Figura 4.

Mapa de empatía: Gerente de la compañía

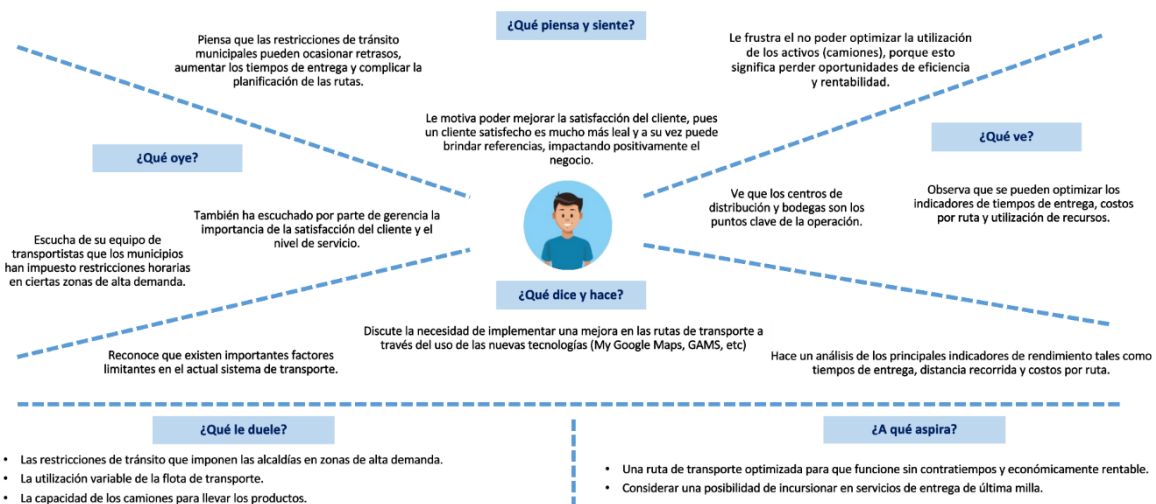
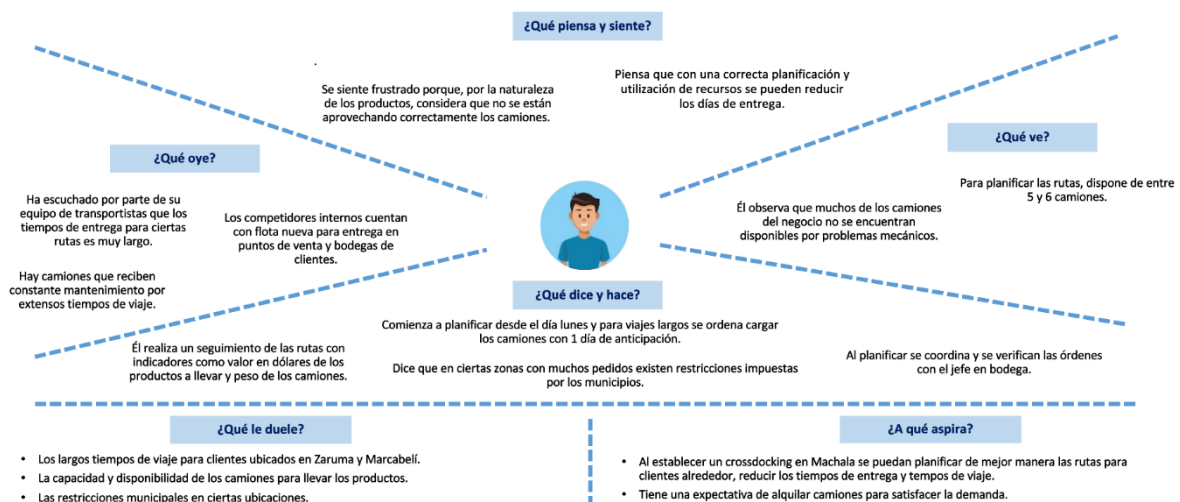


Figura 5.

Mapa de empatía: Planificador de rutas



Las entrevistas evidenciaron que gerente y planificador comparten preocupación por restricciones de tráfico, uso variable de la flota y largos tiempos de entrega. Además, señalaron quejas por fallas mecánicas y coincidieron en aspirar a una operación optimizada, eficiente y rentable.

2.1.4 Voz del cliente

Después de recopilar información de los principales actores del proceso logístico, se realizó un VOC, (en español, voz del cliente), para especificar el valor desde el punto de vista de los clientes entrevistados: Gerente y Planificador de ruta.

Figura 6.

VOC general



En la Figura 6, destacan comentarios como:

- “Los vehículos no están siendo utilizados en su máxima capacidad”
- “Evitar multas y sanciones derivadas del incumplimiento de normativas de tránsito”.
- “Hay tiempos de recorrido por ruta muy extensos”
- “La flota de transporte propio tiene una utilización variable”

Los mismos que resumen las principales necesidades del cliente clave y serán de gran apoyo para el establecimiento de las especificaciones que deberá cumplir el rediseño de las rutas actuales.

2.1.5 Despliegue de la función de calidad (QFD)

Tras recopilar información del cliente clave y actores logísticos, se elaboró una Casa de la Calidad (QFD) (ver Figura 7) para transformar entrevistas en necesidades y especificaciones técnicas. El QFD estableció correlaciones mediante la Tabla 1 y determinó la intensidad de relaciones con la Tabla 2.

Tabla 1.

Tabla de correlaciones para QFD

Correlaciones
Positiva +
Negativa —
Sin correlación

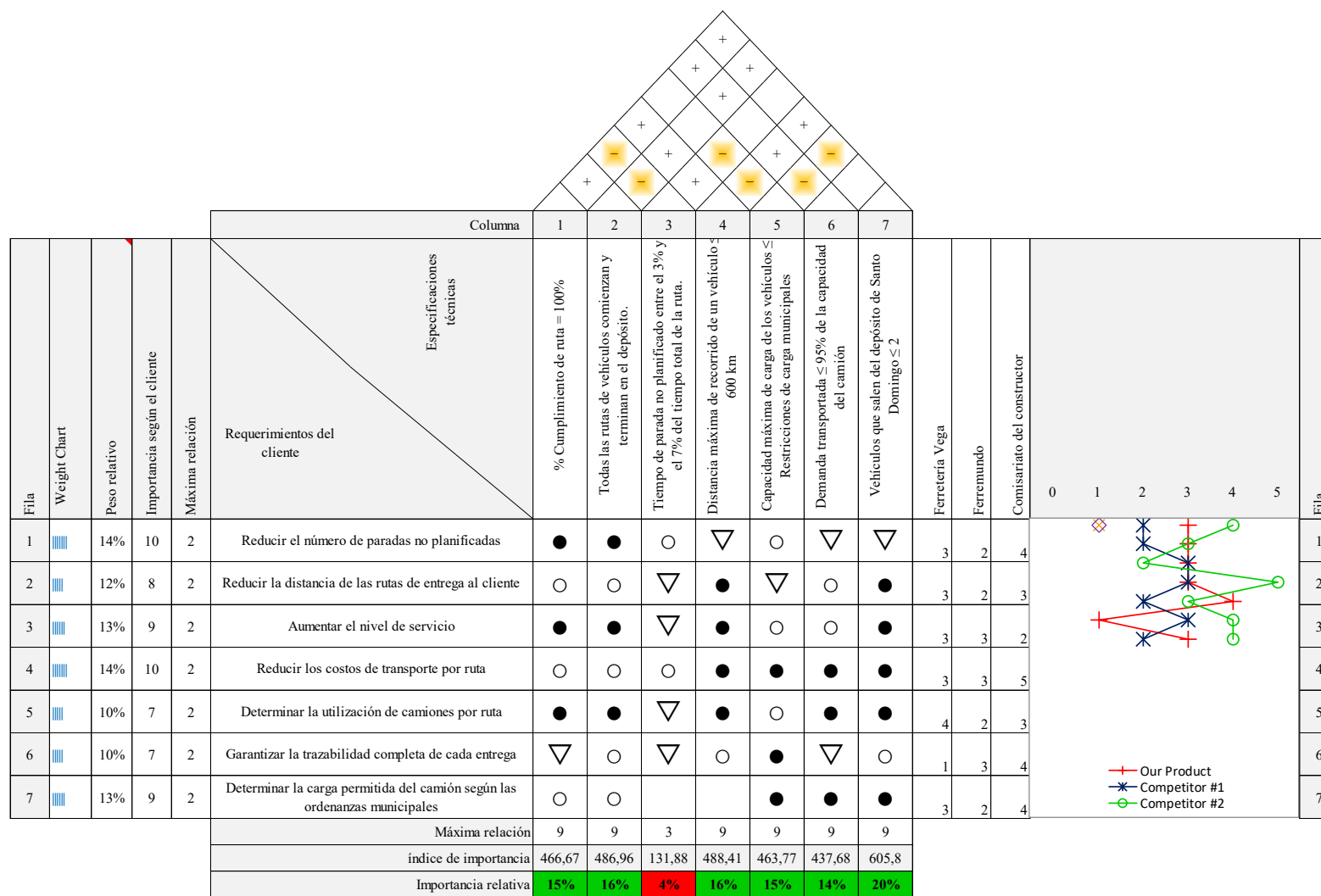
Tabla 2.

Tabla de relaciones para QFD

Relaciones
Fuerte ●
Moderada ○
Débil ▽

Figura 7.

Quality Function Deployment (QFD)



2.1.6 Especificaciones técnicas de diseño

Las especificaciones de diseño del modelo de ruteo se definieron según necesidades operativas y estratégicas, garantizando que la solución cumpla expectativas del cliente y asegure eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad. Con este criterio y ayuda de la herramienta descrita previamente se seleccionaron las especificaciones técnicas aplicadas en el proyecto.

1. % de cumplimiento de ruta = 100%
2. Todas las rutas de los vehículos comienzan y terminan en el depósito
3. Demanda transportada $\leq 95\%$ de capacidad de camión
4. Vehículos que salen del depósito de Santo Domingo ≤ 2
5. Distancia máxima de recorrido de un vehículo ≤ 600 km
6. Capacidad máxima de carga de los vehículos $\leq$ Restricciones municipales de carga

2.1.7 Restricciones de diseño

Es importante considerar las siguientes restricciones que podrían impactar en la elaboración de este proyecto de rediseño de las rutas de transporte para la organización:

- La variabilidad en los volúmenes de pedido y las características de los productos dificulta la consolidación de cargas y limita la planificación eficiente de las rutas de entrega.
- El sistema actual de rutas de transporte contempla exclusivamente al centro de distribución de GYE como el único punto de partida y de retorno para la flota de vehículos.
- Existen ordenanzas municipales que regulan la circulación vehicular. Estas normas, que varían según el tipo de vehículo, su carga y horario, se aplican en las vías urbanas y en los accesos carreteros dentro de los límites de las áreas urbanas y de expansión.
- Hay ubicaciones de bodegas de clientes que no se encuentran debidamente registradas en el sistema de geolocalización.

2.1.8 Métricas de sostenibilidad

La sostenibilidad se planteó como eje fundamental para evaluar el rediseño de rutas, midiendo equilibradamente impactos económicos, sociales y ambientales. Indicadores específicos

permitieron identificar mejoras, reducir efectos negativos y promover una gestión logística más eficiente, responsable y orientada a la sostenibilidad integral.

2.1.8.1 Aspecto social

El bienestar de los transportistas influye en la productividad y seguridad. Se evaluó el tiempo total de viaje semanal como indicador de carga laboral. Reducir estas horas disminuye la fatiga, mejora el desempeño en entregas y optimiza costos asociados al recurso humano.

$$Tiempo\ de\ viaje\ semanal = \frac{Distancia\ total\ recorrida\ [km]}{Velocidad\ promedio\ de\ la\ flota\ [km/h]}$$

2.1.8.2 Aspecto ambiental

El impacto ambiental se evaluó mediante las emisiones semanales de CO_2 , calculadas con distancia recorrida, consumo promedio (0,3 L/km) y factor de emisión. Este indicador cuantificó los beneficios ambientales del modelo optimizado, reduciendo significativamente la huella de carbono empresarial.

$$Emisiones\ de\ CO_2 = Distancia\ total\ recorrida\ [km] * 0,3 \left[\frac{L}{km} \right] * 2,68\ [kg\ CO_2/L]$$

2.1.8.3 Aspecto económico

Desde la perspectiva económica se analizaron los costos de transporte semanales, integrando costos fijos de operación de todos los vehículos utilizados y costos variables de estos tal como el consumo de combustible. Esta métrica permitió evaluar objetivamente el comportamiento económico del ruteo y su importancia en la sostenibilidad financiera empresarial.

$$Gasto\ en\ rutas\ semanal = \sum Costos\ fijos\ de\ operación + \sum Costos\ variables$$

2.1.9 Punto de vista (POV)

Para la construcción del Punto de Vista (POV) se consideraron tres elementos clave: el cliente principal del proyecto, su necesidad fundamental en relación con el problema, y el hallazgo relevante, tal como se ilustra en la Tabla 3.

Tabla 3.

Punto de Vista (POV)

Usuario	Necesidad	Hallazgo
Gerente de Logística/Operaciones de una empresa comercializadora de insumos de construcción.	Rediseñar y optimizar sus actuales rutas de transporte con la finalidad de maximizar la utilización de su flota y mejorar los niveles de servicio	Las rutas actuales no están diseñadas para responder eficientemente a la demanda real ni optimizar el uso de la flota, lo que genera recorridos ineficientes, baja cobertura y niveles de servicio insatisfactorios.

Nota. Elaboración propia

La unión de estos tres componentes dio como resultado el siguiente enunciado: “El Gerente de Logística y Operaciones de una empresa de insumos para la construcción necesita una forma de rediseñar y optimizar sus rutas de transporte porque el sistema actual no está diseñado para responder a la demanda real, lo que genera ineficiencias, una baja utilización de la flota y niveles de servicio insatisfactorios.”

2.2 Medición

Como parte del desarrollo inicial del proyecto, se elaboró un plan de recolección de datos con el objetivo de adquirir y verificar información se sirve como base para su análisis posterior.

2.2.1 Plan de recolección de datos

Se desarrolló el plan de recolección de datos, la cual es descrita en la Tabla 4, mediante los requerimientos de diseño definidos en el **Despliegue de la función de calidad (QFD)** con el

objetivo de levantar información enfocado en las variables operativas y técnicas relevantes para el diseño de rutas de transporte. Esas variables permiten caracterizar el comportamiento actual de transporte e identificar oportunidades de mejora.

Tabla 4.

Plan de recolección de datos

Nº	¿QUIÉN?		¿QUÉ?	¿CUÁNDO?		¿DÓNDE?	¿POR QUÉ?		¿CÓMO?	
	Responsable	Variable	Definición operacional	Unidad de medida	Tipo de datos	Fecha	Ubicación-Origen	Uso futuro	Método de observación	Método de recopilación de datos
X1	Emilio Jiménez y Marlon Barreto	Puntos de venta	Coordenadas GPS de los sitios de entrega del cliente.	longitud y latitud	Cuantitativo – Continuo	De enero a junio de 2025	Drivin (Software de gestión de transporte)	Analizar cobertura de rutas, precisión del enrutamiento y estimación de tiempos de viaje.	Revisión de documentos	Verificar la provisión de registros históricos de clientes por parte de la gerencia de la empresa.
X2	Emilio Jiménez y Marlon Barreto	Demanda de los puntos de venta	Demanda de cada cliente de la empresa	kilogramo	Cuantitativo – Continuo	De enero a junio de 2025	Planificación de recursos empresariales (ERP)	La demanda de los clientes guía la planificación de rutas y la asignación eficiente de vehículos.	Revisión de documentos	Comprobación de los datos históricos de demanda por parte de la dirección de la empresa.
X3	Emilio Jiménez y Marlon Barreto	Capacidad de camiones disponibles	Capacidad máxima de carga de cada camión de la flota.	Montones	Cuantitativo – Continuo	De enero a junio de 2025	Excel	Asignar rutas de forma adecuada cumpliendo restricciones municipales y técnicas.	Revisión de documentos	Acceso y revisión de la base de datos interna de la flota de vehículos.

X4	Emilio Jiménez y Marlon Barreto	Factor de carga por camión	Relación entre la carga real transportada y la capacidad total del camión.	%	Cuantitativo – Continuo	De enero a junio de 2025	Planificación de recursos empresariales (ERP) Registro de Transportistas y Proveedores de Logística	Para medir la eficiencia del uso de camiones y evitar viajes innecesarios.	Documentado en los registros de despacho	Comparando el peso/volumen del envío con la capacidad del camión.
X5	Emilio Jiménez y Marlon Barreto	Costos de transporte asociados a la ruta	Valor monetario de los recursos consumidos en la ejecución de una ruta de transporte.	\$	Cuantitativo – Continuo	Junio de 2025	ERP / Sistema financiero	Analizar la rentabilidad de la ruta.	Revisión de documentos	Mediante registros contables y asignación de costos fijos por ruta.

2.2.2 Validación de datos

A partir de la información proporcionada por la empresa, se validaron variables cuantitativas mediante análisis descriptivo, lo que permitió identificar patrones y evaluar la precisión de los datos recopilados.

2.2.2.1 Puntos de ventas

Según la información proporcionada por la organización, se cuenta con 13.323 clientes con transacciones registradas, cuyas ubicaciones fueron geocodificadas en latitud y longitud. Para evaluar la confiabilidad se realizó una limpieza inicial, detectando posibles duplicados o errores. Los resultados de este proceso se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5.

Resultados de la depuración inicial de los datos

Detalle	Coordenadas
Duplicados	917
Sin transacciones	11124
Cientes activos	1273
Mal ingreso o información faltante	9
Total	13323

Nota. Elaboración propia

Posterior a ello, se elaboró en Minitab un diagrama de dispersión con 1273 ubicaciones de clientes, representando longitud y latitud. Esto permitió verificar la coherencia espacial de los datos y validar que se encuentran dentro del territorio continental, siguiendo restricciones geográficas nacionales.

Tabla 6.

Criterio para validar las coordenadas

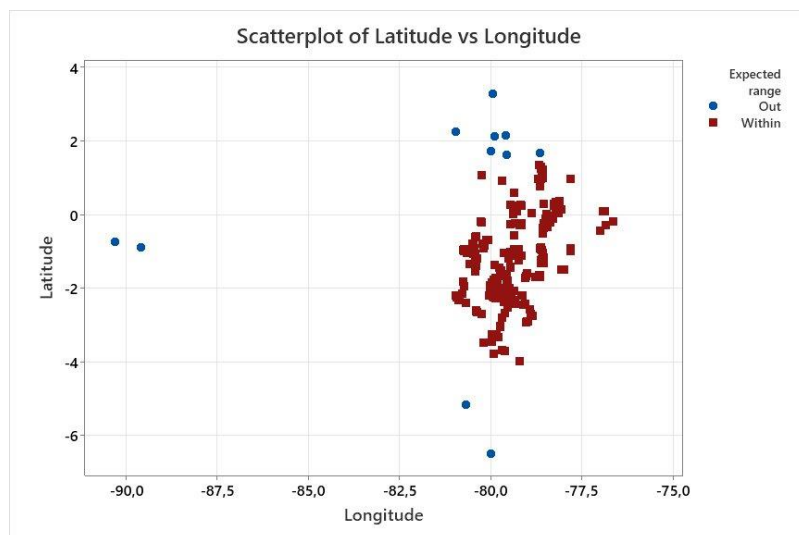
Coordenada	Rango válido
Latitud	desde -5,01 (sur) a 1,50 (norte)
Longitud	desde -81,1 (región Costa) a -75,1 (región Amazónica)

Nota. Datos tomados del Instituto Geográfico Militar del Ecuador. (2025)

Finalmente, se comprobó que 1.258 coordenadas geográficas se encontraban dentro del territorio continental ecuatoriano, es decir que el 98.8% de los datos son válidos. En la Figura 8 se puede observar que los puntos de color azul son todos aquellos fuera del rango definido en la tabla anterior.

Figura 8.

Diagrama de dispersión elaborado con las ubicaciones geográficas de los clientes



2.2.2.2 Demanda por punto de venta

La variable de demanda de los puntos de venta corresponde a la cantidad de producto solicitada por cada cliente de la empresa, expresada en kilogramos (kg) y volumen en metros cúbicos (m³). Los datos fueron obtenidos a partir del sistema ERP de la compañía, lo que asegura su trazabilidad y consistencia. Estos datos están mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7.

Datos de órdenes de clientes en peso y volumen

ID Cliente	Nombre de cliente	Tipo de cliente	Peso de la orden (kg)	Volumen de la orden (m3)
6907	Cliente A	Mayorista	411,00	1,23
15194	Cliente B	Mayorista	375,00	3,40
15249	Cliente C	Mayorista	2300,00	6,90
15260	Cliente D	Mayorista	214,00	1,20
15285	Cliente E	Mayorista	364,00	2,40
15294	Cliente F	Minorista	2404,00	7,21
15299	Cliente G	Constructor	232,00	0,70

15359	Cliente H	Constructor	121,00	0,36
15430	Cliente I	Constructor	1105,00	3,32
15569	Cliente J	Constructor	251,00	1,40
15657	Cliente K	Constructor	1308,00	3,92
15719	Cliente L	Constructor	1455,00	4,37
15725	Cliente M	Constructor	275,00	0,55
15726	Cliente G	Minorista	304,00	0,91
...	...	...	...	...

Nota. Por motivos de confidencialidad, los nombres de los clientes fueron anonimizados. La información mostrada mantiene únicamente fines ilustrativos para este proyecto.

Para validar esta información se aplicó los criterios del negocio que confirmaron la coherencia de los registros al descartar valores negativos y fijar un umbral mínimo de 300 kg por pedido. Como resultado, se verificó que 1.258 puntos de venta cumplen las condiciones, constituyendo una base confiable.

2.2.2.3 Capacidad de los camiones disponibles

De acuerdo con los registros de la compañía, la flota consta de 15 vehículos, de los cuales 13 son propios. La información incluye placa, modelo, características y capacidad en toneladas y centímetros cúbicos. Para verificar la confiabilidad se aplicó una prueba t para muestras pareadas en Minitab, comparando dos muestras: la A (ver Tabla 8), con la capacidad en toneladas declarada por la empresa (13 camiones), y la B (ver Tabla 9), con la capacidad registrada en las fichas técnicas según matrícula. Este análisis buscó determinar diferencias significativas en los datos.

Tabla 8.

Muestra A: Capacidad de la flota de vehículos según la empresa

Placa	Modelo	Capacidad de carga (Ton.)
GKX-103	5T CHEVY NPR 97	5,50
GMD-0015	5T HINO DUTRO 03	5,50
GPB-559	5T CHEVY NPR 07	5,50
GQX-311	4.5T CHEVY NPR 08	4,50
GRX-7435	17T HINO GH 10	17,50
GSF-9051	17T HINO GH 12	17,50
GSM-2347	3T QMC 13	3,50
GSM-2349	3T QMC 13	3,50
GSW-4655	5T JAC 23	5,50

GSW-4656	5T JAC 23	5,50
GTA-9716	3T JAC 22	3,50
GTF-3102	1T Wingle5 20	1,50
GTN9533	HINO 2.5	2,50

Nota. Información proporcionada por la empresa

Tabla 9.

Muestra B: Capacidad de la flota de vehículos según ficha técnica

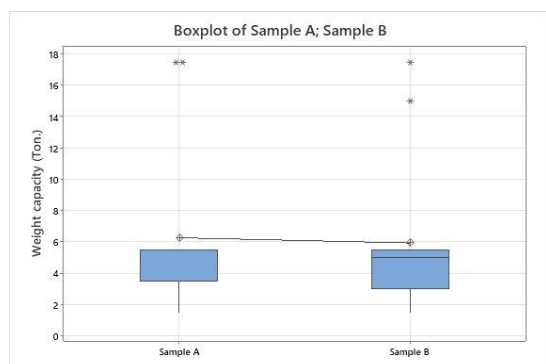
Placa	Modelo	Capacidad de carga (Ton.)
GKX-103	5T CHEVY NPR 97	5,50
GMD-0015	5T HINO DUTRO 03	5,50
GPB-559	5T CHEVY NPR 07	5,12
GQX-311	4.5T CHEVY NPR 08	5,00
GRX-7435	17T HINO GH 10	15,00
GSF-9051	17T HINO GH 12	17,50
GSM-2347	3T QMC 13	3,00
GSM-2349	3T QMC 13	3,00
GSW-4655	5T JAC 23	5,02
GSW-4656	5T JAC 23	5,02
GTA-9716	3T JAC 22	3,49
GTF-3102	1T Wingle5 20	1,50
GTN9533	HINO 2.5	2,50

Nota. Información proporcionada por la empresa

Tras introducir los datos de las Tablas 8 y 9, el software arrojó un valor $p = 0,118$, indicando que no existen diferencias significativas entre las muestras A y B. Por lo tanto, la capacidad registrada coincide con las especificaciones técnicas, como muestra la Figura 9.

Figura 9.

Comparación de medias de capacidad de vehículos de la empresa



2.2.2.4 Factor de carga por camión.

El factor de carga por camión es un indicador que refleja la eficiencia en la utilización de la capacidad disponible de los vehículos de la empresa durante sus operaciones. Este se calcula a partir de la relación entre la carga efectiva transportada y la capacidad total del vehículo asignado.

$$\text{Factor carga (peso)} = \frac{\text{Carga transportada efectiva}}{\text{Capacidad total del vehículo}}$$

Los datos de carga efectiva provienen de Drivin, alimentado manualmente en JD Edwards. Para garantizar precisión, la empresa realizó un pesaje previo de paquetes siguiendo el proceso descrito en la Figura 10. Luego, el ERP consolida el peso total transportado y el vehículo utilizado en cada operación.

Figura 10.

Proceso de empaque y preparación de carga



La validación del factor de carga se realizó mediante la técnica GEMBA, comparando registros manuales con el sistema Drivin. La Tabla 10 presenta el muestreo del 22 al 25 de junio de 2025, incluyendo vehículos en rutas hacia cinco provincias. Los resultados muestran la relación entre peso transportado y capacidad máxima, permitiendo calcular el factor porcentual.

Tabla 10.

Pesaje manual registrado en ERP

Mes, Día, Año de F. Plan.	Código del Vehículo	Ruta	Peso Kg.	Peso Kg.	Factor Carga %	Capacidad del vehículo kg.	Vol. Carga M3	Cant. Clientes
22/06/2025	GTA-9716	Los Ríos	2.031,7	2.031,7	0,58	3.500	40	2
	GSW-4655	Guayaquil	1.735,6	2.200,4	0,40	5.500	37	1

23/06/2025	GSF-9051	Los Ríos	464,9					3
		El Oro	7.903,7	9.011,0	0,51	17.500	62	15
		G.B-B2	1.107,4					4
	GSW-4655	Manabí	4.765,9	4.765,9	0,87	5.500	72	3
	GSW-4656	El Oro	2.692,7	2.692,7	0,49	5.500	22	3
	GQX-311	La	4.027,7	4.289,4	0,95	4.500	92	9
		Península						
		G.S-B85	261,7					1
	GPB-559	Guayaquil	2.317,8	2.317,8	0,42	5.500	8	9
	24/06/2025	GTA-9716	Milagro	3.400,1	3.400,1	0,97	3.500	55
GSW-4655		Los Ríos	3.492,3	3.492,3	0,63	5.500	57	8
GQX-311		La	5.217,1	5.217,1	1,16	4.500	23	4
		Península						
25/06/2025	GTA-9716	Los Ríos	3.780,9	3.780,9	1,08	3.500	91	6
	GSF-9051	Los Ríos	8.318,7	8.318,7	0,48	17.500	53	1
	GRX-7435	Manabí	9.403,5	14.970,5	0,86	17.500	84	1
		P.M-B2	5.567,0					1
	GSW-4655	La	1.221,4	3.379,5	0,61	5.500	55	11
		Península						
		G.S-B85	2.158,2					1
	GSW-4656	Los Ríos	2.798,6	2.798,6	0,51	5.500	76	3

Nota. Información levantada por los autores del proyecto.

El análisis evidenció variaciones en la eficiencia de la flota, con factores de carga entre 40% y 108%, según ruta y vehículo. Esto refleja tanto un uso adecuado en ciertos trayectos como oportunidades de mejora. La comparación entre datos del ERP y Drivin (ver Figura 11) mostró consistencia, confirmando registros confiables y precisos para el análisis.

Figura 11.

Peso y Factor de carga digitalizado en el sistema Drivin

Dashboard Análisis de Flota										
Mes, Día, Año de F. Plan.	Código del Vehículo	Número de paradas planificadas	Paradas totales	Paradas desconocidas	Peso Kg.	Factor Carga %	Capacidad del vehículo kg.	Vol. Carga M3	Factor Carga Vol.	Cant. Clientes
22 de junio de 2025	GTA-9716	6	13	7	2.040,7	0,58	3.500	40	0,67	2
	GSW-4655	8	12	4	2.210,4	0,40	5.500	37	0,61	3
	GSF-9051	20	15	2	9.011,0	0,51	17.500	62	0,69	15
	GSW-4655	6	5	1	4.765,9	0,87	5.500	72	0,90	3
23 de junio de 2025	GSW-4656	6	8	2	2.694,7	0,49	5.500	22	0,55	3
	GQX-311	10	18	9	4.289,4	0,95	4.500	92	0,99	9
	GPB-559	15	12	3	2.315,8	0,42	5.500	61	0,67	9
	GTA-9716	17	19	2	3.400,1	0,97	3.500	55	0,56	12
24 de junio de 2025	GSW-4655	12	6	1	3.494,3	0,64	5.500	57	0,70	8
	GQX-311	6	5	1	5.217,1	1,16	4.500	83	0,95	4
	GTA-9716	8	10	3	3.780,9	1,08	3.500	91	1,10	6
	GSF-9051	3	6	3	8.320,7	0,48	17.500	53	0,70	1
25 de junio de 2025	GRX-7435	2	5	3	14.970,5	0,86	17.500	84	1,20	1
	GSW-4655	14	18	4	3.388,5	0,62	5.500	55	0,70	11
	GSW-4656	6	5	1	2.798,6	0,51	5.500	76	0,90	3

Nota. Información proporcionada por la empresa

Se realizó una evaluación estadística en Minitab con 25 vehículos mediante la prueba de normalidad Shapiro-Wilk. Los resultados evidenciaron que el factor de carga sigue una distribución normal ($p = 0,084$). La Figura 12 muestra alineación con la línea de probabilidad, mientras que la Figura 13 evidencia un histograma simétrico con patrón de distribución normal.

Figura 12.

Prueba de Normalidad del factor carga por camión

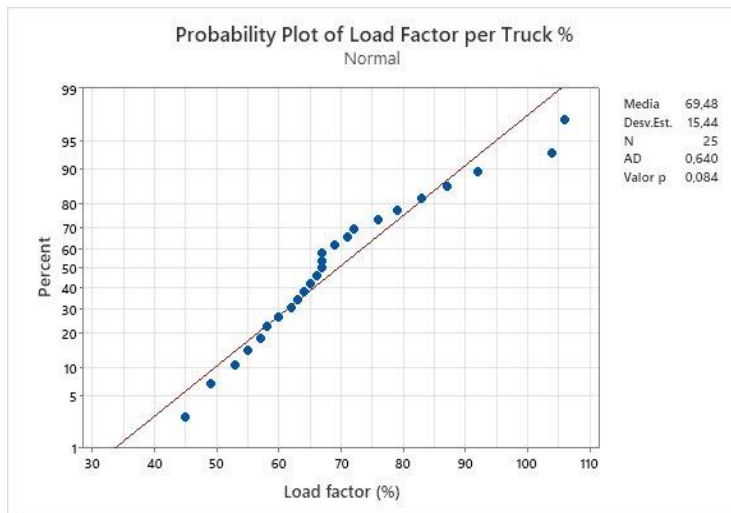
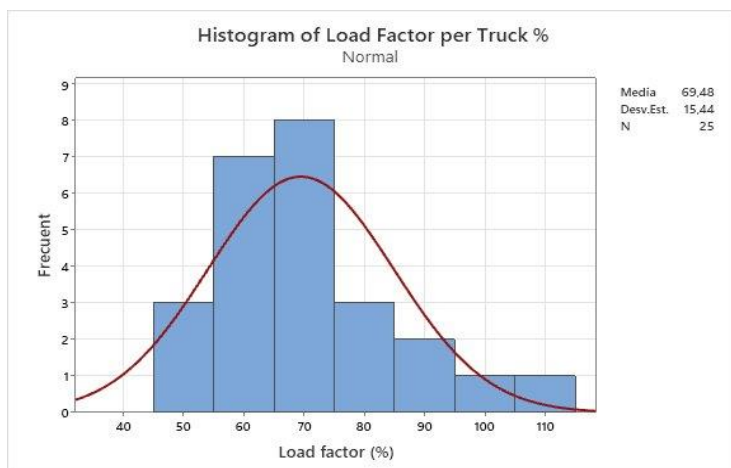


Figura 13.

Histograma de Normalidad del factor carga por camión



2.2.2.5 Costo de transporte

Para confirmar la exactitud de los registros contables, se evaluaron los gastos de transporte de junio. La revisión reveló que la empresa calcula estos costos mediante dos componentes: gastos

de eventos y cargos financieros, registrados por cada conductor. Los primeros incluyen peajes, viajes y alimentación, ingresados manualmente en el sistema junto con facturas. Los segundos corresponden a las siguientes categorías: Costos fijos de operación y variables.

En costos fijos de operación se encuentra lo siguiente: Depreciación comercial, costo salarial regular, tarifa de operación del vehículo (aunque en teoría sería variable, en este estudio se considera como fijo dado que la empresa lo tiene parametrizado como un valor constante con base en registros históricos) y el precio por galón de combustible definido en el sistema de \$1,75.

En tanto que los costos variables consideran al costo por consumo de combustible, el cual está en función de la distancia recorrida por el vehículo y su rendimiento en km/gal.

Para garantizar la consistencia y exactitud de los datos registrados, se seleccionó una muestra específica para su análisis: el vehículo GSF-9051 en la ruta Santa Elena. Se hizo una comparación entre información del sistema (Figura 14) y una estimación a partir de fórmulas. Los datos del vehículo provienen de Drivin y se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 11.

Detalle de gastos de evento

Movilización (viáticos)	\$15,00
Peaje (viáticos)	\$8,00
Registro de factura de alimentación consolidada	\$22,00
Horas extras	\$0,00

Nota. Información proporcionada por la empresa

Tabla 12.

Costos fijos del vehículo GSF-9051

Tarifa de operación	\$38,02
Depreciación comercial	\$6,54
Costo regular de salarios	\$59,04
Costo del galón de gasolina	\$1,75

Nota. Información proporcionada por la empresa

Tabla 13.

Datos de distancia y consumo de gasolina del vehículo GSF-9051

Distancia recorrida [km]	385,3
Rendimiento de combustible [km/gal.]	16,05

Nota. Información proporcionada por la empresa

Ahora que se conocen los datos de la muestra se procede a realizar los cálculos pertinentes y poder obtener el costo total del vehículo en la ruta.

$$\text{Consumo de galones} = \frac{\text{Distancia recorrida [km]}}{\text{Rendimiento de gasolina } \left[\frac{\text{km}}{\text{gal.}}\right]}$$

$$\text{Consumo de galones} = \frac{383,30 \text{ km}}{16,05 \left[\frac{\text{km}}{\text{gal.}}\right]}$$

$$\text{Consumo de galones} = 24,01 \text{ gal.}$$

$$\text{Costo de combustible} = \text{Consumo de galones} \times \text{Costo del galón}$$

$$\text{Costo de combustible} = 24,01 \text{ gal.} \times 1,75 \left[\frac{\text{USD}}{\text{gal.}}\right]$$

$$\text{Costo de combustible} = \$42,01$$

$$\text{Gastos financieros totales} = \text{Costos fijos} + \text{Costos variables}$$

$$\text{Gastos financieros totales} = [\$38,02 + \$6,54 + \$59,04] + \$42,01$$

$$\text{Gastos financieros totales} = \$145,61$$

$$\text{Gastos de eventos} = \sum_1^n \text{eventos}_0$$

$$\text{Gastos de eventos} = \$15,00 + \$8,00 + \$22,00$$

$$\text{Gastos de eventos} = \$45,00$$

$$\text{Costo total de la ruta} = \text{Gastos de eventos} + \text{Gastos financieros totales}$$

$$\text{Costo total de la ruta} = \$45,00 + \$145,61 = \$190,61$$

Figura 14.

Reporte de gasto de transporte del vehículo GSF-9051

Reporte de Gasto Transporte

F. Plan.

1 de julio de 2025

Rutas_C

Todo

Código del Vehículo

Todo

Evento

Todo

Conductor

10309 - WALTER GEOVANNY ZAMBRANO ZAMBRANO

Asistente conductor

Todo

Cant. Dias/Ruta

1

Reporte Gasto Eventos

Conductor.	Código del Vehículo	Rutas_C	Tipo Gasto	Evento	
10309 - WALTER GEOVANNY ZAMBRANO ZAMBRANO	GSF-9051	La Peninsula		HORA EXTRA (SUELDOS)	0.00
				MOVILIZACION (VIATICOS)	15.00
				PEAJE (VIATICOS)	8.00
				REGISTRO DE FACTURA DE ALIMENTACION CONSOLIDADA (NO)	22.00
Total general					45.00

Reporte Gasto Financiero

Conductor.	Asistente conductor	Código del Vehículo	Rutas_C		
10309 - WALTER GEOVANNY ZAMBRANO ZAMBRANO	400758 - OSCAR FERNANDO BANCHON CHALEN	GSF-9051	La Peninsula	Distancia Recorrida	385.30 Km
				Consumo (Km/Gal)	16.05
				Consumo GL	24.01
				Costo Combustible	42.01
				Costo De Mantenimiento Diario	38.02
				Depreciacion Comercial	6.54
				Sueldo C.	4.36
				Costo Sueldos Regular	59.04
				Costo T. Financiero.	145.61
				Costos Sueldos H/Extras	0.00
				G. Total Ruta	190.61
				PdE Accept. \$	6,773.53
				% G.T. Ruta	2.72%

Nota. Información proporcionada por la empresa

Luego de haber realizado los cálculos se concluyó que el resultado obtenido del cálculo coincide con el valor de gasto total de ruta de la Figura 14. Es así como la información proporcionada es totalmente válida.

2.3 Análisis

2.3.1 Situación actual

Conforme a la información obtenida en la fase de recolección de datos, se elaboró una clasificación ABC considerando tanto el peso total movilizado como el volumen ocupado en los vehículos con los productos más vendidos y agrupados en familias.

El análisis por peso (ver Tabla 14) permitió identificar que los artículos diversos de alta rotación (aquellos que van en cajas), morteros, adhesivos y empastes representan la mayor carga

en la operación, seguidos por la familia de tuberías y accesorios hidráulicos, lo que evidencia la necesidad de asignar vehículos de mayor capacidad para su transporte.

Tabla 14.

Clasificación ABC de SKUs según el peso

Categoría	Peso Total (kg)	% Participación	% Acumulado	Clasificación ABC
Artículos diversos de alta rotación	1'089.473,86	65,25%	65,25%	A
Morteros, adhesivos y empastes	386.506,01	23,15%	88,40%	B
Tuberías y accesorios hidráulicos	127.410,05	7,63%	96,03%	C
Porcelanatos y revestimientos cerámicos	33.962,37	2,03%	98,07%	C
Herramientas y artículos de ferretería	16.229,75	0,97%	99,04%	C
Materiales eléctricos e iluminación	8.134,72	0,49%	99,53%	C
Cementos, bloques y materiales básicos de construcción	6.002,56	0,36%	99,89%	C
Tanques plásticos de almacenamiento	1.452,18	0,09%	99,97%	C
Selladores y productos químicos auxiliares	423,80	0,03%	100,00%	C

Nota. Elaborado a partir de información proporcionada por la empresa

Por otro lado, la clasificación por volumen (ver Tabla 15), evidenció que las tuberías y los tanques plásticos de almacenamiento condicionan de forma significativa la utilización del espacio en los camiones, lo que obliga a planificar rutas específicas que eviten la subutilización de la flota.

En conjunto, estas dos perspectivas permitieron priorizar las familias de productos que generan mayor impacto en la operación logística y que fueron consideradas como referencia principal para el rediseño de rutas de transporte.

Tabla 15.*Clasificación ABC de SKUs según el volumen*

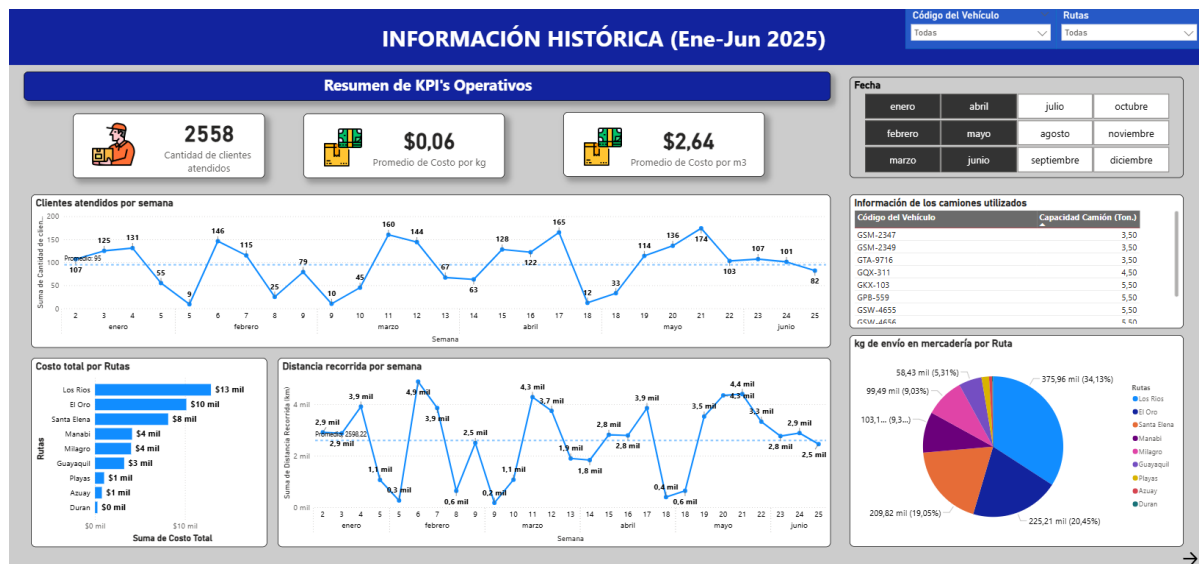
Categoría	Volumen Total (m3)	% Participación	% Acumulado	Clasificación ABC
Artículos diversos de alta rotación	22.197,26	62,78%	62,78%	A
Tuberías y accesorios hidráulicos	9.832,58	27,81%	90,59%	B
Morteros, adhesivos y empastes	2.495,76	7,06%	97,64%	C
Porcelanatos y revestimientos cerámicos	385,22	1,09%	98,73%	C
Materiales eléctricos e iluminación	162,54	0,46%	99,19%	C
Tanques plásticos de almacenamiento	140,85	0,40%	99,59%	C
Herramientas y artículos de ferretería	119,03	0,34%	99,93%	C
Cementos, bloques y materiales básicos de construcción	14,68	0,04%	99,97%	C
Selladores y productos químicos auxiliares	10,67	0,03%	100,00%	C

Nota. Elaborado a partir de información proporcionada por la empresa

Para cuantificar las operaciones de transporte, se procesó la información histórica de enero a junio del presente año en una plataforma de análisis y visualización de datos llamada Power Bi, lo que permitió evaluar el desempeño logístico. La Figura 15 muestra un tablero con los indicadores de rendimiento (KPI) más relevantes: el número de clientes atendidos, los costos promedio por kilogramo y metro cúbico, los costos totales por ruta, la distancia semanal, la capacidad vehicular y la distribución de carga por provincias.

Figura 15.

Reporte de información histórica con corte junio 2025



Nota. Elaborado por autores del proyecto.

El análisis de la serie histórica evidencia estabilidad en las tendencias generales de operación, donde los clientes atendidos por semana oscilaron en torno a un promedio de 95, mientras que la distancia recorrida se mantuvo en valores cercanos a los 2.600 km semanales. De maneja análoga, se observa una concentración significativa de la demanda en rutas como Los Ríos, El Oro y Santa Elena, que representan la mayor proporción de los costos y volúmenes transportados. Además, se mantiene un costo por kg enviado menor a \$0,15, lo cual hace referencia a que hay rentabilidad en el negocio, un valor superior a este implica que el servicio de transporte no sería rentable para el cliente clave.

A partir de la consistencia mostrada en estas métricas a lo largo de seis meses, se determina que una semana de operaciones constituye una muestra representativa para la aplicación de un modelo de ruteo que optimice estos indicadores, ya que refleja patrones estables y repetitivos en la utilización de la flota, los costos asociados y la cobertura de clientes.

2.3.2 Propuestas de diseño

A partir del análisis realizado, se plantearon las siguientes propuestas de modelos de ruteos:

2.3.2.1 Propuesta 1: Modelo CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem)

Este modelo plantea la asignación de rutas a una flota de vehículos con capacidad limitada, buscando minimizar la distancia total recorrida o el costo operativo. Se utiliza cuando la principal restricción está dada por la capacidad de carga de cada camión, asegurando que la demanda de los clientes no exceda sus límites.

2.3.2.2 Propuesta 2: Modelo VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows)

Es una extensión del CVRP, el cual incorpora ventanas de tiempo para las entregas. Permite planificar rutas que aseguren que cada cliente sea atendido dentro de un intervalo horario definido, mejorando la confiabilidad del servicio y reduciendo penalizaciones por retrasos.

2.3.2.3 Propuesta 3: Modelo MDVRP (Multi-Depot Vehicle Routing Problem)

El MDVRP considera múltiples centros de distribución desde los cuales se atiende a los clientes. Su objetivo es asignar clientes al depósito más cercano y optimizar las rutas de los vehículos, reduciendo distancias y costos operativos en redes logísticas descentralizadas.

2.3.3 Análisis comparativo de las propuestas

Con el propósito de seleccionar la alternativa más adecuada entre los modelos planteados, se elaboró una matriz de decisión (ver Tabla 16). Esta herramienta permitió relacionar las especificaciones del QFD con cada propuesta y asignar puntuaciones que facilitaron la comparación y elección del modelo óptimo, el cual fue el modelo de ruteo de múltiples depósitos.

Tabla 16.*Matriz de Evaluación Comparativa de Modelos de Ruteo*

Peso relativo de QFD	Especificaciones de diseño	Propuestas de diseño		
		Propuesta 1: CVRP	Propuesta 2: VRPTW	Propuesta 3: MDVRP
15%	% de cumplimiento de ruta = 100%	3	3	9
16%	Todas las rutas de los vehículos comienzan y terminan en el depósito	9	9	3
14%	Demanda transportada $\leq$ 80% de capacidad de camión	3	3	3
18%	Capacidad máxima de carga de los vehículos $\leq$ Restricciones municipales de carga	9	3	9
16%	Distancia máxima de recorrido de un vehículo $\leq$ 400 km	1	3	9
20%	Vehículos que salen del depósito de Santo Domingo $\leq$ 2	3	9	9
Total		4,69	5,13	7,11

2.3.4 Análisis financiero

Con el fin de evaluar los recursos necesarios para la implementación del modelo de ruteo, se realizó un análisis financiero que considera los principales costos asociados al software, soporte tecnológico, horas extras y capacitación del personal involucrado en el proceso logístico. En primera instancia, La Tabla 17 presenta los costos relacionados con el software y el soporte tecnológico necesarios para la implementación del modelo de ruteo, destacando la licencia de Google Maps API como el principal rubro.

Tabla 17.*Costos de software y soporte*

Concepto	Costo estimado (USD)
Licencia Google Maps API (mensual)	\$600,00
Soporte tecnológico (PC, conectividad)	\$150,00
Total	\$750,00

En cuanto a la Tabla 18, se consideró los costos de horas extras del gerente de operaciones y su asistente durante la implementación.

Tabla 18.

Costos de horas extras

Personal	Cantidad	Horas extras (h)	Costo (\$/h)	Costo total (USD)
Gerente de Operaciones	1	20	\$12,00	\$240,00
Asistente logístico	1	20	\$8,00	\$160,00
Total	2	40	-	\$400,00

Mientras que los costos de capacitación del personal logístico fueron considerados en la Tabla 19, donde se estableció un tiempo de 6h para capacitar al personal involucrado.

Tabla 19.

Costos de capacitación al personal involucrado

Personal	Horas de capacitación	Costo (\$/h)	Costo total (USD)
Gerente de Operaciones	6	\$12,00	\$72,00
Asistente logístico	6	\$8,00	\$48,00
Analista de datos (apoyo)	6	\$10,00	\$60,00
Total	18	-	\$180,00

En resumen, la inversión inicial necesaria para la puesta en marcha del modelo de ruteo, integrando los costos de software, horas extras y capacitación, ascendió a \$1.330,00 (ver Tabla 20), siendo la licencia de Google Maps API el rubro más representativo.

Tabla 20.

Resumen de la inversión inicial para el modelo

Concepto	Costo (USD)
Costos de software y soporte	\$750,00
Costos de horas extras	\$400,00
Costos de capacitación	\$180,00
Total	\$1.330,00

2.4 Diseñar

2.4.1 Modelo de ruteo de múltiples depósitos (MDVRP)

Conjuntos

T Conjunto de clientes $\{T_1, T_2, \dots, T\}$

D Conjunto de depósitos $\{D_1, D_2\}$

N Conjunto de nodos $\{D_1, D_2, T_1, T_2, \dots, T\}$; $N = T \cup D$

K Conjunto de vehículos disponibles $\{K_1, K_2, \dots, K\}$

$(n, j) \in N \times N$ Pares de nodos representando posibles arcos o conexiones entre nodos

Parámetros

C_{nj} Distancia recorrida entre nodos n al j , para $n, j \in N$ [km]

q_n Volumen de una orden de cliente n , para $n \in T$ [m^3]

p_n Peso de una orden de cliente n , para $n \in T$ [kg]

Q_k Capacidad volumétrica máxima de un vehículo k [m^3]

O_k Capacidad de máxima carga de un vehículo k [kg]

V Velocidad promedio de la flota de vehículos /65/ [km/h]

F_{max} Distancia máxima de recorrido de la flota de vehículos /600/ [km]

M Constante suficientemente grande para la linealización

Variables de decisión

$$x_{njk} = \begin{cases} 1; & \text{si vehículo } k \text{ viaja desde node } n \text{ a } j, \text{ donde } n \neq j \\ 0; & \text{caso contrario} \end{cases}$$

$$y_{kd} = \begin{cases} 1; & \text{si vehículo } k \text{ es asignado al depósito } d, \text{ donde } t \neq d \\ 0; & \text{caso contrario} \end{cases}$$

u_k Una variable continua que representa la carga acumulada del vehículo k al llegar al nodo n

u_{kd_2} Una variable continua que representa la carga transportada por el vehículo k desde depósito 2, utilizada para limitar la capacidad de carga a 5500 kg.

Z Distancia total recorrida

Función objetivo

Minimiza la distancia total recorrida por la flota de vehículos al atender la demanda de los clientes desde los centros de distribución asignados.

$$Min. Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} C_{nj} X_{njk}$$

Restricciones

1. Un vehículo k solo puede salir del depósito d hacia un cliente j si ese vehículo está asignado al depósito y_{kd}

$$\sum_{j \in N, j \neq d} x_{k,d,j} = y_{kd}, \quad \forall d \in D, \quad k \in K$$

2. Un vehículo k solo puede salir de un cliente n al depósito d si está asignado a ese depósito.

$$\sum_{n \in N, n \neq d} x_{k,n,d} = y_{kd}, \quad \forall d \in D, \quad k \in K$$

3. Cada cliente n debe ser atendido exactamente una vez por un vehículo k .

$$\sum_{k \in K} \sum_{n \in N, n \neq j} X_{njk} = 1, \quad \forall k \in K$$

4. La carga total transportada por un vehículo k no exceda el 95% de su capacidad volumétrica.

$$\sum_{n \in N} q_n \sum_{n \in N} x_{njk} \leq 0.95 * Q_k, \quad \forall k \in K$$

5. La carga total transportada por un vehículo k no exceda el 95% su capacidad de carga en kg.

$$\sum_{n \in N} p_n \sum_{n \in N} x_{njk} \leq 0.95 * O_k, \quad \forall k \in K$$

6. La distancia recorrida de cada vehículo k no debe exceder de los 600 km, para maximizar la vida útil del vehículo.

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} C_{nj} x_{njk} \leq F_{max} \quad \forall k \in K$$

7. Cada vehículo que ingresa a un cliente debe salir de ese cliente.

$$\sum_{n \in N, n \neq j} x_{njk} = \sum_{j \in N, j \neq n} x_{njk}, \quad \forall i, j \in N, \quad \forall k \in K$$

8. El total de las demandas de los clientes asignados a cada vehículo desde el depósito 2 no puede exceder de los 5500 kg. Esta restricción nos obliga a respetar la restricción municipal.

$$\sum_{k \in K} u_{kd_2} \leq 5500, \quad \forall k \in K$$

9. Si el vehículo k no es asignado al depósito 2 ($y_{kd_2} = 0$), no puede transportar ningún kg de orden. Si está asignado ($y_{kd_2} = 1$), no deben exceder de 2 vehículos para el depósito 2.

$$\sum_{k \in K} y_{kd_2} \leq 2, \quad \forall k \in K$$

10. Estas restricciones controlan el transporte de carga desde el depósito 2 y garantizan la consistencia en el flujo de carga. En particular, permiten activar o desactivar la asignación de capacidad según la utilización del depósito, evitando inconsistencias en la planificación y asegurando que la variable de carga sea coherente con las decisiones de ruteo tomadas en el modelo.

$$u_{kd_2} \leq M * y_{kd_2}, \quad \forall k \in K$$

$$u_{kd_2} \leq u_k, \quad \forall k \in K$$

$$u_{kd_2} \leq M(1 - y_{kd_2}), \quad \forall k \in K$$

11. Restricciones por tipo de variable.

$$x_{njk} \in \{0,1\} \quad \forall (n,j) \in N, \quad \forall k \in K$$

$$y_{nd} \in \{0,1\}; \quad \forall n \in N, \quad \forall d \in D$$

$$u_{kd_2} \geq 0; \quad \forall k \in K$$

$$u_k \geq 0; \quad \forall k \in K$$

2.4.2 Insumos del modelo

Dado que la planificación de rutas se realiza de manera diaria, se solicitó información correspondiente a una semana de operaciones, con el fin de probar el modelo y efectuar las simulaciones de forma día a día. En el siguiente apartado, se detallan todos los elementos que sirvieron como insumo para el modelo propuesto.

En la Tabla 21 se consignaron los clientes atendidos en una jornada de operaciones, junto con sus respectivas ubicaciones. En la Tabla 22 se documentó la información de los centros de distribución contemplados en el modelo, considerando tanto la ubicación actual del centro de distribución de Guayaquil como la localización de un posible centro de distribución en Santo Domingo, referenciado en la Calle 15ava, 2307, en el barrio El Guayacán de la Parroquia San Camilo. De igual manera, en la Tabla 23 se registró el conjunto de vehículos disponibles con sus respectivas capacidades de carga y volumen. Adicionalmente, se incorporó la matriz de distancias reales entre clientes y depósitos (ver Figura 16), así como la demanda específica de cada punto de entrega, expresada en kilogramos y metros cúbicos, junto con los artículos solicitados por cliente (Tabla 24).

Tabla 21.

Datos de clientes de 1 día de operaciones

T	Cliente	Latitud	Longitud
1	Cliente A	-1,2062900	-80,3719400
2	Cliente B	-0,5910500	-80,4085580
3	Cliente C	-0,6041640	-80,4235660
4	Cliente D	-0,6255980	-80,4250604
5	Cliente E	-0,6954260	-80,0949128
...	...	...	...
36	Cliente AJ	-3,256462	-79,958848
37	Cliente AK	-3,2725242	-79,929689
38	Cliente AL	-3,2657618	-79,953695
39	Cliente AM	-3,33226	-79,802989
40	Cliente AN	-3,4821	-80,2093

Nota. Por motivos de confidencialidad, los nombres de los clientes fueron anonimizados. La información mostrada mantiene únicamente fines ilustrativos para este proyecto.

Tabla 22.

Información de ubicaciones de depósitos

D	Nombre	Latitud	Longitud
1	Centro de Distribución Guayaquil	-2,1884883	-79,94576
2	Centro de Distribución Santo Domingo	-0,562967	-79,12416

Nota. Información proporcionada por la empresa

Tabla 23.

Información de la flota de vehículos disponible

K	Placa de vehículo	Capacidad de carga [kg]	Capacidad volumétrica [m3]
1	GKX-103	5.500	23,63
2	GBP-559	5.500	27,97
3	GQD-439	5.500	27,97
4	GSU-1388	5.500	35,32
5	GSM-2347	3.500	23,50
6	GSM-2349	3.500	23,50
7	GSW-4655	5.500	35,32
8	GSW-4656	5.500	35,32

Nota. Información proporcionada por la empresa.

Figura 16.

Ejemplo de matriz de distancias reales entre nodos

	D1	D2	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26
D1	0	273.2	158.2	208.7	276.8	291.1	398.5	277.5	193.7	173.4	272.3	434.7	8.64	11.77	20.56	5.7	78.71	2.36	87.43	9.82	5.3	7.26	20.88	4.47	5.85	4.05	18.79	10.96
D2	273.2	0	116.2	74.97	77.97	88.7	199.6	78.54	78.44	81.14	73.42	246.5	268.2	267	236.8	272.5	180.2	275.1	284.2	265.2	274.7	273	236.5	277.2	272.5	274.6	241.7	265.8
C1	158.2	116.2	0	57.64	119.9	130.6	241.5	120.5	42.63	22.35	115.3	288.4	153.3	152.1	165.4	160.9	115.6	160.1	219.8	150.3	163.1	163	165.7	162.3	160.9	159.8	163.7	150.8
C2	208.7	74.97	57.64	0	133.2	143.9	254.8	133.7	15.3	35.29	128.6	239.6	200.5	196.5	191	202.7	134.4	210.6	238.4	198.9	204.9	202.9	190.7	212.6	202.7	204.7	195.9	198.7
C3	276.8	77.97	119.9	133.2	0	17.9	122.4	5.15	118.2	106.1	4.35	166.9	271.9	270.7	269.2	276.7	212.7	278.7	316.9	268.9	279	276.7	268.9	280.9	276.8	278.4	274.1	269.4
C4	291.1	88.7	130.6	143.9	17.9	0	137.8	22.48	128.9	116.9	15.72	184.6	285.6	283.4	280.9	286.9	224.3	293	328.3	283	289.1	287.5	280.6	295	286.9	289	285.8	282.9
C5	398.5	199.6	241.5	254.8	122.4	137.8	0	116.9	239.8	227.7	126.7	152.6	393.5	392.3	390.8	397.9	334.3	400.4	438.5	390.5	400.1	398.3	390.5	402.5	397.9	400	395.7	391.1
C6	277.5	78.54	120.5	133.7	5.15	22.48	116.9	0	118.7	106.7	7.46	170.7	272.6	271.3	269.8	276.7	213.3	279.4	317.5	269.5	279	277.3	269.5	281.5	276.7	278.8	274.7	270.1
C7	193.7	78.44	42.63	15.3	118.2	128.9	239.8	118.7	0	20.28	113.6	254.8	185.5	181.5	176	187.7	119.4	195.6	223.4	183.9	189.9	187.9	175.7	197.6	187.7	189.7	180.9	183.7
C8	173.4	81.14	22.35	35.29	106.1	116.9	227.7	106.7	20.28	0	101.5	274.6	165.2	161.3	162.1	167.3	105.5	175.3	209.5	163.5	169.6	167.6	161.7	177.2	167.4	169.4	166.9	163.3
C9	272.3	73.42	115.3	128.6	4.35	15.72	126.7	7.46	113.6	101.5	0	173.7	267.4	266.1	264.6	271.6	208.1	274.2	312.3	264.3	273.8	272.1	264.3	276.3	271.6	273.7	269.5	264.9
C10	434.7	246.5	288.4	239.6	166.9	184.6	152.6	170.7	254.8	274.6	173.7	0	430.5	429.8	416.5	429.4	348.9	433.7	375.7	431.4	431.6	430	416.2	435.7	429.4	431.5	418.5	429.3
C11	8.64	268.2	153.3	200.5	271.9	285.6	393.5	272.6	185.5	165.2	267.4	430.5	0	4.61	16.73	9.6	74.88	9.58	83.6	1.69	10.33	11.15	17.05	11.55	10.22	8.52	14.92	2.44
C12	11.77	267	152.1	196.5	270.7	283.4	392.3	271.3	181.5	161.3	266.1	429.8	4.61	0	15.38	10.13	73.54	12.84	82.25	2.92	12.39	11.59	15.7	14.95	10.08	10.17	13.62	2.25
C13	20.56	236.8	165.4	191	269.2	280.9	390.8	269.8	176	162.1	264.6	416.5	16.73	15.38	0	16.48	58.22	20.18	68.54	16.71	17.94	15.71	0.32	22.28	16.44	17.51	6.25	15.24
C14	5.7	272.5	160.9	202.7	276.7	286.9	397.9	276.7	187.7	167.3	271.6	429.4	9.6	10.13	16.48	0	74.61	4.35	82.52	11.05	2.4	3.42	16.8	6.31	0.05	1.77	13.76	9.82
C15	78.71	180.2	115.6	134.4	212.7	224.3	334.3	213.3	119.4	105.5	208.1	348.9	74.88	73.54	58.22	74.61	0	78.33	105.6	74.86	76.09	73.86	57.89	80.44	74.6	75.66	63.09	73.39
C16	2.36	275.1	160.1	210.6	278.7	293	400.4	279.4	195.6	175.3	274.2	433.7	9.58	12.84	20.18	4.35	78.33	0	86.9	11.16	2.9	5.54	20.5	2.11	4.49	2.78	18.13	11.91
C17	87.43	284.2	219.8	238.4	316.9	328.3	438.5	317.5	223.4	209.5	312.3	375.7	83.6	82.25	68.54	82.52	105.6	86.9	0	83.58	84.74	82.58	68.86	88.86	82.54	84.38	71.63	82.11
C18	9.82	265.2	150.3	198.9	268.9	283	390.5	269.5	183.9	163.5	264.3	431.4	1.69	2.92	16.71	11.05	74.86	11.16	83.58	0	12.14	12.37	17.03	13.13	11.07	10.09	14.94	0.75
C19	5.3	274.7	163.1	204.9	279	289.1	400.1	279	189.9	169.6	273.8	431.6	10.33	12.39	17.94	2.4	76.09	2.9	84.74	12.14	0	3.35	18.26	4.2	2.45	2.5	15.98	11.06
C20	7.26	273	163	202.9	276.7	287.5	398.3	277.3	187.9	167.6	272.1	430	11.15	11.59	15.71	3.42	73.86	5.54	82.58	12.37	3.35	0	16.03	7.51	3.38	4.44	13.94	11.09
C21	20.88	236.5	165.7	190.7	268.9	280.6	390.5	269.5	175.7	161.7	264.3	416.2	17.05	15.7	0.32	16.8	57.89	20.5	68.86	17.03	18.26	16.03	0	22.6	16.77	17.83	6.83	15.56
C22	4.47	277.2	162.3	212.6	280.9	295	402.5	281.5	197.6	177.2	276.3	435.7	11.55	14.95	22.28	6.31	80.44	2.11	88.86	13.13	4.2	7.51	22.6	0	6.46	4.88	20.1	13.88
C23	5.85	272.5	160.9	202.7	276.8	286.9	397.9	276.7	187.7	167.4	271.6	429.4	10.22	10.08	16.44	0.05	74.6	4.49	82.54	11.07	2.45	3.38	16.77	6.46	0	1.83	13.77	9.84
C24	4.05	274.6	159.8	204.7	278.4	289	400	278.8	189.7	169.4	273.7	431.5	8.52	10.17	17.51	1.77	75.66	2.78	84.38	10.09	2.5	4.44	17.83	4.88	1.83	0	15.74	9.34
C25	18.79	241.7	163.7	195.9	274.1	285.8	395.7	274.7	180.9	166.9	269.5	418.5	14.92	13.62	6.25	13.76	63.09	18.13	71.63	14.94	15.98	13.94	6.83	20.1	13.77	15.74	0	13.48
C26	10.96	265.8	150.8	198.7	269.4	282.9	391.1	270.1	183.7	163.3	264.9	429.3	2.44	2.25	15.24	9.82	73.39	11.91	82.11	0.75	11.06	11.09	15.56	13.88	9.84	9.34	13.48	0

Tabla 24.*Datos de pedidos de clientes de un día de operación*

N	Cliente	Descripción Artículo	Peso (kg.)	Volumen carga (m3)
1	Cliente A	VALVULA ESFERICA PVC LISO 1/2"	35,2	0,5
		COMPACTA CH		
		DISCO FLAP DESBASTE R828 #40	15,2	0,2
		ORIGINAL 115x22 P/ACERO NORTO		
		DISCO FLAP DESBASTE R828 #80	41,1	0,5
		ORIGINAL 115x22 P/ACERO NORTON		
2	Cliente B	TUBO GALVANIZADO 1"x6m ISO 2	227,4	0,6
		ESPEJOR 2.60mm		
		TUBO PP ROSCABLE 1 1/2"x6m	108,6	1,4
		PLASTIGAMA		
		TUBO PVC DESAGUE 110mmx3m TB	70,7	2,7
		PLASTIGAMA		
3	Cliente C	CERRADURA POMO DORMITORIO	6,1	0,3
		BOLTON BR. ANTIGUO FANAL		
		SIKA SELLADOR 5kg TC/10M	100,0	1,0
		SIKAFILL-5 EXPERTO BLANCO 900 ml	18,5	0,3
		IMPERMEABILIZANTE TECHOS		
		TUBO PVC DESAGUE 160mmx3m TB	30,3	2,4
4	Cliente D	PLASTIGAMA		
		CODO PVC CONDUIT 1/2"x90° TERMOF.	59,8	0,4
		PLASTIGAMA		
		LLAVE MANGUERA ESFERICA 1/2"	30,0	0,1
		CROMADA SK		
		PERNOS AJUSTE PVC TANQUE TAZA	40,0	0,1
...	...	UNION BRONCE 1/2" PARA MANGUER	30,0	0,1
		JARDIN 3PZ IMP CH		
		VALVULA ESFERICA BR 1/2" PASO	17,4	0,2
		TOTAL SK		
		VALVULA ESFERICA BR 1" PASO TOTAL	16,5	0,2
		SK		
40	Cliente AN	VALVULA ESFERICA BR 1 1/2" PASO	12,0	0,2
		TOTAL SK		
		VALVULA ESFERICA BR 2" PASO TOTAL	22,0	0,2
		SK		
		VALVULA ESFERICA BR 3" PASO TOTAL	23,0	0,4
		SK		
...	...	BUSHING ACERO INOXIDABLE 1/2" A 1/4"	5,0	0,1
		...	...	...
		BAJANTE PVC 3m PARA CANAL	0,8	0,1
		DECORATIVO PLASTIGAMA		
		BUSHING POLIPROP ROSCABLE 1 1/2" A	4,3	0,4
		1" PLASTIGAMA		
40	Cliente AN	CODO POLIP. ROSC. 1/2" X 45°	8,7	0,5
		PLASTIGAMA		
		NEPLO TUERCA POLIPROP ROSC 1/2"	1,2	0,0
		PLASTIGAMA		
		KALIPEGA BISNAGA 20gr	3,6	0,0
		TUBO PVC DESAGUE 160mmx3m TB	5,1	0,1
...	...	PLASTIGAMA		
		UNION UNIVERSAL POLIPROP ROSC 1 1/2" PLASTIGAMA	1,4	0,0

Nota. Por motivos de confidencialidad, los nombres de los clientes fueron anonimizados. La información mostrada mantiene únicamente fines ilustrativos para este proyecto.

Por otra parte, de acuerdo con el Art.191, numeral 3 del Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (Tabla 25), se estimó que la velocidad promedio de la flota de camiones sea de 65 km/h, la cual está dentro de los rangos permitidos en zonas rectas en carreteras. Esta información fue de utilidad para realizar un cálculo estimado del tiempo de recorrido de las rutas.

Tabla 25.

Tabla de velocidades permitidas por la ley

Tipo de vía	Límite máximo	Rango moderado	Fuera del rango moderado
Urbana	40 km/h	>40 a ≤50 km/h	>50 km/h
Perimetral	70 km/h	>70 a ≤95 km/h	>95 km/h
Rectas en carreteras	70 km/h	>70 a ≤100 km/h	>100 km/h
Curvas en carreteras	40 km/h	>40 a ≤60 km/h	>60 km/h

Nota. Información obtenida del Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre (2012)

2.4.3 Costos y tiempos de servicio

2.4.3.1 Tiempos de servicio

De manera adicional, se incorporó en el modelo los tiempos de descarga de órdenes de clientes, para ello se realizó una estimación a través de entrevistas a choferes y sus respectivos asistentes, quienes son los principales actores de la operación.

Los operadores indicaron que los tiempos de descarga por cliente oscilaban entre 25 y 30 minutos. En consecuencia, se adoptó el valor máximo (30 minutos) para todos los clientes como estimación para el modelo y se lo convirtió a horas a través de la ecuación 2.1:

$$\text{Tiempo de descarga [h]} = 30 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,50 \text{ h} \quad (2.1)$$

El tiempo definido en el párrafo anterior resultó necesario para estimar el tiempo total de servicio de los vehículos (ecuación 2.3), que comprendía tanto sus tiempos de recorrido (ecuación

2.2) como los de descarga (ecuación 2.1). A continuación, se detallan las fórmulas correspondientes:

$$\text{Tiempo de recorrido [h]} = \frac{\text{distancia recorrida por vehículo [km]}}{\text{velocidad promedio del vehículo [km/h]}} \quad (2.2)$$

$$\text{Tiempo total de servicio [h]} = T. \text{ de recorrido} + (T. \text{ de descarga} * \text{Cantidad de clientes}) \quad (2.3)$$

2.4.3.2 Costos de transporte

Para que el modelo incorpore un apartado de evaluación económica de las rutas se realizó una revisión de información histórica de reportes de gastos de la empresa correspondiente al período de enero a junio del presente año. En la Tabla 26 se muestran todos los componentes a los costos operativos por camión utilizados en el modelo.

Para cada vehículo se consignaron valores para el rendimiento de gasolina, expresado en (km/gal), la tarifa operativa, la depreciación comercial y el costo de sueldos regulares (promedio histórico). Todos los montos se expresaron en USD por día (salvo el consumo) y se emplearon como parámetros de entrada para la evaluación de rutas.

Tabla 26.

Detalle de costos por camión

Placa de vehículo	Rendimiento de gasolina [km/gal]	Tarifa operativa [USD/día]	Depreciación comercial [USD/día]	Costo promedio de sueldos regular [USD]
GBP-559	26,11	21,01	4,51	54,58
GSM-2347	20	10,88	5,64	54,58
GSW-4655	26,5	4,19	5,72	59,52
GSW-4656	26,5	4,19	5,72	52,69
GQD-439	16,05	5,02	6,54	57,54
GSU-1388	16,05	5,03	5,72	52,88
GKX-103	12	9,40	3,60	59,84
GSM-2349	20	12,80	5,64	49,12

Nota. Información obtenida de reportes de gastos de la empresa, período enero-junio 2025

Posteriormente, se definieron las ecuaciones utilizadas para calcular el costo total por vehículo. Es importante señalar que, aunque el costo de mantenimiento podría clasificarse como variable desde una perspectiva teórica, en este estudio se lo considera como parte de los costos fijos, dado que la empresa lo ha parametrizado como un valor constante en su sistema contable con base en datos históricos. Los componentes empleados corresponden a los definidos en la sección 2.2.2.5. A continuación, se presentan las ecuaciones incorporadas en el modelo.

$$\text{Costos fijos [USD]} = \text{Tarifa operativa} + \text{Depreciación comercial} + \text{Costo de sueldos regular} \quad (2.4)$$

$$\text{Consumo de galones [gal.]} = \frac{\text{Distancia recorrida por vehiculo [km]}}{\text{Rendimiento de gasolina del vehiculo} \left[\frac{\text{km}}{\text{gal.}} \right]} \quad (2.5)$$

$$\text{Costo de combustible [USD]} = \text{Consumo de galones [gal.]} \times \text{Costo del galón} \left[\frac{\text{USD}}{\text{gal.}} \right] \quad (2.6)$$

$$\text{Costo total [USD]} = \text{Costos fijos} + \text{Costos variables} \quad (2.7)$$

La ecuación 2.4 representa los costos fijos de operación por vehículo, integrando la suma de la tarifa operativa de la unidad, la depreciación comercial y los sueldos regulares de los conductores. Luego, con la ecuación 2.5 se estimó el consumo de galones requerido para la ruta. A continuación, mediante la ecuación 2.6 se calculó el costo de combustible multiplicando dicho consumo por el precio unitario de 1,75 USD/gal establecido en el sistema de la empresa. Finalmente, se sumaron los resultados de las ecuaciones 2.4 y 2.6, obteniéndose el costo total, expresado en dólares.

2.4.4 Condiciones del entorno

El diseño del modelo de ruteo se fundamentó en la variabilidad observada de la demanda de los clientes, la cual incidía directamente en la planificación operativa; por ello, se optó por un esquema de programación diaria para optimizar la asignación de vehículos y rutas.

Se descartó la incorporación de ventanas horarias de acceso urbano, dado que su inclusión habría desplazado la operación hacia horarios nocturnos, generando costos adicionales por horas extras y exponiendo al personal a riesgos de seguridad. En consecuencia, se trabajó con restricciones de capacidad (restricciones municipales vigentes en Santo Domingo según el Art. 15 del GAD Provincial) para asegurar la libre circulación durante la jornada laboral (entre las 08h00 y las 18h00).

2.4.5 Formulación del modelo en Google Colab

El modelo de optimización fue codificado en Google Colab, empleando la librería *puLP* como herramienta principal para la resolución de programación lineal entera. Esta herramienta facilitó la construcción de las restricciones de capacidad, distancia y asignación de clientes, además de gestionar las variables binarias que indican el uso de rutas. Adicionalmente, se utilizó la librería *OpenRouteService*, que permitió la estimación de rutas reales sobre la red vial. Las Figura 17 a 22 muestran la codificación del modelo abarcando los siguientes puntos:

1. El diccionario con los vehículos disponibles y respectivas capacidades en peso (kg) y volumen (m³), además de sus respectivos componentes de costos que se mostraron en la Tabla 26.
2. La lectura de un archivo de Excel de la cual se extrae los nombres y coordenadas de los depósitos (provenientes de la hoja ‘Depósitos’) y de las demandas de los clientes en peso y volumen (provenientes de la hoja ‘Clientes’)
3. La configuración de las restricciones de capacidad en peso y volumen (restricciones 4 y 5 de la sección 2.4.1)
4. La definición de los conjuntos de la sección 2.4.1.
5. El establecimiento de las variables binarias.
6. La definición de la función objetivo, la cual es minimizar la suma total de las distancias recorridas por la flota de vehículos.

7. La codificación de las restricciones del modelo formuladas matemáticamente en la sección 2.4.1.
8. La aplicación del *solver* de la librería puLP, denominado CBC encargado de procesar las especificaciones y entregar la solución óptima para las rutas planificadas.
9. Los cálculos de tiempos de servicio totales, y costos por vehículo de acuerdo con las ecuaciones 2.3 a 2.7.

Figura 17.

Formulación en Google Colab parte 1

```
# ===== IMPORTS =====
import pandas as pd
import numpy as np
import math
import urllib.parse
from ortools.constraint_solver import pywrapcp, routing_enums_pb2
from google.colab import files
from IPython.display import display, HTML
import time
import openrouteservice

# ===== VEHÍCULOS DISPONIBLES =====
vehiculos_disponibles = {
    "GKX-103": {"kg": 5500, "m3": 23.625},
    "GPB-559": {"kg": 5500, "m3": 27.9672},
    "GSU-1388": {"kg": 5500, "m3": 35.320704},
    "GQD-439": {"kg": 5500, "m3": 27.9672},
    "GSH-2347": {"kg": 3500, "m3": 18.5},
    "GSH-2349": {"kg": 3500, "m3": 18.5},
    "GSH-4655": {"kg": 5500, "m3": 35.321072},
    "GSH-4656": {"kg": 5500, "m3": 35.321072},
    "GTN-9533": {"kg": 2500, "m3": 12.04},
}

# ===== COSTOS FIJOS POR VEHÍCULO =====
vehiculos_costos = {
    "GKX-103": {"depreciacion": 3.60, "mantenimiento": 20.40, "sueldo": 59.84},
    "GPB-559": {"depreciacion": 4.51, "mantenimiento": 21.01, "sueldo": 54.58},
    "GSU-1388": {"depreciacion": 5.72, "mantenimiento": 5.03, "sueldo": 52.88},
    "GQD-439": {"depreciacion": 6.54, "mantenimiento": 5.02, "sueldo": 57.54},
    "GSH-2347": {"depreciacion": 5.64, "mantenimiento": 10.88, "sueldo": 54.58},
    "GSH-2349": {"depreciacion": 5.64, "mantenimiento": 12.80, "sueldo": 49.12},
    "GSH-4655": {"depreciacion": 5.72, "mantenimiento": 4.19, "sueldo": 59.52},
    "GSH-4656": {"depreciacion": 5.72, "mantenimiento": 4.19, "sueldo": 52.69},
    "GTN-9533": {"depreciacion": 6.54, "mantenimiento": 4.20, "sueldo": 40.67},
}

# ===== PRECIO GALÓN Y RENDIMIENTO =====
precio_galon = 1.75 # USD por galón

rendimiento_vehiculos = {
    "GKX-103": 12,
    "GPB-559": 26.11,
    "GSU-1388": 16.05,
    "GQD-439": 16.05,
    "GSH-2347": 20,
    "GSH-2349": 20,
    "GSH-4655": 26.5,
    "GSH-4656": 26.55,
    "GTN-9533": 10
}
```

1

Figura 18.

Formulación en Google Colab parte 2

```
# ===== LECTURA DE DATOS =====
def leer_datos_desde_excel(ruta_excel):
    data = {}
    coords, names = [], []
    depot_names, client_names = [], []
    demands_kg, demands_m3_real = [], []

    # --- Depots ---
    df_depots = pd.read_excel(ruta_excel, sheet_name='Depositos')
    df_depots.columns = df_depots.columns.str.strip()
    lat_col_d = elegir_columna(df_depots, ['Latitud', 'Lat', 'Latitude'])
    lon_col_d = elegir_columna(df_depots, ['Longitud', 'Lon', 'Longitude', 'Lng'])
    name_col_d = elegir_columna(df_depots, ['Nombre', 'Name'])

    for _, row in df_depots.iterrows():
        lat, lon = float(row[lat_col_d]), float(row[lon_col_d])
        nm = str(row[name_col_d]).strip()
        names.append(nm)
        coords.append((lon, lat))
        demands_kg.append(0.0)
        demands_m3_real.append(0.0)
        depot_names.append(nm)

    # --- Clients ---
    df_clients = pd.read_excel(ruta_excel, sheet_name='Clientes')
    df_clients.columns = df_clients.columns.str.strip()
    lat_col_c = elegir_columna(df_clients, ['Latitud', 'Lat', 'Latitude'])
    lon_col_c = elegir_columna(df_clients, ['Longitud', 'Lon', 'Longitude', 'Lng'])
    name_col_c = elegir_columna(df_clients, ['Nombre', 'Name'])
    # columnas de demanda en clientes (se usarán solo si no hay hoja Articulos)
    possible_demkg = ['Demanda_kg', 'Kg', 'Demanda', 'Demand', 'peso_kg', 'peso']
    possible_demv = ['Demanda_m3', 'Volumen', 'm3', 'Vol', 'vol_m3', 'volumen_m3']

    # Intentamos leer articulos (opcional)
    articulos_ok = False
    articulos_df = None
    try:
        articulos_df = pd.read_excel(ruta_excel, sheet_name='Articulos')
        articulos_df.columns = articulos_df.columns.str.strip()
        articulos_ok = True
    except Exception:
        articulos_ok = False
```

2

Figura 19.

Formulación en Google Colab parte 3

```
# ===== CONFIGURAR VEHÍCULOS =====
def configurar_vehiculos_automatico(data):
    placas, capacities_kg_solver, capacities_m3_solver = [], [], []
    capacities_kg_real, capacities_m3_real, starts, ends = [], [], [], []
    factor_utilizacion = 0.95

    max_veh_sd = 2
    sd_count = 0
    cd_sd_name = "CENTRO DE DISTRIBUCIÓN SANTO DOMINGO"

    for placa, cap in vehiculos_disponibles.items():
        cap_real_kg = cap['kg']
        cap_real_m3 = cap['m3']

        if cd_sd_name in data['depot_names'] and sd_count < max_veh_sd and cap_real_kg <= 5500:
            cd_idx = data['depot_names'].index(cd_sd_name)
            sd_count += 1
        else:
            otros = [i for i, n in enumerate(data['depot_names']) if n != cd_sd_name]
            cd_idx = otros[0] if otros else 0

        placas.append(placa)
        capacities_kg_solver.append(int(round(cap_real_kg * factor_utilizacion)))
        capacities_m3_solver.append(int(round(cap_real_m3 * data['volume_scale'] * factor_utilizacion)))
        capacities_kg_real.append(cap_real_kg)
        capacities_m3_real.append(cap_real_m3)
        starts.append(cd_idx)
        ends.append(cd_idx)
```

3

Figura 20.

Formulación en Google Colab parte 4

```
# ===== FORMULACIÓN MILP =====
def resolver_mdvrp(data):
    D = list(range(len(data['depot_names']))) # depósitos
    T = list(range(len(data['depot_names']), len(data['names']))) # clientes
    N = list(range(len(data['names']))) # todos los nodos
    placas, Q_kg, Q_m3 = configurar_vehiculos(data)
    K = list(range(len(placas)))

    model = pulp.LpProblem("MDVRP", pulp.LpMinimize)

    # Variables binarias x[n][j][k] y y[k][d]
    x = [[pulp.LpVariable(f"x_{n}_{j}_{k}", cat='Binary') for k in K] for j in N] for n in N
    y = [[pulp.LpVariable(f"y_{k}_{d}", cat='Binary') for d in D] for k in K]

    # OBJETIVO: minimizar distancia total
    model += pulp.lpSum(data['distance_matrix'][n][j]*x[n][j][k] for n in N for j in N if n!=j for k in K)
```

Figura 21.

Formulación en Google Colab parte 5

```
# RESTRICCIONES
# 1) Cada cliente visitado exactamente una vez
for j in T:
    model += pulp.lpSum(x[n][j][k] for n in N if n!=j for k in K) == 1

# 2) Salida/llegada a depósito
for k in K:
    model += pulp.lpSum(y[k][d] for d in D) == 1
    for d in D:
        model += pulp.lpSum(x[d][j][k] for j in N if j!=d) <= len(N)*y[k][d]
        model += pulp.lpSum(x[n][d][k] for n in N if n!=d) <= len(N)*y[k][d]

# 3) Flujo de clientes (entrada = salida)
for k in K:
    for j in T:
        model += pulp.lpSum(x[n][j][k] for n in N if n!=j) == pulp.lpSum(x[j][m][k] for m in N if m!=j)

# 4) Capacidad kg
for k in K:
    model += pulp.lpSum(data['demands_kg'][j]*pulp.lpSum(x[n][j][k] for n in N if n!=j) for j in T) <= Q_kg[k]

# 5) Capacidad m3
for k in K:
    model += pulp.lpSum(data['demands_m3'][j]*pulp.lpSum(x[n][j][k] for n in N if n!=j) for j in T) <= Q_m3[k]

# 6) Límite de recorrido 400 km
for k in K:
    model += pulp.lpSum(data['distance_matrix'][n][j]*x[n][j][k] for n in N for j in N if n!=j) <= 400

# 7) Máximo 2 vehículos <5500 kg en Santo Domingo
if "CENTRO DE DISTRIBUCIÓN SANTO DOMINGO" in data['depot_names']:
    sd_index = data['depot_names'].index("CENTRO DE DISTRIBUCIÓN SANTO DOMINGO")
    model += pulp.lpSum(y[k][sd_index] for k in K if Q_kg[k]<5500) <= 2

# RESOLVER
solver = pulp.PULP_CBC_CMD(msg=1, timeLimit=300)
model.solve(solver)
```

Figura 22.

Formulación en Google Colab parte 6

```
tiempo_servicio_h = 0.5 #tiempo horas
distancia_km = route_distance_m / 1000.0
tiempo_viaje_h = distancia_km / velocidad_prom_kmh
tiempo_servicio_total = clientes_count * tiempo_servicio_h
tiempo_total_h = tiempo_viaje_h + tiempo_servicio_total
horas = int(tiempo_total_h)
minutos = int(round((tiempo_total_h - horas) * 60))
tiempo_real = f"{horas} h {minutos} min"
dias = math.ceil(horas/ horas_por_dia)

dep = vehiculos_costos.get(placa, {}).get("depreciacion", 0)
man = vehiculos_costos.get(placa, {}).get("mantenimiento", 0)
sueldo = vehiculos_costos.get(placa, {}).get("sueldo", 0)
costo_fijo = dep + man + sueldo
rendimiento = rendimiento_vehiculos.get(placa, 1) # km/galón
costo_combustible = (distancia_km / rendimiento) * precio_galon
costo_total_vehiculo = round(costo_fijo + costo_combustible, 2)
```

2.4.6 Plan de implementación.

El plan de implementación del modelo MDVRP contempló su diseño y parametrización en Python mediante Google Colab, la integración con Google Maps y la simulación de rutas, validando restricciones operativas y garantizando la aplicabilidad del prototipo en condiciones reales.

Tabla 27.

Plan de implementación del prototipado

<i>¿Qué?</i>	<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Cómo?</i>	<i>Herramientas</i>	<i>¿Quién?</i>	<i>¿Cuánto cuesta?</i>	<i>¿Cuándo?</i>
<i>Problema de enrutamiento de programación entera mixta</i>	Verifica que todas las rutas de transporte inicien y concluyan en el depósito designado.	Diseñar y parametrizar el modelo MDVRP.	Google Colab	Marlon Barreto y Emilio Jiménez	-	Julio
	Regula que la demanda transportada no supere el 95% de la capacidad de los camiones.				-	
	Garantiza que el 100% de las rutas se ejecuten según lo planificado	Desarrollar una aplicación Python para el modelo utilizando Google Colab.	-			
	Los camiones asignados respetarán las restricciones de carga municipales	Simular los resultados del modelo en Google Colab para ver la secuencia entre los	API de Google Maps			
	El número de vehículos que saldrán del depósito de Santo Domingo no excederá de 2.	clientes de la empresa.	\$600			
	Limita la distancia de viaje de un vehículo a 600 km o menos.	Análisis y evaluación de los resultados de la simulación			Agosto	
	Presentar la simulación al cliente clave, demostrando su funcionalidad.					

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1 Línea base de la operación

Como se mencionó en la sección 2.3.1, a partir de la consistencia que las métricas evidenciaron a lo largo de seis meses, se determinó que una semana de operaciones constituía una muestra representativa para la aplicación de un modelo de ruteo. En consecuencia, se tomó como línea base de la operación la semana del 11 al 15 de agosto con un total de 161 clientes (ver Anexo 2). Este periodo sirvió para establecer un punto de referencia que permitió comparar los resultados reales de la empresa con los obtenidos a través del modelo propuesto. Los resultados de esta semana de referencia se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28.

Resultados reportados por la empresa en la semana de análisis (11 al 15 de agosto)

	Lunes, agosto 11	Martes, agosto 12	Miércoles, agosto 13	Jueves, agosto 14	Viernes, agosto 15	Total
Demanda total (kg)	1.2703,33	8.574,79	7.678,94	14.143,67	14.341,74	57.442,47
Demanda total (m3)	136,39	98,75	156,37	121,78	113,47	626,76
Clientes atendidos	40	32	33	36	20	161
Vehículos Utilizados	GPB-559 GSW-4656 GSW-4655	GSM-2347 GSF-9051	GSU-1388 GRX-7435 GSW-4655 GSW-4656	GKX-103 GSU-1388 GSF-9051	GRX-7435 GSW-4656	-
Costo de transporte (\$)	508,7	451,24	540,5	675,83	418,32	2.594,59
Distancia recorrida (km)	2.072,15	1.704,58	1.349,76	2.156,3	1.099,28	8.382,07

3.2 Resultados del prototipo

Para evaluar el rendimiento del modelo de optimización, se llevó a cabo la simulación de un día de operación real, precisamente del lunes 11 de agosto, con un total de 40 órdenes confirmadas por el área de despacho y considerando el detalle de las órdenes pedidas por los clientes. La información procesada generó los resultados, sintetizados en la Figura 23, que ofrecen

datos cruciales para la gestión logística. Estos incluyen la identificación del vehículo y su depósito de origen, el orden de las visitas, y métricas de eficiencia como el porcentaje de utilización del vehículo en función del volumen transportado.

Figura 23.

Reporte MDVRP generado por el modelo

Placa	Depósito	Orden de Visitas	Distancia (km)	Carga (kg)	Volumen (m ³)	Utilización (%)	Tiempo de ruta (h)	Días requeridos	Google Maps
GKX-103	CENTRO DE DISTRIBUCIÓN SANTO DOMINGO	Cliente AA Cliente AC Cliente Z Cliente Y Cliente X Cliente AB Cliente W	168,7	1.723,32	21,2	89,80%	6 h 19 min	1	Segmento 1
GSU-1388	CENTRO DE DISTRIBUCIÓN GUAYAQUIL	Cliente N Cliente AE Cliente AF Cliente AG Cliente AK Cliente AL Cliente AJ Cliente AN Cliente AH Cliente AM Cliente AI Cliente AD Cliente K Cliente S Cliente T	527,26	3.429,13	30,86	87,40%	16 h 17 min	2	Segmento 1 Segmento 2
GQD-439	CENTRO DE DISTRIBUCIÓN GUAYAQUIL	Cliente M Cliente A Cliente D Cliente C Cliente B Cliente E	568,75	1.916,66	25,13	89,90%	12 h 29 min	2	Segmento 1
GSW-4655	CENTRO DE DISTRIBUCIÓN GUAYAQUIL	Cliente Q Cliente O Cliente P Cliente L Cliente R Cliente G Cliente H Cliente F Cliente I Cliente J	482,49	4.803,03	32,44	91,80%	13 h 2 min	2	Segmento 1
GSW-4656	CENTRO DE DISTRIBUCIÓN GUAYAQUIL	Cliente V Cliente U	38,69	831,19	26,76	75,80%	1 h 39 min	1	Segmento 1

Nota. Por motivos de confidencialidad, los nombres de los clientes fueron anonimizados. La información mostrada mantiene únicamente fines ilustrativos para este proyecto.

Entre los datos presentados se hallan la distancia recorrida, así como el peso y volumen total transportado por cada camión. Para el cálculo de distancias recorridas por los vehículos en las rutas, se empleó la librería de código abierto *OpenRouteService*. A pesar de que esta herramienta ofrece una aproximación muy cercana a la distancia real en carretera, se observa una diferencia promedio del 5% con respecto a las mediciones de Google Maps (para una visualización complementaria del itinerario de atención a los clientes) atribuible a factores, como las diferencias

en los datos de mapas que usan, los algoritmos de enrutamiento y las actualizaciones de tráfico en tiempo real. Asimismo, el tiempo de recorrido estimado por el modelo es considerablemente más largo que el de Google Maps, dado que ya incorpora el tiempo de servicio por cada cliente.

Así también, el modelo emitió un reporte detallado de los costos por vehículo (ver Figura 24), en el cual se consideraron todos los componentes necesarios para calcular el costo total de cada unidad siguiendo las fórmulas detalladas en la sección 2.4.3.2. De igual manera, el modelo elaboró un resumen por depósito (Figura 25), donde se mostró con detalle cuántos vehículos partieron de los centros de distribución de Guayaquil y Santo Domingo, cuántos clientes fueron atendidos desde cada uno de ellos, así como la carga y el volumen transportado por los camiones correspondientes. Finalmente, el modelo creó las guías de remisión por vehículo donde se detallan todos los clientes por visitar y sus pedidos junto con su peso y volumen. (ver Anexo 1).

Figura 24.

Costos por vehículo

Placa	Depreciación del vehículo (USD)	Costo de mantenimiento diario (USD)	Costo sueldo regular (USD)	Distancia recorrida (km)	Consumo (km/galón)	Costo del combustible (USD)	Total (USD)
GKX-103	3,6	20,4	59,84	168,7	12	24,6	108,44
GSU-1388	5,72	5,03	52,88	527,26	16,05	57,49	121,12
GQD-439	6,54	5,02	57,54	568,75	16,05	62,01	131,11
GSW-4655	5,72	4,19	59,52	482,49	26,5	31,86	101,29
GSW-4656	5,72	4,19	52,69	38,69	26,55	2,55	65,15
Total	27,3	38,83	282,47	1.785,89	-	178,51	527,11

Figura 25.

Resumen por depósito

Depósito	Vehículos usados	Distancia total (km)	Clientes atendidos	Carga total (kg)	Volumen total (m ³)
CENTRO DE DISTRIBUCIÓN GUAYAQUIL	4	1.617,19	33	10.980,01	115,19
CENTRO DE DISTRIBUCIÓN SANTO DOMINGO	1	168,7	7	1.723,32	21,2

3.3 Análisis de resultados

En la simulación del lunes 11 de agosto se analizaron las cinco rutas correspondientes a distintos vehículos asignados en dicho día, tomando en consideración tanto los tiempos de desplazamiento estimados en Google Maps como los tiempos de servicio de 30 minutos por

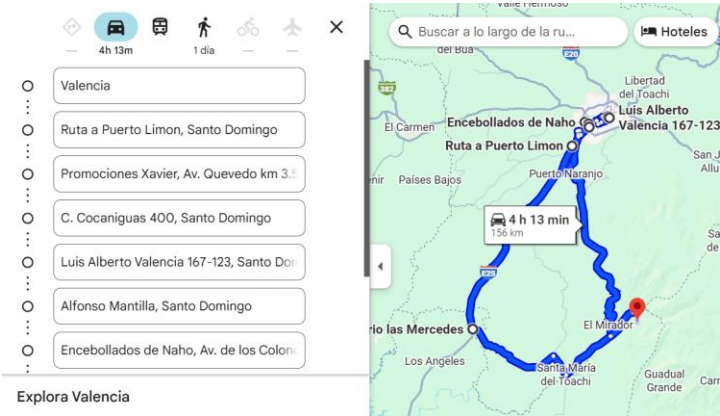
cliente. Además, se verificó que la utilización de la capacidad de los camiones no superara el 95% en volumen, con el fin de mantener un equilibrio entre eficiencia operativa y seguridad.

En el caso del vehículo con placa GKX-103, perteneciente al Centro de Distribución Santo Domingo, se atendió un total de siete clientes en un recorrido de 168,7 km. El tiempo de conducción fue de 6 horas y 19 minutos, al que se sumaron los tiempos de servicio en cada parada, resultando en una jornada inferior a las ocho horas reglamentarias. Esto permite que la ruta pudiera ser cubierta por un único chofer acompañado de su asistente, alcanzando una utilización del 89,8%, como se muestra en la Tabla 29, lo que refleja un desempeño eficiente sin llegar a la saturación de la capacidad.

Tabla 29.
Resumen indicadores ruta Santo Domingo-Santo Domingo

Placa	Google Maps	Clientes atendidos	Distancia recorrida (km)	Tiempo estimado de viaje (h)	¿Es posible cumplir la ruta en 1 día?	Costo de transporte	Utilización del camión (%)
GKX-103	Segmento 1	7	168,7	6 h 19 min	Sí	\$108,44	89,80%

Figura 26.
Ruta de distribución Santo Domingo-Santo Domingo



Por otro lado, el vehículo GSU-1388, con origen en el Centro de Distribución Guayaquil, realizó un recorrido de 527,26 km para atender a quince clientes. El tiempo total de la ruta ascendió a 16 horas y 17 minutos, superando ampliamente la jornada laboral establecida. Bajo estas

condiciones, sería importante asignar dos choferes que se alternaran cada 4 horas de manejo continuo. Estas pausas no solo permiten el relevo del conductor, sino que también son cruciales para el descanso, la hidratación y la verificación técnica del vehículo. La utilización alcanzó un 87,4% (Tabla 30), valor considerado adecuado en rutas extensas donde la prioridad recae en asegurar la cobertura y la continuidad del servicio.

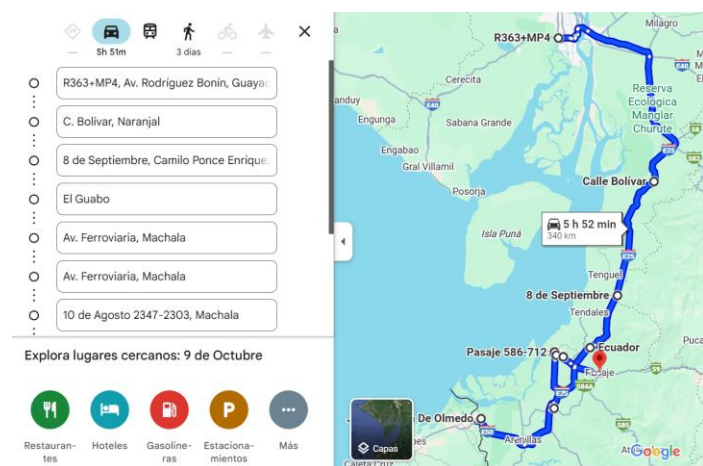
Tabla 30.

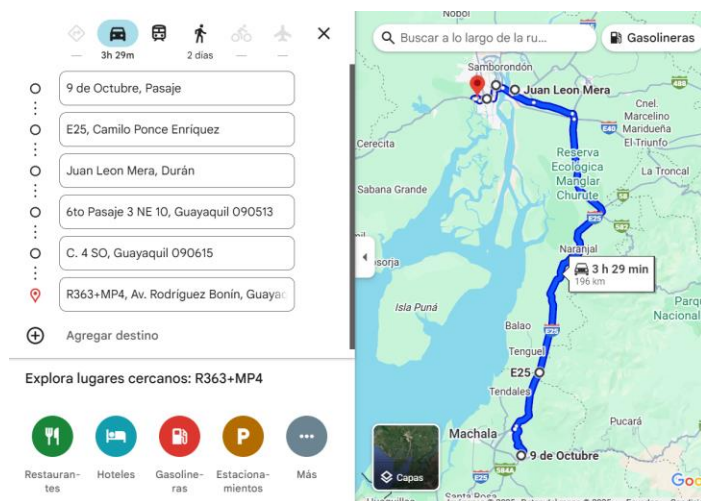
Resumen indicadores ruta Guayaquil-El Oro

Placa	Google Maps	Clientes atendidos	Distancia recorrida (km)	Tiempo estimado de viaje (h)	¿Es posible cumplir la ruta en 1 día?	Costo de transporte	Utilización del camión (%)
GSU-1388	Segmento 1 Segmento 2	15	527,26	16 h 17 min	No	\$121,12	87,40%

Figura 27.

Ruta de distribución Guayaquil-El Oro





De manera similar, el camión con placa GQD-439 cubrió un total de seis clientes en un trayecto de 568,75 km, con un tiempo de 12 horas y 29 minutos. Esta cifra excedió también el límite de ocho horas, por lo que la operación requeriría de dos choferes en rotación cada 4 horas de conducción continua, garantizando tanto el cumplimiento normativo como la seguridad de la operación. La utilización fue del 89,9% (Tabla 31), lo que demuestra un uso eficiente de la flota dentro de los parámetros definidos.

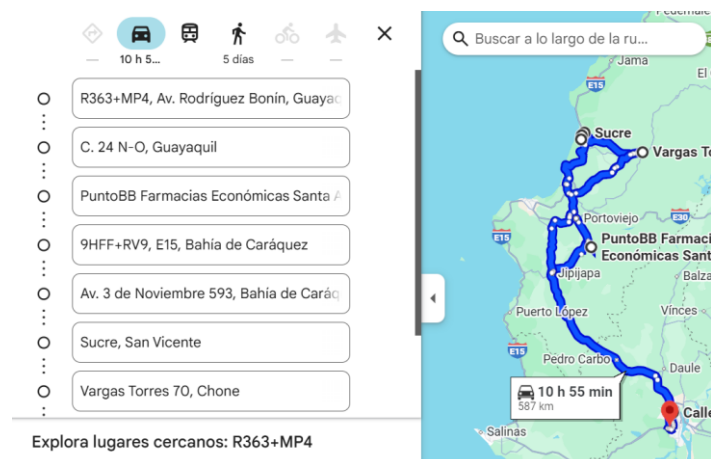
Tabla 31.

Resumen indicadores ruta Guayaquil-Manabí

Placa	Google Maps	Clientes atendidos	Distancia recorrida (km)	Tiempo estimado de viaje (h)	¿Es posible cumplir la ruta en 1 día?	Costo de transporte	Utilización del camión (%)
GQD-439	Segmento 1	6	568,75	12 h 29 min	No	\$131,11	89,90%

Figura 28.

Ruta de distribución Guayaquil-Manabí



En cuanto al vehículo GSW-4655, su recorrido contempló la atención de diez clientes en 482,49 km, alcanzando un tiempo estimado de 13 horas y 2 minutos. Al tratarse de una ruta que sobrepasó la jornada laboral, sería necesario incorporar dos choferes para realizar la conducción alternada cada 4 horas y establecer paradas reportadas que permitan descanso y la verificación técnica del vehículo. La utilización del camión llegó al 91,8%, tal como se observa en la Tabla 32, lo que indica un equilibrio adecuado entre número de clientes atendidos y aprovechamiento de la capacidad de carga.

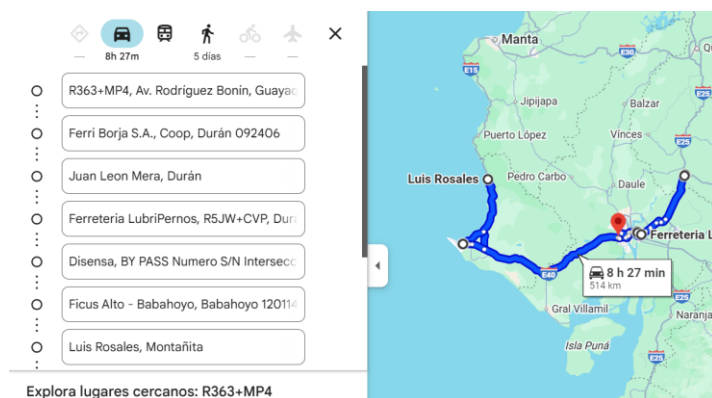
Tabla 32.

Resumen indicadores ruta Guayaquil-Santa Elena-Los Ríos

Placa	Google Maps	Clientes atendidos	Distancia recorrida (km)	Tiempo estimado de viaje (h)	¿Es posible cumplir la ruta en 1 día?	Costo de transporte	Utilización del camión (%)
GSW-4655	Segmento 1	10	482,49	13 h 2 min	No	\$101,29	91,80%

Figura 29.

Ruta de distribución Guayaquil-Santa Elena-Los Ríos



Por último, el vehículo GSW-4656 se destinó a una ruta corta en la que se atendieron dos clientes, cubriendo apenas 38,69 km en 1 hora y 39 minutos de conducción. En este caso, la utilización fue de 75,8% (ver Tabla 33), por debajo de los niveles usuales, lo cual se explica por la necesidad de cumplir con la entrega de pedidos críticos que debían efectuarse en esa fecha, independientemente de la ocupación del vehículo. La ruta sería realizada con un chofer y un asistente, retornando de inmediato al centro de distribución, en concordancia con la política de seguridad establecida.

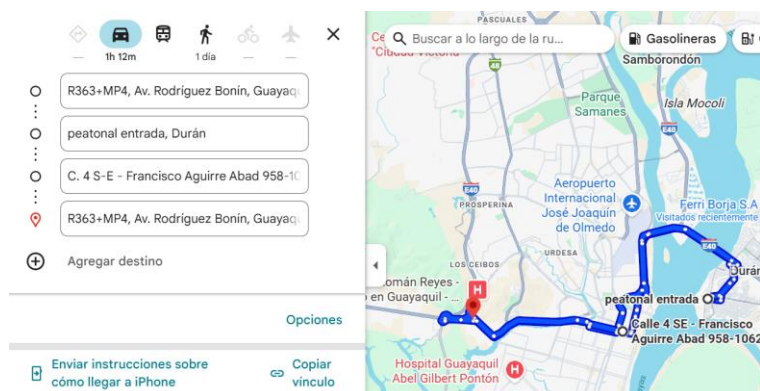
Tabla 33.

Resumen indicadores ruta Guayaquil-Guayaquil

Placa	Google Maps	Clientes atendidos	Distancia recorrida (km)	Tiempo estimado de viaje (h)	¿Es posible cumplir la ruta en 1 día?	Costo de transporte	Utilización del camión (%)
GSW-4656	Segmento 1	2	38,69	1 h 39 min	Sí	\$65,15	75,80%

Figura 30.

Ruta de distribución Guayaquil-Guayaquil



Luego de simular un día de operaciones, se procedió a realizar el mismo análisis para el resto de la semana mostrados en forma de resumen en la Tabla 34. Como resultado de la simulación semanal, se puede afirmar que los pedidos se concentraron principalmente en zonas como Guayaquil, Santa Elena, Manabí, El Oro, Los Ríos y Santo Domingo, alcanzando una distancia recorrida total de 7.247,33 km y un costo de \$2.402,03.

Tabla 34.

Resultados obtenidos tras una semana de simulación con el modelo

	Lunes, agosto 11	Martes, agosto 12	Miércoles, agosto 13	Jueves, agosto 14	Viernes, agosto 15	Total
Demanda total (kg)	12.703,33	8.574,79	7.678,94	14.143,67	14.341,74	57.442,47
Demanda total (m3)	136,39	98,75	156,37	121,78	113,47	626,76
Cientes atendidos	40	32	33	36	20	161
Vehículos Utilizados	GKX-103 GSU-1388 GQD-439 GSW-4656 GSW-4655	GKX-103 GQD-439 GSW-4656 GSW-4655	GSU-1388 GQD-439 GSM-2347 GSM-2349 GSW-4655 GSW-4656	GKX-103 GPB-559 GSU-1388 GQD-439 GSW-4655	GPB-559 GSU-1388 GSW-4656 GSW-4655	-
Costo de transporte (\$)	527,11	429,66	522,71	555,26	367,29	2.402,03
Distancia recorrida (km)	1.785,89	1.619,24	1.379,59	1.965,8	496,81	7.247,33

Adicionalmente, se elaboró una tabla que resume el desempeño semanal de cada vehículo de la flota, considerando parámetros operativos relevantes como el peso y volumen total transportado, la utilización promedio de la capacidad, el número de viajes realizados, el total de entregas efectuadas y el *dropsize* tanto en términos de peso como de volumen por cliente. Estos indicadores, presentados en la Tabla 35, permitieron evaluar la eficiencia de las operaciones y detectar diferencias significativas en el comportamiento de las unidades, reflejando distintos patrones de consolidación de carga y atención a clientes.

Tabla 35.

Desempeño semanal de la flota por vehículo

Vehículo	Peso total transportado (kg)	Volumen total transportado (m3)	Utilización promedio (%)	Clientes visitados	Días de uso de vehículo	Dropsize (kg/cliente)	Dropsize (m3/cliente)
GKX-103	6.681,86	59,47	83,93	28,00	3,00	238,64	2,12
GPB-559	5.508,08	51,17	91,50	12,00	2,00	459,01	4,26
GQD-439	11.029,33	91,67	84,80	26,00	4,00	424,21	3,53
GSM-2347	518,97	15,55	84,10	5,00	1,00	103,79	3,11
GSM-2349	1.238,12	17,04	92,10	2,00	1,00	619,06	8,52
GSU-1388	12.102,16	124,69	88,28	28,00	4,00	432,22	4,45
GSW-4655	15.353,94	153,72	87,04	34,00	5,00	451,59	4,52
GSW-4656	6.511,75	123,45	87,40	27,00	4,00	241,18	4,57

Se evidencia que los camiones GSW-4655 y GSW-4656 alcanzaron un *dropsize* relativamente alto (451,59 y 241,18 kg/cliente, respectivamente), evidenciando un uso eficiente en la consolidación de entregas, especialmente en rutas cortas con pedidos medianos a grandes. En contraste, unidades como GSM-2347 y GSM-2349 presentaron *dropsize* atípicos: el primero con un valor bajo (103,79 kg/cliente) al atender un número reducido de clientes con poca carga, y el segundo con un valor elevado (619,06 kg/cliente) al concentrar su operación en pocos clientes de gran demanda. Esto refleja casos de rutas particulares: o bien de emergencia (pocos pedidos, pero necesarios), o bien dedicados a clientes grandes con volúmenes considerables. De esta manera, los resultados reflejan que el modelo no solo asigna la flota en función de la capacidad

disponible, sino también considerando la naturaleza de los pedidos, garantizando el cumplimiento de la demanda incluso en escenarios de baja utilización relativa.

Finalmente, se comparó la distancia recorrida obtenida con el modelo (ver Tabla 34) respecto a la de la línea base (ver Tabla 28) usando la semana de operaciones descrita en párrafos anteriores. Como resultado, se redujo este indicador en un 13% tal como se observa en la Tabla 36.

Tabla 36.

Resultados de la aplicación del modelo

	Situación actual	Situación propuesta	% reducción
Distancia recorrida semanal (km)	8.382,07	7.247,33	13%

En síntesis, los resultados obtenidos revelaron que el modelo de ruteo permite adaptarse a diferentes condiciones operativas, ya sea mediante la asignación de recursos adicionales en rutas extensas o mediante la ejecución de entregas con baja ocupación para garantizar la continuidad del servicio. Del mismo modo, se constató que se cumplen todas las especificaciones de diseño y que todas las unidades retornaron al centro de distribución al finalizar su recorrido, lo que asegura un control integral sobre la flota y evita cualquier percance por temas de seguridad.

3.4 Propuesta de plano de descarga y organización de órdenes

Como parte de la propuesta logística, se elaboró un plano de descarga de las órdenes con el fin de garantizar un proceso de entrega más ágil y ordenado (ver Figura 32). Para ello, se utilizó el reporte generado en la plataforma Easy Cargo, donde se consolidaron los pedidos de los seis clientes del lunes 11 de agosto (ver Figura 31) asignados al vehículo con placas GQD-439 de 5,5 toneladas y una capacidad volumétrica de 27,97 m³. Este camión según el modelo alcanzó una utilización del 89 % de su capacidad volumétrica y un peso total de 1.916,66 kg, lo cual permitió optimizar el espacio disponible en la caja.

Figura 31.

Detalle de las órdenes de los clientes asignados al vehículo GQD-439

Vehículo asignado: GQD-439				
Orden de visita	Nombre de cliente	SKU / Producto	Peso (kg)	Volumen (m³)
1	Cliente M	CAJA PVC RECTANGULAR 4"x2" PLASTIGAMA 1005624	6,36	0,32
		BAJANTE PVC 3m PARA CANAL DECORATIVO PLASTIGAMA	1,00	0,30
		CANAL DECORATIVO PVC 3m PLASTIGAMA	1,00	0,30
2	Cliente A	VALVULA ESFERICA PVC LISO 1/2" COMPACTA CH	35,20	0,50
		DISCO FLAP DESBASTE R828 #40 ORIGINAL 115x22 P/ACERO NORTO	15,24	0,17
		DISCO FLAP DESBASTE R828 #80 ORIGINAL 115x22 P/ACERO NORTON	41,14	0,50
		TUBO GALVANIZADO 1"x6m ISO 2 ESPESOR 2.60mm	227,40	0,61
3	Cliente D	LLAVE MANGUERA ESFERICA 1/2" CROMADA SK	30,00	0,10
		PERNOS AJUSTE PVC TANQUE TAZA	40,00	0,10
		UNION BRONCE 1/2" PARA MANGUER JARDIN 3PZ IMP CH	30,00	0,10
		VALVULA ESFERICA BR 1/2" PASO TOTAL SK	17,40	0,23
		VALVULA ESFERICA BR 1" PASO TOTAL SK	16,45	0,25
		VALVULA ESFERICA BR 1 1/2" PASO TOTAL SK	12,00	0,25
		VALVULA ESFERICA BR 2" PASO TOTAL SK	22,00	0,25
		VALVULA ESFERICA BR 3" PASO TOTAL SK	23,00	0,40
4	Cliente C	BUSHING ACERO INOXIDABLE 1/2" A 1/4"	5,00	0,10
		SIKA SELLADOR 5kg TC/10M	100,00	0,99
		SIKAFILL-5 EXPERTO BLANCO 900 ml IMPERMEABILIZANTE TECHOS	18,50	0,30
		TUBO PVC DESAGUE 160mmx3m TB PLASTIGAMA	30,34	2,41
5	Cliente B	CODO PVC CONDUIT 1/2"x90° TERMOF. PLASTIGAMA	59,80	0,41
		TUBO PP ROSCABLE 1 1/2"x6m PLASTIGAMA	108,59	1,44
		TUBO PVC DESAGUE 110mmx3m TB PLASTIGAMA	70,66	2,70
6	Cliente E	CERRADURA POMO DORMITORIO BOLTON BR. ANTIGUO FANAL	6,13	0,27
		TAPON MACHO GALVANIZADO 3/4"	2,00	0,00
		PEGA LLAMA ROJA 125cc	5,00	0,30
		PEGA PVC 120cc PEGATUBO ADHEPLAST	4,00	0,20
		ABRAZADERA O GRAPHA METALICA 1/2" EMT P/TUBO	18,00	0,40
		ABRAZADERA O GRAPHA METALICA 3/4" EMT P/TUBO	16,00	0,50
		ALAMBRE GALVANIZADO #18 ROLLO 20kg	20,00	0,17
		CABO PP 5/16" 8MM C/R17K-C/K33.20 RE 850KG FOR E	5,00	0,20
		PLASTICO NEGRO DOBLE 2.0m ANCHO C/KILO ROLLO APROX 45KI	528,50	2,00
		CODO POLIP. ROSC. 1/2" x 90° PLASTIGAMA	6,00	0,40
		TEE POLIPROP ROSCABLE 1/2" PLASTIGAMA	11,20	0,10
		TEE REDUCTORA PVC DESAGUE 110mm A 75mm CC PLASTIGAMA	6,00	0,07
		TEE PVC DESAGUE 110mm CC PLASTIGAMA *	5,40	1,00
		TUBO PVC PRESION 25mmx6mx1.25 Mpa EC PLASTIGAMA	20,88	0,71
		TUBO PVC DESAGUE 110mmx3m TB PLASTIGAMA	17,67	1,43
		TUBO PVC DESAGUE 50mmx3m TB PLASTIGAMA	31,58	1,47
		TUBO PVC DESAGUE 75mmx3m TB PLASTIGAMA	22,48	1,33
		CONECTOR PVC CONDUIT 1/2" CONDUFLEX PLASTIGAMA	5,00	0,10
		UNION POLIPROP ROSCABLE 1/2" PLASTIGAMA IMP *	10,00	0,15
		TUBO PVC CONDUIT 1/2" 3m PESADO PLASTIGAMA	15,24	0,23
		NEPLO POLIP. ROSC. 1/2" x15cm PLASTIGAMA	11,00	0,10
		UNION UNIVERSAL POLIPROP ROSC 3/4" PLASTIGAMA	13,50	0,10
		BONDEX STANDARD CERAMICA 25 KG. INTACO	200,00	0,80
		INTERRUPTOR SENCILLO EMP 15A-120V MF COOPER REF. 1301V	25,00	0,40
		Total	1916.66	25.13

Nota. Por motivos de confidencialidad, los nombres de los clientes fueron anonimizados. La información mostrada mantiene únicamente fines ilustrativos para este proyecto.

Figura 32.

Plano de descarga de pedidos del vehículo GQD-439

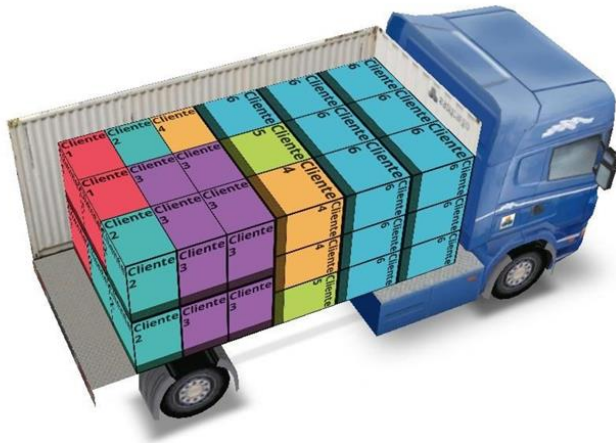
GQD439 - 5T CHEVY NPR 07 (5,060 mm x 2,400 mm x 2,300 mm)

Total weight 1,916.66 kg

Total volume 25.13 m³ (89 %)

Shift to right 0 m

Shift in length 0 m



Nota. Elaborado en la plataforma Easy Cargo

Es importante destacar que este esquema inicial sirve para ilustrar la secuencia de descarga según el orden de visita a los clientes. Se trata de un modelo conceptual, ya que, por cuestiones prácticas en el programa de simulación, todos los productos fueron representados como cajas. En la realidad, las órdenes incluyen artículos de diversas formas y tamaños.

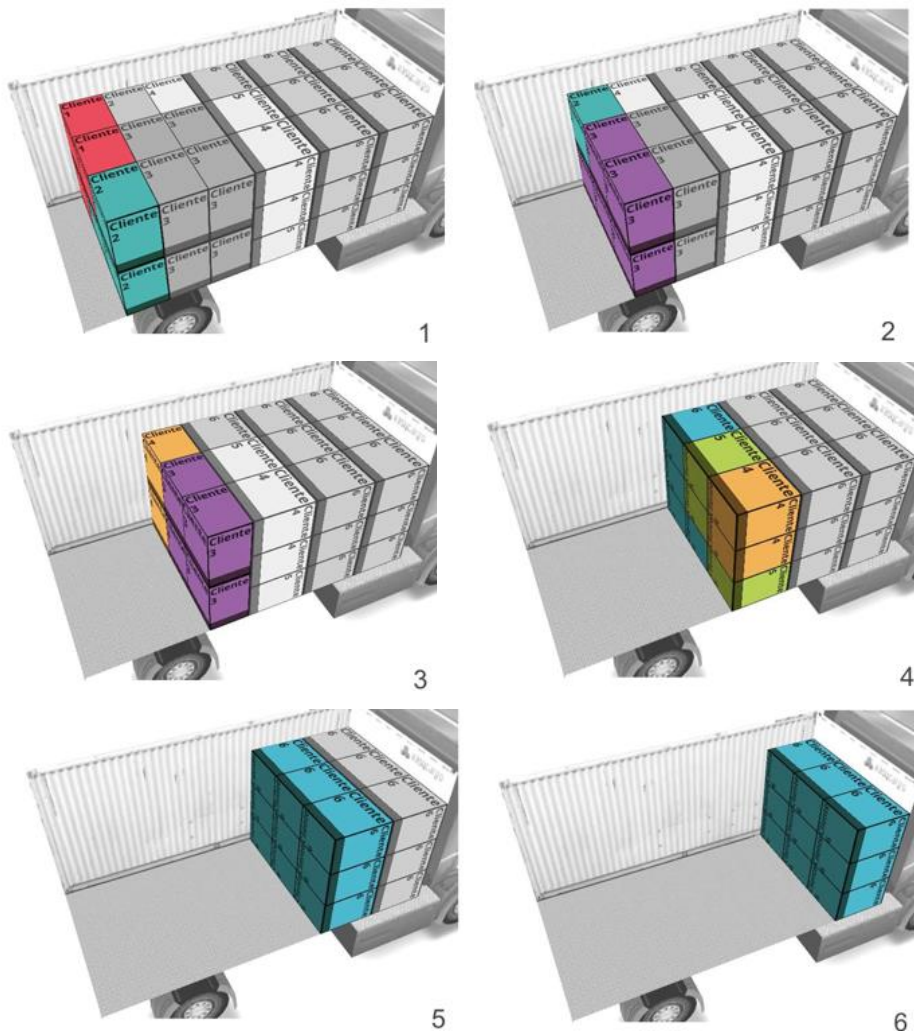
La propuesta, representada en la Figura 32, establece que la secuencia de descarga se organice en orden inverso a la salida del centro de distribución. Esto significa que los pedidos del último cliente en la ruta se colocan al fondo del vehículo, mientras que los de los primeros clientes se ubican cerca de la puerta trasera. Este método minimiza la necesidad de maniobras adicionales durante la entrega y reduce la manipulación innecesaria de la carga, agilizando el proceso en cada parada.

El esquema obtenido permite visualizar de manera clara cómo deben disponerse las unidades por cliente. Por ejemplo, los 22 pedidos del Cliente 6 fueron colocados en la parte más interna de la caja, seguidos por las cargas correspondientes a los Clientes 5, 4 y 3, hasta llegar a los 3 pedidos del Cliente 1, situados junto a la puerta del camión para ser descargados en primer

lugar. A continuación, la Figura 33 detalla la secuencia de descarga de los pedidos de los 6 clientes de este vehículo.

Figura 33.

Secuencia de la descarga de pedidos del vehículo GQD-439



Nota. Elaborado en la plataforma Easy Cargo

3.5 Resultados de métricas de sostenibilidad y beneficios complementarios

3.5.1 Aspecto social

Se evaluó la reducción del tiempo de viaje semanal de los vehículos, obteniéndose una disminución del 13,60%, al pasar de 128,95 h a 111,50 h. Este resultado implica jornadas más cortas y seguras, reduciendo la fatiga laboral y contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los trabajadores.

3.5.2 Aspecto económico

El sistema de optimización de rutas MDVRP generó un impacto económico positivo en la empresa, al reducir los gastos operativos semanales de transporte de \$2594,59 a \$2.402,03. Esta implementación representó una disminución del 7,42% en los costos, evidenciando la eficiencia del modelo frente al sistema actual.

3.5.3 Aspecto ambiental

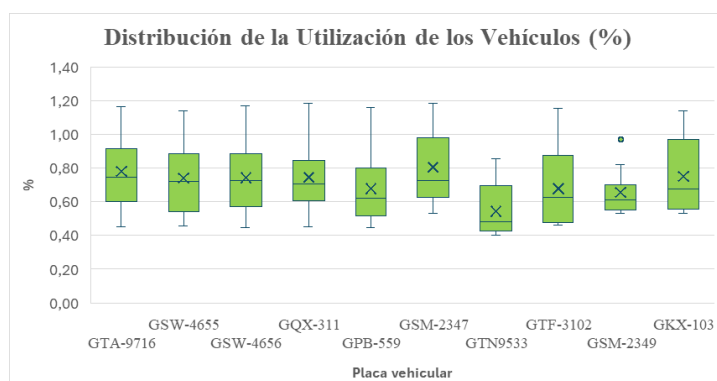
Las emisiones de carbono representan un impacto negativo en el medio ambiente, al contribuir significativamente a la contaminación atmosférica. En Ecuador, los vehículos pesados de transporte y los buses generan alrededor del 82% del material particulado (Expreso, 2023). Con la optimización de rutas mediante el modelo MDVRP, las emisiones semanales de carbono se redujeron en un 13,60%, pasando de 6.739,18 kg CO₂ a 5.826,85 kg CO₂, gracias a la disminución de kilómetros recorridos.

3.5.4 Utilización de la flota vehicular

La utilización se consideró un indicador clave del desempeño de la flota, ya que refleja el grado de aprovechamiento de los vehículos. En la situación histórica de la empresa (ver Figura 34), se observó que la mayor concentración de utilización se situaba entre el 60% y el 90%, lo que evidenció que la eficiencia en las rutas no era completamente óptima. No obstante, algunos vehículos presentaron niveles de utilización significativamente más bajos.

Figura 34.

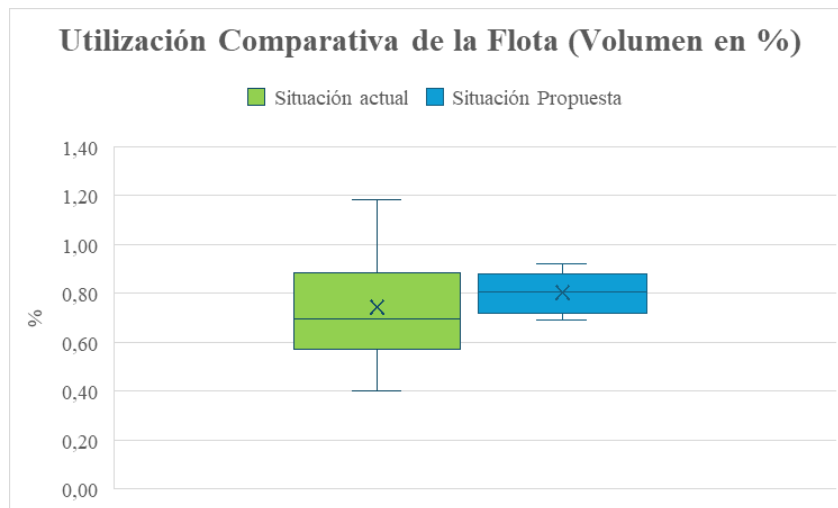
Utilización de los camiones según información histórica



Posteriormente, el gráfico de barras (ver Figura 35) evidenció que la utilización de la flota se desplazó hacia un rango superior, pasando de aproximadamente 60–90% en la situación actual a alrededor de 75–90% en la situación propuesta. El diagrama de cajas y bigotes mostró que este cambio se alcanzó mediante la reducción de la variabilidad y el máximo aprovechamiento de los vehículos, resultado de una planificación de rutas más eficiente ejecutada por el modelo.

Figura 35.

Diagrama de cajas con utilización de situación actual vs propuesta



Estos resultados demostraron que el modelo propuesto resultó ser eficiente, al estabilizar el rendimiento de la flota, asegurando que todos los vehículos operaran de manera más consistente y productiva.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- Se determinaron las principales necesidades del cliente mediante la metodología Voice of the Customer (VOC), complementada con entrevistas al gerente de operaciones y a los operadores, así como con el análisis de seis meses de información histórica de la flota. Estos hallazgos permitieron garantizar que el modelo de ruteo con múltiples depósitos respondiera a requerimientos reales y se adecuara a las condiciones operativas de la empresa, contribuyendo así a una solución logística eficiente y alineada con la estrategia organizacional.
- Se definieron las especificaciones técnicas del modelo de ruteo para garantizar su viabilidad y cumplimiento normativo. Entre ellas destacan: el 100% de cumplimiento de las rutas, la obligatoriedad de iniciar y finalizar en el depósito, que la demanda transportada no supere la capacidad máxima del 95% del vehículo, un máximo de dos vehículos desde Santo Domingo y la capacidad máxima permitida según las ordenanzas municipales. Además, se estableció una distancia máxima de 600 km por vehículo, medida clave para extender la vida útil de la flota y reducir costos operativos asociados al mantenimiento.
- El modelo de ruteo fue diseñado y parametrizado bajo el enfoque MDVRP, integrando datos reales de clientes, depósitos y vehículos. Su implementación en Python mediante OR-Tools en Google Colab permitió una resolución computacional eficiente y la generación de resultados en tablas y mapas interactivos con rutas reales, lo que facilitó la interpretación y el análisis por parte del cliente clave.
- El análisis de las rutas confirmó la funcionalidad y adaptabilidad del modelo a la naturaleza de los productos transportados y restricciones operativas a través de la asignación de recursos adicionales en rutas extensas o mediante la ejecución de entregas con baja ocupación para garantizar la continuidad del servicio. Los resultados evidenciaron una reducción del 13% en la distancia recorrida semanal por la flota de camiones, al pasar de

8.382,07 km a 7.247,33 km. A su vez, se observó un impacto positivo en otros indicadores tales como una disminución del 13% en las emisiones de CO_2 , del 7% en los costos operativos y del 13,50% en las horas de viaje, lo que implica una menor carga laboral para los transportistas. Estos resultados demuestran la eficiencia y sostenibilidad de la propuesta.

4.1.2 Recomendaciones

- El modelo ha demostrado ser exitoso con dos depósitos; por lo cual, en caso de que la empresa requiera analizar la cobertura en otras provincias o zonas de interés estratégico para su expansión logística, se recomienda usar el modelo propuesto como objeto de referencia. Sin embargo, no es parte del alcance de este proyecto evaluar la factibilidad de apertura de un nuevo centro de distribución.
- La aplicación del modelo de optimización no debe concebirse como un esfuerzo único. Se recomienda asignar un equipo encargado de monitorear periódicamente los datos de las rutas, como los tiempos de viaje, las cargas reales transportadas y tiempo de descarga de productos por cliente con el fin de ajustar los parámetros del modelo. Esto garantizará que el sistema se mantenga vigente y eficiente a largo plazo, adaptándose a los cambios del mercado y a las necesidades de los clientes.
- Resulta pertinente que el cliente contemple la definición de un tiempo específico de descarga por cliente, con el fin de garantizar que el modelo realice una estimación más precisa de los tiempos de recorrido. Para efectos de este proyecto, se asumió de manera uniforme un tiempo de 30 minutos para dicha operación.
- Se sugiere implementar un sistema de seguimiento en tiempo real para todos los vehículos. Esta tecnología facilitaría la recolección de datos relacionados con los tiempos de viaje y las condiciones de las rutas, lo cual resulta esencial para la actualización y perfeccionamiento continuo del modelo de optimización. Además, permitiría a la empresa

responder con mayor agilidad ante imprevistos, como congestiones de tráfico u otras eventualidades operativas.

- Finalmente, se plantea a la empresa elaborar un plano operativo de descarga y despacho por vehículo, que estandarice la secuencia de entrega y organización de la carga, con el fin de optimizar tiempos, evitar reordenamientos y reducir riesgos de daño.

Referencias

- Álvarez, J. M. (2012). *Configuración y usos de un mapa de procesos*. AENOR CONOCIMIENTO, S.L.U.
- Bautista, J. (2023). *Voice of Customer: ¿Qué es y por qué debes considerarlo?* Beex. <https://beex.la/blog/voice-of-customer-que-es-y-por-que-debes-considerarlo>
- Caeiro Rodríguez, M. & Caeiro Rodríguez, D. (2019). *El Punto de Vista en Design Thinking*. Grupo de Investigación atlanTTic, Universidad de Vigo. <https://desire.webs.uvigo.es/design-thinking/el-punto-de-vista/>
- Custódio, M. (2021, 2 de febrero). *Mapa de Empatía: qué es y cómo hacerlo en 6 pasos*. [Blog post]. <https://rockcontent.com/es/blog/mapa-de-empatia/>
- Decreto Ejecutivo No. 1196 de 11-06-2012: Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial*. (2012). Registro Oficial 735. Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Ecuador. <https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/Decreto-Ejecutivo-No.-1196-de-11-06-2012-REGLAMENTO-A-LA-LEY-DE-TRANSPORTE-TERRESTRE-TRANSITO-Y-SEGURIDAD-VIA.pdf>
- Diario Expreso. (2023, 14 de octubre). El silencio de la autoridad ante la contaminación. *Expreso*. <https://www.expreso.ec/guayaquil/silencio-autoridad-contaminacion-176158.html>
- Gutiérrez, H. (2009). *Calidad Total y Productividad* (3.^a ed.). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Instituto Geográfico Militar del Ecuador. *Mapa político del Ecuador: límites geográficos*. Geoportal IGM. <https://www.geoportaligm.gob.ec/>
- Pyzdek, T. & Keller, P. (2014). *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- Rojas, A. R. (2009). *DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)*. (Módulo 8, QFD).

Santillán Aldana, J. (2012). *Los procedimientos de un sistema de gestión de información: Un estudio de caso de la Universidad de Lima*. Biblios, (46), 40–50.

Anexos

Anexo 1.

Guías de remisión por vehículo resultantes del modelo

Vehículo asignado: GKX-103				
Orden de visita	Nombre de cliente	SKU / Producto	Peso (kg)	Volumen (m³)
1	Cliente AA	ENCHUFE VINYL 3P 15A-125V COOPER REF, 4867	9,00	0,30
		DUCHA ELECTRICA SS 3T MULTITEM 5400W 127V CORONA	9,00	0,12
		ASIENTO PARA INODORO ECONOMICO BL UNIVERSAL FV	20,00	0,76
		DESAGUE SIFON C/REJILLA 1 1/2" P/COCINA BLANCO FV	10,20	0,26
		LLAVE ANGULAR CON MANGUERA 16" PARA LAVABO(1) FV PROMO	3,38	0,31
		LLAVE ANGULAR CON MANGUERA 16" PARA INODORO(1) FV	3,25	0,40
		LLAVE ANGULAR PARA MANGUERA 1/2- CR FV	3,56	0,06
2	Cliente AC	VALVULA ESFERICA 3/4" EXTRA LIVIANA BR	1,89	0,60
		SAPITO OFLAPPER STANDARD PARA HERRAJE FV	5,50	0,11
		PILA AAA X2 BLISTER 1,5V MAX ALCALINA ENERGIZER	18,35	2,30
		REDUCTOR PP 25mmx20mm TERMOFUSION IMP	9,00	0,30
3	Cliente Z	APA CIEGA PVC PERFORADA CAJA OCTOGONAL PLASTIGAMA	3,38	0,30
		CAJA PVC CUADRADA 5"x5" PLASTIGAMA	9,00	0,30
		CODO PVC CONDUIT 1/2"x90° TERMOF, PLASTIGAMA	3,90	0,63
		BONDEX STANDARD CERAMICA 25 KG, INTACO	1450,00	7,30
4	Cliente Y	UNION UNIVERSAL POLIPROP ROSC 3/4" PLASTIGAMA	2,65	0,11
		REDUCTOR POLIPROP ROSCABLE 3/4" A 1/2" PLASTIGAMA IMP	32,32	0,60
		BUSHING POLIP, ROSC, 1" A 1/2" PLASTIGAMA	13,40	2,30
		NEPLO POLIPROP ROSCABLE 1/2" x8cm PLASTIGAMA	21,27	0,30
5	Cliente X	TAPON HEMBRA POLIPROP ROSC 1/2" PLASTIGAMA	9,00	0,20
		NEPLO TUERCA POLIPROP ROSC 3/4" PLASTIGAMA	9,00	0,30
6	Cliente AB	LLAVE MANGUERA 1/2" GRANALLADA BR MANIJA "T" FV	5,26	0,05
		LLAVE MANGUERA 1/2" EXTRA LIVIANA BR MANIJA "T" FV	5,94	0,07
		EMPAQUE PARA VALVULA DE MEZCLADORAS FV	23,10	0,30
		LLAVE CAMPANOLA CAPRI CR FV	2,57	0,30
		LLAVE CAMPANOLA CAPRI CR FV	2,70	0,06
7	Cliente W	UNION POLIPROP ROSCABLE 1/2" PLASTIGAMA IMP *	1,80	0,30
		UNION UNIVERSAL POLIPROP ROSC 1 1/2" PLASTIGAMA	8,00	0,30
		UNION UNIVERSAL POLIPROP ROSC 1/2" PLASTIGAMA	8,00	0,23
		YEE PVC DESAGUE 110mm CC PLASTIGAMA *	12,10	1,37
		YEE PVC DESAGUE 50mm CC PLASTIGAMA *	3,40	0,08
		NEPLO POLIP, ROSC, 1/2" x15cm PLASTIGAMA	3,40	0,30
		Total	1723,32	21,21

Vehículo asignado: GSU-1388				
Orden de visita	Nombre de cliente	SKU / Producto	Peso (kg)	Volumen (m³)
1	Cliente N	UNION PVC CANAL DECORATIVO PLASTIGAMA	1,67	0,28
		UNION PVC CANAL DECORATIVO A BAJANTE PLASTIGAMA	2,77	0,67
		UNION ESQUINA EXTERIOR PVC PARA CANAL DECORATIVO	4,00	0,13
		REDUCTOR POLIP ROSC. 1" A 3/4" PLASTIGAMA IMP	4,00	0,30
		CODO PVC CONDUIT 3/4"x90° PLASTIGAMA	3,60	0,50
		CODO POLIP. ROSC. 3/4" x90° PLASTIGAMA	1,40	0,06
2	Cliente AE	TUBO PP 20mmx6m TERMOFUSION PN20 IMP	3,00	0,09
		TUBO PP 25mmx6m TERMOFUSION PN20 IMP	7,20	0,30
		TUBO PP 32mmx6m TERMOFUSION PN20 IMP	10,95	0,24
3	Cliente AF	PILA AA X12 TIRA 1.5V CARBON EVEREADY	2,24	0,30
		PILA AAA X10 TIRA 1.5V CARBON EVEREADY	9,00	0,30
		CERROJO CILINDRO SENCILLO 32D AC.INOXIDABLE FANAL 90470-003	1,30	0,30
		CANDADO PLANO 25mm LATON BRONCE FANAL	9,00	0,30
4	Cliente AG	CANDADO PLANO 38mm LATON BRONCE FANAL	1,72	0,30
		CANDADO PLANO 50mm LATON BRONCE FANAL	3,43	0,05
		CERRADURA SOBREPONER 72mm DERE S/CADENA DORADO KWIKSET	10,86	0,10
		LIJA DISCO HIERRO F227 #120 D 115X 2 NORTON	8,50	0,10
5	Cliente AK	TEE PVC DESAGUE 110mm CC PLASTIDOR	62,20	0,60
		YEE PVC DESAGUE 110mm CC PLASTIDOR	52,20	0,77
		CODO PVC DESAGUE 75mmx90° PLASTIDOR	7,30	0,25
6	Cliente AL	REDUCTOR PVC DESAGUE 110mm A 75mm PLASTIDOR	5,30	0,22
		CODO PVC DESAGUE 110mmx90° PLASTIDOR	30,22	0,42
		CODO PVC DESAGUE 110mmx45° PLASTIDOR	34,96	0,38
		TUBO PVC ROSCABLE 1/2"x6m PLASTIDOR	34,00	0,06
7		TEE PVC DESAGUE 75mm CC PLASTIDOR	152,20	0,15
8	Cliente AN	SIKA EMPASTE PROFESIONAL BLANCO 20kg TC/6M (5%)	800,00	2,30
		SIKACRYL PREMIUM BLANCO 1.5kg MASILLA P/PAREDES TC/6M	5,40	0,10
		SIKA WALL 135 EMPASTE EXPERTO EXTERIOR 20 KG (5%)	60,00	0,10
		SIKACRYL PREMIUM BLANCO 0.7KG MASILLA P/PAREDES TC/6M	3,00	0,10
		SIKAFLEX 11FC PUFORM BLANCO CONCRETO	20,00	0,10
		FOCO DICROICO LED 5W MR16 3000K 100-240V SYLVANIA EX	2,45	0,06
		FOCO TOLEDO LED ALTA POTENCIA 40W 6500K E27 120/240V SY EX	3,08	0,41
9	Cliente AH	DISCO CORTE ACERO INOX BNA12 7"x1/16"x7/8" PLANO NORTON	30,53	0,30
		LIJA DISCO HIERRO F227 #80 D 115 X22 NORTON	7,00	0,10
		LIJA DISCO HIERRO F227 #120 180X22cm NORTON	6,60	0,10
		DISCO DESBASTE METAL ZIRCONIO FLAP DISC EVOLUTI #120 115x22	343,00	0,30
		LIJA DISCO A 275 VELCRO P/MAD C/HUECO #400 NORTON	2,30	0,01
10	Cliente AM	TUBO PVC DESAGUE 75mmx3m TB PLASTIDOR	63,75	2,97
		TUBO PVC DESAGUE 160mmx3m TB PLASTIDOR	218,80	3,23
		TUBO PVC CONDUIT 1 1/4" 40mm 3m PESADO PLASTIDOR	18,98	0,59
		TUBO PVC CONDUIT 3/4" 3m PESADO PLASTIDOR	18,75	0,43
		TUBO PVC CONDUIT 1" 3m PESADO PLASTIDOR	15,81	0,46
		SIFON PVC DESAGUE 50mm PLASTIDOR	82,38	0,15
		CAJA PVC OCTOGONAL PLASTIDOR	76,00	0,49
		PILA AAA X2 BLISTER 1.5V MAX ALCALINA ENERGIZER	7,00	0,30
11	Cliente AI	LIJA P/MAD R244 GR #80 ROLLOS DE 25 MTS	3,40	0,01
		CODO PVC CONDUIT 1/2"x90° PLASTIDOR	3,90	0,60
		CODO PVC CONDUIT 3/4"x90° PLASTIDOR	2,00	0,30
		CODO PVC CONDUIT 1 1/4"x90° PLASTIDOR	9,00	0,22
		TEE PVC DESAGUE 50mm CC PLASTIDOR	52,20	0,12
12	Cliente AD	REDUCTOR PP 32mmx25mm TERMOFUSION IMP	9,00	0,30
		TEE PP 63mm TERMOFUSION IMP	3,00	0,30
		UNION PP 25mm HH TERMOFUSION IMP	3,00	0,30
		ADAPTADOR PP 25mmx3/4" M INSERTO METALICO TERMOF IMP	1,90	0,30
		CODO PVC DESAGUE 110mmx45° EC IMP	5,76	0,67
13	Cliente K	AUTOMATICO BOMBA PRESION 20-40 PSI PEDROLLO	3,64	0,07
		PEGA LLAMA ROJA 125cc	2,05	0,30
		CINTA AISLANTE 3M 20YD NEGRO	2,34	0,30
		ALAMBRE GALVANIZADO #18 ROLLO 20kg	20,00	0,17
		LIJA AGUA #80 FANDELLI	3,40	0,02
		LIJA AGUA #6-180 FANDELLI	2,40	0,02
		LIJA AGUA #5-220 FANDELLI	1,40	0,02
		LIJA AGUA #4-240 FANDELLI	4,00	0,02
14	Cliente S	DESAGUE SIFON 1 1/2" PVC ACORDEON BLANCO AMERIC HOME	4,00	0,11
		ADAPTADOR MACHO PVC 20mmx1/2" LISO ROSCA IMP PN10	1,30	0,30
		POLILIMPIA 1000cc	4,00	0,30
		SIFON PVC DESAGUE 50mm PLASTIGAMA *	2,60	0,15
15	Cliente T	KALIPEGA 125cc	834,00	4,30
		KALIPEGA 250cc	90,85	1,30
		KALIPEGA 946cc	2,57	0,30
		TAPON HEMBRA PVC DESAGUE 110mm PLASTIGAMA	33,40	0,10
		TAPON HEMBRA PVC DESAGUE 50mm PLASTIGAMA	2,03	0,00
		TAPON HEMBRA PVC DESAGUE 75mm PLASTIGAMA	8,00	0,00
		TAPON MACHO POLIPROP ROSCABLE 1/2" PLASTIGAMA *	8,00	0,00
Total			3429,13	30,86

Vehículo asignado: GQD-439				
Orden de visita	Nombre de cliente	SKU / Producto	Peso (kg)	Volumen (m³)
1	Cliente M	CAJA PVC RECTANGULAR 4"x2" PLASTIGAMA 1005624	6,36	0,32
		BAJANTE PVC 3m PARA CANAL DECORATIVO PLASTIGAMA	1,00	0,30
		CANAL DECORATIVO PVC 3m PLASTIGAMA	1,00	0,30
2	Cliente A	VALVULA ESFERICA PVC LISO 1/2" COMPACTA CH	35,20	0,50
		DISCO FLAP DESBASTE R828 #40 ORIGINAL 115x22 P/ACERO NORTO	15,24	0,17
		DISCO FLAP DESBASTE R828 #80 ORIGINAL 115x22 P/ACERO NORTON	41,14	0,50
		TUBO GALVANIZADO 1"x6m ISO 2 ESPESOR 2.60mm	227,40	0,61
3	Cliente D	LLAVE MANGUERA ESFERICA 1/2" CROMADA SK	30,00	0,10
		PERNOS AJUSTE PVC TANQUE TAZA	40,00	0,10
		UNION BRONCE 1/2" PARA MANGUER JARDIN 3PZ IMP CH	30,00	0,10
		VALVULA ESFERICA BR 1/2" PASO TOTAL SK	17,40	0,23
		VALVULA ESFERICA BR 1" PASO TOTAL SK	16,45	0,25
		VALVULA ESFERICA BR 1 1/2" PASO TOTAL SK	12,00	0,25
		VALVULA ESFERICA BR 2" PASO TOTAL SK	22,00	0,25
		VALVULA ESFERICA BR 3" PASO TOTAL SK	23,00	0,40
4	Cliente C	BUSHING ACERO INOXIDABLE 1/2" A 1/4"	5,00	0,10
		SIKA SELLADOR 5kg TC/10M	100,00	0,99
		SIKAFILL-5 EXPERTO BLANCO 900 mlIMPERMEABILIZANTE TECHOS	18,50	0,30
		TUBO PVC DESAGUE 160mmx3m TB PLASTIGAMA	30,34	2,41
5	Cliente B	CODO PVC CONDUIT 1/2"x90° TERMOF. PLASTIGAMA	59,80	0,41
		TUBO PP ROSCABLE 1 1/2"x6m PLASTIGAMA	108,59	1,44
		TUBO PVC DESAGUE 110mmx3m TB PLASTIGAMA	70,66	2,70
6	Cliente E	CERRADURA POMO DORMITORIO BOLTON BR. ANTIGUO FANAL	6,13	0,27
		TAPON MACHO GALVANIZADO 3/4"	2,00	0,00
		PEGA LLAMA ROJA 125cc	5,00	0,30
		PEGA PVC 120cc PEGATUBO ADHEPLAST	4,00	0,20
		ABRAZADERA O GRAPHA METALICA 1/2" EMT P/TUBO	18,00	0,40
		ABRAZADERA O GRAPHA METALICA 3/4" EMT P/TUBO	16,00	0,50
		ALAMBRE GALVANIZADO #18 ROLLO 20kg	20,00	0,17
		CABO PP 5/16" 8MM C/R17K-C/K33.20 RE 850KG FOR E	5,00	0,20
		PLASTICO NEGRO DOBLE 2.0m ANCHO C/KILO ROLLO APROX 45KI	528,50	2,00
		CODO POLIP. ROSC. 1/2" x 90° PLASTIGAMA	6,00	0,40
		TEE POLIPROP ROSCABLE 1/2" PLASTIGAMA	11,20	0,10
		TEE REDUCTORA PVC DESAGUE 110mm A 75mm CC PLASTIGAMA	6,00	0,07
		TEE PVC DESAGUE 110mm CC PLASTIGAMA *	5,40	1,00
		TUBO PVC PRESION 25mmx6mx1.25 Mpa EC PLASTIGAMA	20,88	0,71
		TUBO PVC DESAGUE 110mmx3m TB PLASTIGAMA	17,67	1,43
		TUBO PVC DESAGUE 50mmx3m TB PLASTIGAMA	31,58	1,47
		TUBO PVC DESAGUE 75mmx3m TB PLASTIGAMA	22,48	1,33
		CONECTOR PVC CONDUIT 1/2" CONDUFLEX PLASTIGAMA	5,00	0,10
		UNION POLIPROP ROSCABLE 1/2" PLASTIGAMA IMP *	10,00	0,15
		TUBO PVC CONDUIT 1/2" 3m PESADO PLASTIGAMA	15,24	0,23
		NEPLO POLIP. ROSC. 1/2" x15cm PLASTIGAMA	11,00	0,10
		UNION UNIVERSAL POLIPROP ROSC 3/4" PLASTIGAMA	13,50	0,10
		BONDEX STANDARD CERAMICA 25 KG. INTACO	200,00	0,80
		INTERRUPTOR SENCILLO EMP 15A-120V MF COOPER REF. 1301V	25,00	0,40
		Total	1916,66	25,13

Vehículo asignado: GSW-4655				
Orden de visita	Nombre de cliente	SKU / Producto	Peso (kg)	Volumen (m³)
1	Cliente Q	CODO PVC DESAGUE 110mmx90° EC PLASTIGAMA	5,15	0,37
		CODO PVC DESAGUE 50mmx90° EC PLASTIGAMA *	9,60	0,39
		NEPLO TUERCA POLIPROP ROSCABLE 1" PLASTIGAMA	4,00	0,30
		NEPLO POLIPROP ROSCABLE 1" x10cm PLASTIGAMA	25,40	0,30
2	Cliente O	CODO POLIP. ROSC. 1/2" X 45° PLASTIGAMA	4,00	0,30
		CODO POLIP. ROSC. 1/2" x 90° PLASTIGAMA	3,20	0,12
		CODO POLIP. ROSC. 3/4" x 45° PLASTIGAMA	4,00	0,30
3	Cliente P	CODO REDUCTOR POLIPROP ROSC 3/4" A 1/2" PLASTIGAMA	4,00	0,30
		CODO POLIP. ROSC. 1 1/4"x 90° PLASTIGAMA	4,00	0,30
		CODO FLEX 1/2"x90° PLASTIGAMA	4,00	0,30
		CODO POLIPROP ROSCABLE 1"x90° PLASTIGAMA	1,71	0,06
		CODO PVC DESAGUE 110mmx45° EC PLASTIGAMA *	12,30	0,10
		CODO PVC DESAGUE 50mmx45° CC PLASTIGAMA	23,60	0,06
		CODO PVC DESAGUE 50mmx45° EC PLASTIGAMA	2,79	0,16
		CODO PVC DESAGUE 75mmx45° EC PLASTIGAMA	4,00	0,30
		CODO REDUCTOR PVC DESAGUE 110mm A 50mm PLASTIGAMA (RAMAL)	6,09	0,60
4	Cliente L	CODO PVC PRESION 50mmx45° CC IMP PN10	4,65	0,27
		REDUCTOR PVC DESAGUE 160mm A 110mm TERMOFORMADO	3,60	0,23
		TAPON HEMBRA PVC PRESION 50mm IMP PN10	4,60	0,00
		TEE PVC PRESION 40mm CC IMP PN10	4,90	0,21
5	Cliente R	NEPLO TUERCA POLIPROP ROSC 1/2" PLASTIGAMA *	4,00	0,30
		NEPLO POLIP. ROSC. 1/2" x 10cm PLASTIGAMA	2,20	0,30
		REJILLA PVC DESAGUE 110mm PLASTIGAMA	2,73	0,06
		REDUCTOR PVC DESAGUE 110mm A 75mm PLASTIGAMA	3,48	0,31
6	Cliente G	CERRADURA POMO BAÑO NE MAT BOLTON TUB BLISTER	10,30	0,20
		CERRADURA POMO DORMITORIO BOLTON BR. ANTIGUO FANAL	11,70	0,20
		CERRADURA POMO DORMITORIO BOLT AC INOX FANAL	3,16	0,14
		CERRADURA MANIJA DORMITORIO CANNES 5 NIQ. SATNADO FANAL	4,30	0,05
		CERROJO CILINDRO SENCILLO 32D AC.INOXIDABLE FANAL 90470-003	3,40	0,30
		CERRADURA SOBREPONER DER 50mm 5 PINES BEIGE	10,40	0,30
		CERRADURA SOBREPONER DER 50mm 5 PINES GRIS	8,30	0,30
		DISCO CORTE ACERO INOX BNA12 4 1/2"x1/16"x7/8" PLANO NORTON	6,00	0,30
		DISCO FLAP DESBASTE R801 #60 CLASSIC 115x22 P/ACERO NORTO	6,40	0,08
		TEE PVC DESAGUE 75mm CC PLASTIDOR	23,30	0,09
		YEE PVC DESAGUE 75mm CC PLASTIDOR	22,20	0,10
		REDUCTOR PVC DESAGUE 75mm A 50mm PLASTIDOR	5,30	0,30
		CODO PVC DESAGUE 75mmx90° PLASTIDOR	22,10	0,10
		REDUCTOR PVC DESAGUE 110mm A 75mm PLASTIDOR	25,40	0,09
7	Cliente H	CODO PVC DESAGUE 110mmx90° PLASTIDOR	3,93	0,39
		SIFON PVC DESAGUE 75mm PLASTIDOR	25,40	0,12
		SIKACERAM STANDARD 25kg TC/4M	50,00	0,20
		SIKA PLASTOCRETE DM 2kg IMPERMEABILIZANTE HORMIGON	620,00	1,08
		SIKA PLASTOCRETE DM 10kg IMPERMEABILIZANTE HORMIGON	635,00	1,02
		SIKATOP EMPASTE EXTERIOR 20kg BLANCO C/RESINA TC/04M(5%)	300,00	0,60
		SIKA MONOTOP EMPASTE INTERIOR 20kg MAY (5%)	160,00	0,60
		SIKA EMPASTE PROFESIONAL BLANCO 20kg TC/6M (5%)	200,00	0,94
		SIKACRYL PREMIUM BLANCO 1.5kg MASILLA P/PAREDES TC/6M	7,50	0,08
		SIKA PLASTOCRETE DM 4kg IMPERMEABILIZANTE HORMIGON	16,00	0,24
		CODO PVC DESAGUE 200mmx45° EC PLASTIGAMA	34,72	0,33
		CODO REDUCTOR PVC DESAGUE 110mm A 50mm PLASTIGAMA (RAMAL)	13,00	0,16
		CODO PVC DESAGUE 110mmx90° EC PLASTIGAMA	12,06	0,15
		CODO PVC DESAGUE 50mmx90° EC PLASTIGAMA *	12,00	0,07
8	Cliente F	NEPLO TUERCA POLIPROP ROSC 1/2" PLASTIGAMA *	5,00	0,11
		TALADRO PERCUTOR IN 1/2" 400IUW 34000IPM 20V CF LION KIT CRF	3,20	0,10
		SIERRA CALADORA IN 20V CRF MAX 2500 RPM 3 POSICIONES CRF	18,00	0,18
		PISTOLA CALOR 1500W 50-650°C ?L/MIN 12.5A 120V CRF	2,45	0,17
		SIERRA CIRCULAR 7 1/4" 1800W 15A 120V CRF	10,04	0,44
		SIERRA CALADORA 720W 3200 CPM 6A TIPO T 120V CRF	45,20	0,09
		CAJA HERRAMIENTAS 26" 66cm 66cmX28cmX30cm RESINA PRO CRF	51,20	0,60
		DISCO CAUCHO RESPALDO 4 1/2" 5/8" FLEXIBLE CON TUERCA DW	323,00	0,39
		DISCO CAUCHO RESPALDO 7" 5/8" SEMI RIGIDO CON TUERCA DW	110,00	0,40
		PUNTAS DESTORNILLADOR PH1X1" 2 UN BLI MAG IMPACTO CR DW	83,20	0,40
		BROCA ESCALONADA METAL TITANIO 1/8"-1/2" HEX 1/4" IMPACT DW	90,25	0,40
		LLAVE DE PASO 1/2" ALTA CUERPO BR MANIJA CRUZ CR FV	13,68	0,10
		ADAPTADOR HEMBRA PVC 1/2" LISO ROSCA IMP	20,00	0,10
		CODO PVC LISO 1/2"x90° IMP PN10	12,30	0,10
		CODO PVC LISO 3/4"x90° IMP PN10	30,20	0,10
		TEE PVC LISO 1/2" IMP PN10	28,30	0,20
		TEE PVC LISO 3/4" IMP PN10	40,20	0,20
		CODO PVC DESAGUE 200mmx45° EC IMP	48,52	0,62
		TEE PVC DESAGUE 110mm EC IMP	20,30	0,20
9	Cliente I	UNION PVC DESAGUE 110mm CC. IMP	174,70	2,41
		SIKA BOOM M ESPUMA EXPANSIVA POLIURETANO 300ML TC/12M	1,86	0,01
		SIKA SELLADOR 5kg TC/10M	320,00	1,26
		SIKA BOOM M ESPUMA EXPANSIVA DE POLIURETANO 750ML 1/AÑO	40,00	0,26
		SIKATOP 77 4KG EXPERTO P/MORTEROS TC/6M	35,00	1,26
		SIKATOP 144 EXPERTO BLANCO 5kg IMPERMEABILIZANTE CISTERNA(5%)	300,00	1,22
		SIKATOP 77 1KG EXPERTO P/MORTEROS TC/6M	20,00	0,30
		SIKA ANTISOL BL 4KG EXP. CON. CURADOR GRIETAS HORMIGON	120,00	0,60
		SIKA PLASTOCRETE 161 HE 4KG EXPERTO ADITIVO P/HORMIGON	200,00	0,90
		SIKA PLASTOCRETE 161 HE 2KG EXPERTO ADITIVO P/HORMIGON	150,00	0,70
		SIKAFILL-S EXPERTO BLANCO 3538 ml	7,40	0,30
		FOCO TOLEDO LED ALTA POTENCIA 30W 6500K E27 100-240V SYLV EX	2,00	0,09
		FOCO TOLEDO LED ALTA POTENCIA 40W 6500K E27 120/240V SY EX	2,46	0,24
		FOCO LED NEVERA O REFRIGERADOR 5W 6500K E27 SYLVANIA EX	2,00	0,30
10	Cliente J	FOCO LED A60 9W E27 6500K 100-240V SYLVANIA	23,50	0,11
		PANEL TERMOPLASTICO 3SERVICIO TIBRA BTICINO	29,20	2,14
		INTERRUPTOR SENCILLO 15A W2KIS MARFIL LUZICA BTICINO	4,00	0,16
		INTERRUPTOR 3VIAS 15A LUZICA MARFIL BTICINO	4,00	0,30
		INTERRUPTOR 15A+TOMACORRIENTE 2P+T MF LUZICA BTICINO	4,00	0,30
		PALA CUADRADA RECTA 24CM MANGO MAD MANIJA ABS C/APOYA PIE TRA	8,00	0,20
		Total	4803,03	32,43

Vehículo asignado: GSW-4656				
Orden de visita	Nombre de cliente	SKU / Producto	Peso (kg)	Volumen (m³)
1	Cliente V	TUBO PP 63mmx6m TERMOFUSION PLASTIG.	88,71	4,68
		TUBO PVC DESAGUE 110mmx3m TB PLASTIGAMA	77,73	3,27
		TUBO PVC DESAGUE 160mmx3m TB PLASTIGAMA	60,09	2,22
		TUBO PVC DESAGUE 50mmx3m TB PLASTIGAMA	108,61	6,06
		TUBO PVC DESAGUE 75mmx3m TB PLASTIGAMA	67,44	1,97
		UNION POLIPROP ROSCABLE 2" PLASTIGAMA IMP	28,34	0,70
		UNION FLEX 1/2" PLASTIGAMA	18,00	0,36
		UNION POLIPROP ROSCABLE 3/4" PLASTIGAMA IMP	34,95	0,35
		UNION POLIPROP ROSCABLE 1" PLASTIGAMA	48,30	0,30
2	Cliente U	TEE FLEX 1/2" PLASTIGAMA	8,00	0,30
		TEE POLIPROP ROSCABLE 1/2" PLASTIGAMA	5,40	0,18
		TEE PVC DESAGUE 50mm CC PLASTIGAMA	1,98	0,14
		TUBO PVC PRESION 50mmx6mx1.00 Mpa EC PLASTIGAMA	128,45	3,89
		TUBO PVC PRESION 90mmx6mx1.00 Mpa EC PLASTIGAMA	34,55	1,53
		TUBO PVC ROSCABLE 1/2"x6m PLASTIGAMA	104,86	0,44
		TUBO PP ROSCABLE 1/2"x6m PLASTIGAMA	12,20	0,08
		TUBO PP ROSCABLE 3/4"x6m PLASTIGAMA	3,58	0,30
		Total	831,19	26,76

Anexo 2.

Lista de clientes de la semana de análisis (11 al 15 de agosto)

Nº	Nombre Cliente	Latitud.	Longitud.
1	Cliente A	-1,20629	-80,37194
2	Cliente B	-0,59105	-80,408558
3	Cliente C	-0,604164	-80,423566
4	Cliente D	-0,625598	-80,42506
5	Cliente E	-0,695426	-80,094913
6	Cliente F	-2,2286	-80,9092
7	Cliente G	-1,82952	-80,75083
8	Cliente H	-2,228472	-80,909015
9	Cliente I	-2,22868	-80,907497
10	Cliente J	2,3270376	-80,854766
11	Cliente K	2,1589301	-79,82617
12	Cliente L	-1,80819	-79,53502
13	Cliente M	2,1003032	-79,928276
14	Cliente N	-2,67618	-79,61904
15	Cliente O	2,1584501	-79,824948
16	Cliente P	-2,1689	-79,802812
17	Cliente Q	2,1498687	-79,829125
18	Cliente R	-1,799904	-79,534146
19	Cliente S	-2,143865	-79,885788
20	Cliente T	-2,18868	-79,914714
21	Cliente U	-2,19248	-79,88776
22	Cliente V	-2,179853	-79,854838

		-	
23	Cliente W	0,5722291	-79,369458
24	Cliente X	-0,26602	-79,19683
		-	
25	Cliente Y	0,2563886	-79,165672
26	Cliente Z	-0,25496	-79,16732
27	Cliente AA	-0,298709	-79,220901
28	Cliente AB	-0,26324	-79,20229
		-	
29	Cliente AC	0,2701631	-79,195937
30	Cliente AD	-3,061894	-79,747204
		-	
31	Cliente AE	3,0627396	-79,744531
32	Cliente AF	-3,240389	-79,837504
		-	
33	Cliente AG	3,2731436	-79,928772
34	Cliente AH	-3,447915	-79,961402
35	Cliente AI	-3,326299	-79,805913
36	Cliente AJ	-3,256462	-79,958848
		-	
37	Cliente AK	3,2725242	-79,929689
		-	
38	Cliente AL	3,2657618	-79,953695
39	Cliente AM	-3,33226	-79,802989
40	Cliente AN	-3,4821	-80,2093
41	Cliente AO	-1,353161	-80,582651
42	Cliente AP	-0,981427	-80,690978
43	Cliente AQ	-0,960897	-80,709402
44	Cliente AR	-0,924621	-80,451205
45	Cliente AS	-0,947406	-80,639321
		-	
46	Cliente AT	0,9223275	-80,450758
47	Cliente AU	-0,83896	-80,488792
		-	
48	Cliente AV	0,9267975	-80,450065
		-	
49	Cliente AW	0,9180826	-80,453159
50	Cliente AX	-0,96093	-80,63841
		-	
51	Cliente AY	2,3264014	-80,890197
52	Cliente AZ	-2,23043	-80,92164
53	Cliente BA	-2,231269	-80,90792
54	Cliente BB	-2,140892	-79,927063
55	Cliente BC	-2,124013	-79,90584
56	Cliente BD	-2,178586	-79,81053
		-	
57	Cliente BE	2,1947632	-79,904314
58	Cliente BF	-1,798493	-79,530459
59	Cliente BG	-2,200825	-79,933843
60	Cliente BH	-2,440789	-79,327231

61	Cliente BI	0,9414581	-79,230097
62	Cliente BJ	0,9523689	-79,349965
63	Cliente BK	0,9422668	-79,22258
64	Cliente BL	0,9413806	-79,225368
65	Cliente BM	0,9417888	-79,225549
66	Cliente BN	-0,94095	-79,2251
67	Cliente BO	-1,10811	-79,26719
68	Cliente BP	-1,11888	-79,16439
69	Cliente BQ	-1,23417	-79,23904
70	Cliente BR	-1,05724	-79,48695
71	Cliente BS	-1,02244	-79,4608
72	Cliente BT	-1,026366	-79,467148
73	Cliente BU	2,1943584	-79,913875
74	Cliente BV	-2,16898	-79,803247
75	Cliente BW	-1,797046	-79,530795
76	Cliente BX	2,6739891	-79,619274
77	Cliente BY	2,1743608	-79,829568
78	Cliente BZ	-2,120639	-79,911831
79	Cliente CA	-2,068422	-79,920558
80	Cliente CB	-2,08999	-79,89471
81	Cliente CC	-2,077895	-80,01404
82	Cliente CD	-2,13831	-79,90134
83	Cliente CE	2,1850426	-79,852757
84	Cliente CF	1,8047912	-79,536528
85	Cliente CG	-2,05384	-79,931737
86	Cliente CH	-2,15642	-79,839184
87	Cliente CI	2,1851568	-79,85125
88	Cliente CJ	3,4495015	-79,958614
89	Cliente CK	-3,061894	-79,747204
90	Cliente CL	-3,260876	-79,959691
91	Cliente CM	3,0612256	-79,745877
92	Cliente CN	3,2584131	-79,946479
93	Cliente CO	3,7843493	-79,912056
94	Cliente CP	3,2553793	-79,960111
95	Cliente CQ	-2,222728	-80,857183

96	Cliente CR	-2,22856	-80,907991
97	Cliente CS	-2,227641	-80,914819
		-	
98	Cliente CT	2,2290442	-80,907173
		-	
99	Cliente CU	2,3144385	-80,889131
100	Cliente CV	-2,228478	-80,90953
101	Cliente CW	-2,14263	-80,77484
102	Cliente CX	-2,40023	-80,68224
		-	
103	Cliente CY	2,2299937	-80,862168
		-	
104	Cliente CZ	2,2240443	-80,909756
105	Cliente DA	-2,227136	-80,915498
106	Cliente DB	-2,20367	-79,889376
107	Cliente DC	-2,158622	-79,838969
108	Cliente DD	-2,096988	-79,694268
109	Cliente DE	-2,196092	-79,890471
110	Cliente DF	-2,126764	-79,584294
111	Cliente DG	-2,157554	-79,93645
		-	
112	Cliente DH	2,1263509	-79,899219
		-	
113	Cliente DI	2,2102089	-79,889051
		-	
114	Cliente DJ	2,1400368	-79,925064
		-	
115	Cliente DK	2,1699032	-79,848849
116	Cliente DL	-1,041921	-79,639179
		-	
117	Cliente DM	1,1828753	-79,511639
		-	
118	Cliente DN	1,1155057	-79,43396
		-	
119	Cliente DO	0,9414581	-79,230097
120	Cliente DP	-1,041553	-79,641517
121	Cliente DQ	-1,353161	-80,582651
122	Cliente DR	-0,981427	-80,690978
123	Cliente DS	-0,960897	-80,709402
124	Cliente DT	-0,924621	-80,451205
125	Cliente DU	-0,191369	-78,494157
126	Cliente DV	0,226671	-79,382399
127	Cliente DW	-0,35509	-78,54925
128	Cliente DX	-1,115413	-79,435863
		-	
129	Cliente DY	1,0376674	-79,474034
130	Cliente DZ	-0,233768	-79,168205
131	Cliente EA	-0,234383	-79,171769
132	Cliente EB	0,251855	-79,1728
133	Cliente EC	0,26321	-79,4716

134	Cliente ED	-0,252018	-79,169772
135	Cliente EE	-0,2887	-79,20683
136	Cliente EF	-0,24461	-79,34797
137	Cliente EG	-0,236	-79,318208
138	Cliente EH	-0,25496	-79,16732
		-	
139	Cliente EI	0,2563886	-79,165672
140	Cliente EJ	0,02283	-78,88447
141	Cliente EK	0,579855	-79,37243
142	Cliente EL	0,00156	-79,3961
		-	
143	Cliente EM	2,1943584	-79,913875
144	Cliente EN	-2,16898	-79,803247
145	Cliente EO	-2,068422	-79,920558
146	Cliente EP	-2,08999	-79,89471
147	Cliente EQ	-2,077895	-80,01404
148	Cliente ER	-2,13831	-79,90134
		-	
149	Cliente ES	2,1850426	-79,852757
150	Cliente ET	-2,05384	-79,931737
151	Cliente EU	-2,15642	-79,839184
		-	
152	Cliente EV	2,1851568	-79,85125
153	Cliente EW	-0,94095	-79,2251
		-	
154	Cliente EX	0,9413806	-79,225368
155	Cliente EY	-1,026366	-79,467148
156	Cliente EZ	-0,252018	-79,169772
157	Cliente FA	-0,255974	-79,17756
158	Cliente FB	-0,233768	-79,168205
159	Cliente FC	-0,26602	-79,19683
160	Cliente FD	-0,28111	-79,161272
		-	
161	Cliente FE	0,9422668	-79,22258
162	Cliente FF	-0,28111	-79,161272