

Diseño de rutas con VRP solver 3.0: caso de una empresa transportadora de mercancía

Hader Mauricio Carabalí Ararat
hader.carabali01@usc.edu.co

Uriel Pineda Zapata
uriel.pineda00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de ingeniería, Programa de ingeniería industrial

Resumen

Este artículo está enfocado en resolver el problema de represamiento de mercancía en una empresa dedicada a la entrega de encomiendas, localizada en el Valle del Cauca, Colombia, a partir de la optimización del proceso logístico que permita reducir los tiempos del proceso de entregas a los clientes y evitar pérdidas para la empresa. El objetivo principal de la investigación fue generar rutas adecuadas que permitieran tener entregas oportunas para los clientes. Para la realización de esta investigación se utilizó el programa de simulación VRP Solver 3.0 que ha tenido gran expansión en los últimos años para la solución de este tipo de problemas. Con el diseño de las rutas se lograría aumentar el nivel de servicio entre el 38% y un 50% esto aumentaría los ingresos para la compañía y reduciría el nivel de represamiento de la misma.

Palabras Claves: *Logística, VRP, Proceso de entregas*

Abstract

This article is focused on solving the problem of merchandise damming in a company dedicated to the delivery of parcels, located in Valle del Cauca, Colombia, from the optimization of the logistics process that allows to reduce the times of the delivery process to the customers and avoid losses for the company. The main objective of the research was to generate suitable routes that would allow timely deliveries for customers. In order to carry out this research, the VRP Solver 3.0 simulation program was used, which has undergone great expansion in recent years for the solution of this type of problem. With the design of the routes it would be possible to increase the level of service between 38% and 50%, this would increase the income for the company and reduce the level of damming of the same.

Keywords: *Logistics, VRP, Delivery Process*

1. INTRODUCCIÓN

Existen ciertos factores que en los últimos años están influyendo en el transporte de mercancía estos son la globalización, la apertura de mercados, el aumento del acceso a las tecnologías por parte de las personas y el consumo mundial, están influyendo de manera u otra, a que el comercio sea el gran motor del mundo. Es así como, el transporte de mercancías ha tomado mayor importancia en los últimos años, teniendo en consideración que este es canal que comunica a los productores con los consumidores finales.

El transporte, a su vez ha sido ampliamente abarcado a través del ruteo de vehículos; considerando restricciones asociadas a capacidad, tiempos de entrega que deben ser reducidos para atender los requerimientos de los clientes, y demás criterios implementados por las organizaciones, con el objetivo de brindar satisfacción a sus clientes (Ma, 2010).

La mayoría de la literatura que aborda este problema se centra en encontrar diferentes rutas para los vehículos, asumiendo que estos serán conducidos por un mismo conductor, este es el clásico problema reconocido del VRP a esto se suma las restricciones colaterales, que en muchos se los casos son ventanas de tiempo o recogidas y entregas. (Toth P., 2014).

El ruteo tiene como objetivo final dar solución a problemas de transporte (rutas) para vehículos con restricciones en capacidad, actualmente es uno de los problemas más estudiados debió al auge en la demanda en el transporte de mercancía (Moreno, 2014).

Así pues la planeación de rutas es un concepto fundamental en el transporte de mercancía y por ende en las empresas que transportan estas mercancías. Por lo cual este concepto es muy importante ya que la planeación de rutas permite a las compañías minimizar sus costos por concepto de disminución en el desgaste de vehículos, consumo de combustible, Mejores rutas de entrega y esto conlleva a entregas a tiempos que permiten una satisfacción de los clientes.

Las empresas gastan mucho tiempo y dinero en mejorar sus sistemas logísticos con el fin de mejorar su relación con los clientes y tener mayores beneficios (Ballou R. H., 2004).

Con la planeación de rutas es la posibilidad de seleccionar cual modo de transporte se puede utilizar, la cantidad a enviar y muy importante establecerlas rutas, así como la programación de estas.

Por su parte (Stadtler, 2008) afirma que el establecimiento de las rutas para la distribución o recogida de bienes, constituyen la parte central de la toma de decisiones operativas de la gestión logística de muchas empresas.

En los problemas de planificación de rutas se puede tener en cuenta el objetivo de minimizar los costes asociados a la menor duración de la ruta, al deterioro o pérdida de calidad de los bienes, producido por el tiempo acumulado durante la misma y al cumplimiento de ventanas de tiempo de servicio estrictas en las entregas que cubren las demandas de los clientes (Bao J, 2010).

Para la planeación de rutas es utilizado el modelo VRP (Vehicle Routing Problem por sus siglas en inglés). Los objetivos que busca este modelo son la obtención de un menor costo asociado a transporte, recorriendo la menor distancia, utilizando un menor tiempo de distribución, entre otras diferentes variables, sujetas a los requerimientos de las organizaciones o los casos objeto estudio (Rocha Medina, 2011). También tienen en cuenta para definir las rutas a los clientes, los vehículos, los depósitos, las restricciones y los objetivos, en donde el cliente. Cuenta con una demanda establecida que necesita ser satisfecha por la flota de vehículos, la cual parte y debe regresar al depósito (Pino, 2011).

Es importante mencionar que el VRP clásico se plantea obtener el mejor conjunto de rutas, que comiencen y terminen en un deposito o nodos para una flota de vehículos con características idénticas y en la cual los clientes sean visitados solo una vez, los arcos de estos nodos pueden estar representados en distancias o costos de transporte de llevar la mercancía del depósito a los diferentes clientes. (Laporte, 2009)

En otro estudio se menciona que para abordar el despacho en una empresa se tiene que hablar primero de distribución física de mercancía. Además, afirman que, con respecto al servicio al cliente, existen factores importantes que dificultan directamente a la función de distribución física en las empresas. Estos aspectos son por ejemplo la frecuencia de despachos, la información sobre disponibilidad de inventarios y las fechas de despachos programadas, entre otros aspectos señalados en dicho estudio. (Innis, 1994)

No obstante debido a la complejidad de las diferentes variaciones del VRP, este ha sido ampliamente estudiado ya desde la parte computacional más exactamente la simulación debido a la a la cada vez más alta complejidad de los problemas logísticos que se presentan en la actualidad.

Morosini afirma que la programación adecuada e integrada de las operaciones de producción, transporte de inventarios y distribución puede apoyar el surgimiento de cadenas de suministros adaptables, ágiles y resistentes, esto conlleva a enfoques de optimización, simulación o híbridos, que llevan a ser objetivos estratégicos fundamentales de las organizaciones para garantizar costos competitivos y nivel de servicio adecuado en la cadena de suministro (Morosini, 2016).

La simulación en la logística considera aspectos importantes que pueden llevar a ventajas competitivas de las organizaciones como lo son reducción de viajes de vehículos, reducción de tiempos y por ende reducción de costos totales y estos aspectos no solo pueden ser considerados por las organizaciones, sino también en las grandes metrópolis en las cuales la simulación juega un papel fundamental debido a la complejidad de las misma, esto puede ayudar al mejoramiento de la movilidad (Leise, 2014).

Las aplicaciones de software de planificación y optimización de rutas de transporte están siendo actualmente usadas por un número limitado de compañías, estas tecnologías suelen ser bastante efectivas para el mejoramiento del recurso de transportes.

Entre los beneficios de estas tecnologías podemos encontrar la reducción del tiempo de trayecto de los viajes, kilometraje del vehículo, mejoramiento de entregas a los clientes y esto se traduce en un control y mejor servicio al cliente. (Mora García, 2014).

El VRP Spreadsheet Solver ha sido utilizado en la práctica en multiplex organizaciones de distintos sectores a nivel mundial algunas de estas organizaciones que presentaron retroalimentación incluyen dos empresas estadounidenses en la industria petrolera, una empresa en argentina en la industria agrícola, una empresa finlandesa en el sector del turismo y dos cadenas de entrega de alimentos refrigerados en Taiwán y Turquía, todas estas aplicaciones en estas empresas representaron ahorros significativos por concepto de utilidad, ahorro de viajes, entre otros. Todos estos estudios y el gran reconocimiento que tiene esta hoja de Excel se debe a que está puede resolver más de 64 variantes del VRP, incluyendo características esenciales para resolver esta variantes como lo son las visitas selectivas a los clientes, las recolecciones y entregas simultaneas, ventanas de tiempo, composición de flota, restricción de distancias y el destino final de los vehículos. (Erdoğan, 2017)

Los restos a los que se enfrentan los planificadores manuales de rutas tienen que ver con la complejidad de las variables que se deben considerar como por ejemplo leyes de la ciudad, variación de volúmenes y pesos, tiempos de entregas, clientes esparcidos por una gran zona geográfica, diferentes características de los vehículos, sobre estas condiciones será casi imposible que se pueda realizar la planificación de rutas de forma manual.

Metiéndonos en el VRP asociado al servicio al cliente bastidas presenta algunas conclusiones con respecto a la atención a clientes y se afirma que la variabilidad de la demanda de los clientes, la flexibilidad limitada en las plantas de manufactura, los largos tiempos de respuesta a las órdenes de clientes y la poca coordinación general entre los eslabones de la cadena de suministros, hace casi inevitable la existencia de altos inventarios tanto en los centros de distribución como en las instalaciones del cliente. Se anota además que los centros de distribución desean llegar a realizar despachos “justo a tiempo” pero que esto viene a imposibilitarse por falta de coordinación en los sistemas de información y planificación. (Bastidas, 2009)

Los sistemas deben verificar la capacidad que cuentan para satisfacer las necesidad del cliente, estos aspectos tales como disponibilidad de vehículos, capacidad de los mismo, números de restricciones asociadas a un cliente o a un número de ellos, estos conceptos son claves para entender cómo funciona el VRP desde un enfoque de servicio al cliente. (Holweg, 2005)

El VRP asociado al cliente está intrínsecamente relacionado con los costos de transportar dicha mercancía algunos autores ponen gran atención en este aspecto, Dobie reconoce la complejidad actual de construir una buena estrategia de servicio, basada en un transporte eficiente, y comenta sobre la necesidad de ahorrar recursos en distribución alertando sobre la inconveniencia de centrarse sólo en el cliente y descuidar el impacto financiero de la estrategia de distribución finalmente escogida. Aquí se puede justificar por qué en muchas empresas existen recursos de distribución limitados, cuidando celosamente sus finanzas, con unos cuantos camiones, sin contar quizás con la flota "ideal" de vehículos que permitirían clientes "totalmente satisfechos". (Dobie, 2005).

A pesar de que el costo de transporte suele ser representativo respecto a los costos logísticos totales en muchas organizaciones, en diversas ocasiones se decide mantener costos altos de transporte apoyando las labores que propendan por un buen servicio. Es por esto que a nivel gerenciales de gran importancia la puesta en marcha de planes de mejoramiento de los sistemas de transporte y distribución y el seguimiento constante al servicio al cliente desde el punto de vista de indicadores logísticos y financieros." (Aragón, 2009).

Contextualizando toda esta información podemos resaltar que en Colombia existen muchas compañías transportadoras de diferentes tipos, que prestan diferentes servicios y que, debido a la gran demanda, necesitan un sistema de distribución efectivo que les permita cumplir los requerimientos de los clientes. Pero en algunas de estas compañías, tienen falencias en la planificación en sus despachos, el poco uso de herramientas que faciliten esta labor, así como la poca implementación de indicadores en los procesos de asignación de rutas a vehículos. Así mismo, las compañías transportadoras tienen que estar a la vanguardia de las tendencias logísticas que permitan que la movilización de mercancía a menores costos.

Debido a esta situación, estas compañías transportadoras están priorizando la rapidez y la confiabilidad, buscando tener procesos más organizados, con herramientas que permitan generar mejores rutas, para así poder prestar un excelente servicio al cliente. De la misma manera, estas deben tener consideración frente al incremento nivel de servicio que es necesario para atender a tiempo las solicitudes de los clientes, basándose en parámetros como que la mercancía llegue a tiempo de forma segura y confiable, aumentando así la confianza y fidelidad entre empresa y cliente.

En este problema se abordó el diseño de rutas en un sector del centro de la ciudad de Cali para una transportadora de mercancía, zona que está presentando problemas de despacho como represamiento de la mercancía que alcanza el 20% esto quiere decir que de las 112,174TM que en promedio transporta la zona mensualmente se está quedando sin entregar 22,174TM aproximadamente lo que conlleva a un bajo servicio al cliente, altos costos de almacenamiento de la mercancía y pérdidas representada en utilidades. Para la solución del problema se partió de objetivos como analizar el proceso de entregas utilizado actualmente por la compañía, aplicar mediante un programa de simulación las mejoras que permita establecer soluciones a este problema, analizar los resultados obtenidos y proponer las rutas necesarias para la distribución de mercancía en esta zona, basado en la investigación de lo que actualmente realiza la compañía y los resultados obtenidos mediante la simulación.

Los resultados obtenidos fueron el aumento en el nivel de servicio en un 40% para el vehículo trabajando a doble jornada y un 50 % adicionándole el recurso de apoyo, con esto se atenderá un promedio de entre 16 a 20 clientes por ruta, algo muy superior a los clientes que actualmente atiende la compañía que es de 10 en promedio, con todo lo anterior se logró incrementar los ingresos adicionales para la compañía. También se logró evacuar la mercancía objeto de estudio en un total de 11 días, habiendo evacuado un 97% de esta desde la ruta 1 a la 8.

2. MÉTODOS Y MATERIALES

Para el análisis del caso se observaron los hechos que ocurrían al interior de la compañía y a través de herramientas de Gestión de Procesos, tales como: diagrama SIPOC, diagrama de Pareto se analizaron aquellos aspectos que influían en el represamiento de la mercancía. Finalmente se diseñaron las rutas a través del programa VRP SOVER 3.0, que implementa una variante de la búsqueda adaptativa de vecindarios dentro de la herramienta de solución de hojas de cálculo VRP, debido a su flexibilidad para adaptarse a muchas variantes del VRP. El algoritmo diversifica la búsqueda mediante la eliminación aleatoria de clientes de la solución en cuestión, y se intensifica mediante la reinsertión de los clientes y la búsqueda local. (Erdoğan, 2017)

Las fuentes de información utilizadas en esta investigación se pueden dividir en dos partes las fuentes primarias que fueron a través de entrevistas con el personal a cargo de la planeación de las rutas, observación directa del proceso de entrega de la mercancía y las fuentes secundarias que fueron la investigación de diferentes autores con respecto al VRP (Vehicle Routing Problem por sus siglas en inglés) y el proceso de planeación de rutas.

La información de entrada utilizada para la simulación fue el ruteo de guías en el cual se encuentra contenido nombre de cliente, dirección, método de pago, costos de entrega para el cliente, vehículo asignado y el valor declarado de la mercancía, así pues mediante esta se analizaron las frecuencias de los clientes en el mes de estudio, vehículo asignado y con las entrevistas, para conocer la capacidad del vehículo y los horarios de todo el proceso.

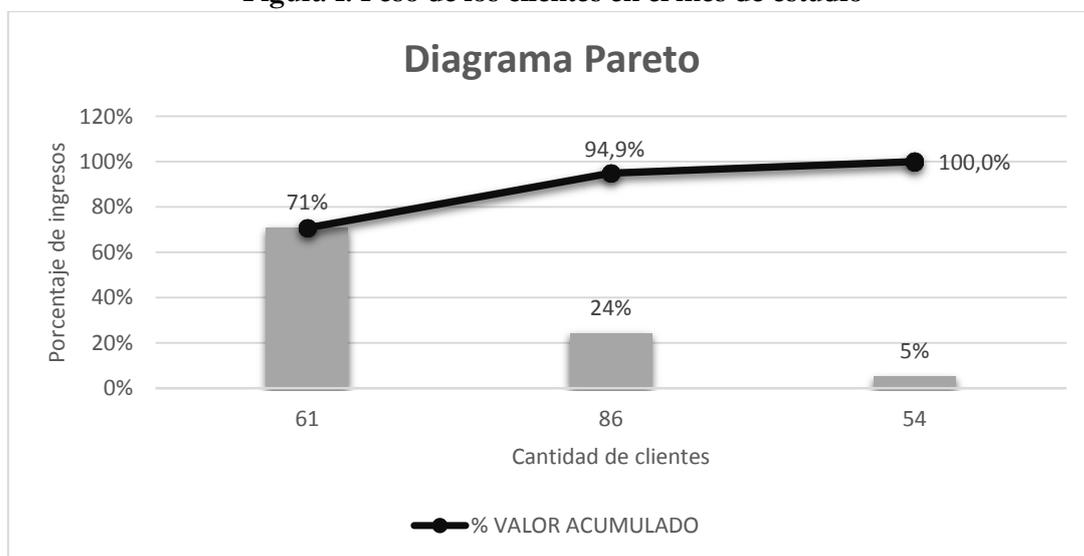
Para depurar la información requerida en la simulación se realizaron las siguientes actividades:

- Identificación de destinatarios (*frecuencia de visita*)
- Construcción de lista de clientes por ruta
- Calculo de peso promedio entregado a cada cliente
- Ubicación de cada cliente (latitud- longitud) con respecto a un origen de coordenadas
- Unificación de clientes de todas las rutas analizadas
- Capacidad del vehículo de reparto local
- Horario de trabajo
- Distancia

3. Descripción del caso

La compañía objeto de estudio en este trabajo de grado lleva cerca de 64 años en el sector de transporte de mercancía y de pasajeros. Por muchos años estuvo a la par de las grandes compañías del sector. En el último año, el nivel de servicio del sistema de distribución ha decrecido debido a una débil planeación de las rutas asignadas a los vehículos de distribución. Esta situación, entorpece el flujo de mercancías proveniente de las diferentes partes del país, haciendo que el sistema de entrega no sea eficiente y generando represamiento de esta. Si se analiza la zona centro de la ciudad de Cali a la cual se envía el 40% de toda la mercancía de la bodega, se encuentra que el vehículo asignado para la distribución de la mercancía en la ruta “Volumen Centro”, que representa el 25 % de la mercancía entregada en este sector, y que tiene un peso promedio mensual de 107,825 TM, es insuficiente para la evacuación de la misma, teniendo que dejar aproximadamente el 20%, promedio mensual de mercancía en la bodega. Esto conlleva a incumplimientos en la entrega de la mercancía a los clientes.

Figura 1. Peso de los clientes en el mes de estudio



Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo de la investigación la empresa estudiada suministro una base de datos de 201 clientes de los cuales, mediante un diagrama de Pareto (Ver figura 1) y considerando los ingresos por venta (COP) que representa para la empresa cada cliente, se obtuvo un total de 61 clientes que representa el 70% de la utilidad de la zona. Teniendo en cuenta que de los 61 clientes aparecen 16 que se les había despachado una sola vez en el mes de estudio, se solicitó a la compañía un histórico de estos clientes que permitiera saber cuáles habían seguido con la compañía, para lo cual de los 16 clientes solo nueve continuaron. Teniendo como base esta información se decidió realizar el estudio con 52 clientes. (Ver tabla 1 y 2).

Para un mejor análisis de la información se clasifico a los clientes en dos zonas, C0001 que corresponde a los clientes que representan mayores ingresos para la compañía, y C0002 que corresponde a los clientes que representan ingresos menores.

Tabla 1. Datos Clientes C0001

C0001.Tabla de Datos									
USUARIO	CARGA/V (Kg)	VISITAS	PESO (KM)	CANTIDAD	VALOR (COP)	DIRECCION	Latitud (Y)	Longitud (X)	Distancia a O.L(km)
CLIENTE 117	1500	3	4500	132	\$ 2.940.000	Carrera 9 # 14 - 27 cali,colombia	3,4487556	-76,5283479	2,8
CLIENTE 60	797	8	6378	514	\$ 2.446.303	Carrera 8 # 14 - 44 cali,colombia	3,4499272	-76,5286869	2,6
CLIENTE 13	363	11	3992	501	\$ 1.698.696	Carrera 9 # 13A - 40 cali,colombia	3,4486349	-76,5290175	3,1
CLIENTE 25	475	4	1900	64	\$ 1.312.000	Carrera 9 # 13 - 111 cali,colombia	3,44851	-76,52968	3,1
CLIENTE 32	743	5	3715	124	\$ 1.871.256	Calle 14 # 8 - 89 cali,colombia	3,449179	-76,5287691	2,7
CLIENTE 4	494	4	1975	151	\$ 1.163.350	Carrera 7 # 13 - 107 cali,colombia	3,4506387	-76,5300749	3,3
CLIENTE 115	178	10	1780	78	\$ 1.116.000	Carrera 9 # 13 - 111 cali,colombia	3,44851	-76,52968	3,1
CLIENTE 20	301	8	2410	188	\$ 1.106.750	Carrera 2 Norte # 23 - 10 cali,colombia	3,4600384	-76,5243232	2,4
CLIENTE 14	343	6	2059	105	\$ 807.044	Carrera 9 # 11 - 32 cali,colombia	3,4481845	-76,5314805	3,0
CLIENTE 23	368	4	1470	38	\$ 784.000	Carrera 11 # 16 - 59 cali,colombia	3,4473152	-76,5260651	2,7
CLIENTE 6	393	3	1180	41	\$ 706.000	Carrera 6 # 22 - 121 cali,colombia	3,4549121	-76,5223377	1,9
CLIENTE 120	200	9	1799	93	\$ 705.660	Carrera 6A # 32 - 70 cali,colombia	3,4571833	-76,5137584	0,6
CLIENTE 19	404	4	1614	191	\$ 684.986	Calle 15 # 7 - 42 cali,colombia	3,450887	-76,5286456	2,6
CLIENTE 203	3248	1	3248	188	\$ 669.189	Carrera 9 # 13A - 28 cali,colombia	3,4486239	-76,529075	3,1
CLIENTE 11	348	3	1045	47	\$ 659.000	Calle 11 # 12 - 56 cali,colombia	3,4450177	-76,5308959	3,8
CLIENTE 17	177	3	530	18	\$ 645.000	Carrera 5 # 16 - 26 cali,colombia	3,4534114	-76,5283075	2,8
CLIENTE 42	266	5	1332	74	\$ 613.069	Calle 30 # 11B - 62 cali,colombia	3,4486923	-76,5148594	1,7
CLIENTE 41	450	3	1350	75	\$ 609.434	Carrera 9 # 13 - 48 cali,colombia	3,4484969	-76,5297061	3,1
CLIENTE 18	157	7	1102	46	\$ 595.651	Calle 10 # 8 - 43 cali,colombia	3,4483662	-76,5328684	3,1
CLIENTE 56	379	4	1516	28	\$ 579.000	Carrera 9 # 14 - 03 cali,colombia	3,4487413	-76,528451	2,8
CLIENTE 186	500	1	500	89	\$ 550.000	Calle 14 # 4 - 49 cali,colombia	3,4529052	-76,5303651	2,8
CLIENTE 38	211	5	1057	37	\$ 545.300	Calle 13 # 10 - 58 cali,colombia	3,4472959	-76,5298074	3,2
CLIENTE 72	353	3	1060	38	\$ 528.000	Carrera 7 # 14 - 64 cali,colombia	3,4510782	-76,5290743	3,4
CLIENTE 46	424	4	1697	42	\$ 519.000	Calle 12 # 7 - 21 cali,colombia	3,4497751	-76,5314384	3,2
CLIENTE 76	327	2	654	12	\$ 504.000	Carrera 6 # 13 - 109 cali,colombia	3,4515101	-76,5302303	2,9
CLIENTE 84	1150	2	2300	150	\$ 1.184.200	Calle 11 # 13 - 62 cali,colombia	3,4439912	-76,5307206	3,8
TOTAL	14550	122	52163	3064	\$ 25.542.888				

Fuente: Elaboración propia

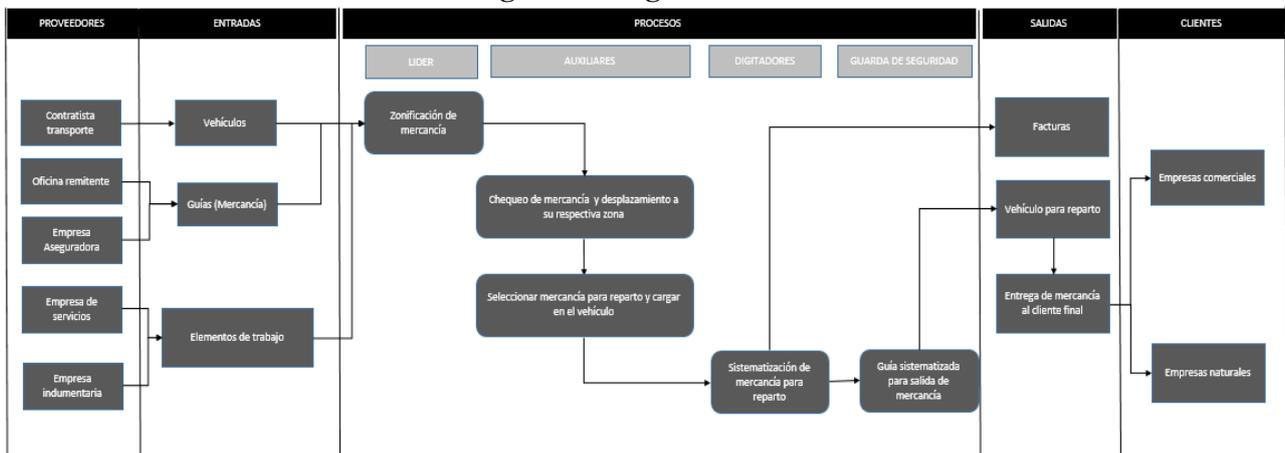
Tabla 2. Datos Clientes C0002

C0002.Tabla de datos									
USUARIO	CARGA/V (Kg)	VISITAS	PESO (KM)	CANTIDAD	VALOR (COP)	DIRECCION	Latitud (Y)	Longitud (X)	Distancia a O.L(km)
CLIENTE 90	558	2	1116	62	\$ 487.998	Carrera 6 # 14 - 61 cali,colombia	3,4518881	-76,5294478	2,8
CLIENTE 21	633	3	1900	124	\$ 970.000	Carrera 4 # 22 - 02 cali , colombia	3,4565702	-76,5240096	2,2
CLIENTE 27	455	2	910	222	\$ 469.000	Calle 14 # 5 - 20 cali,colombia	3,4522897	-76,530109	2,9
CLIENTE 110	495	2	990	55	\$ 467.812	Carrera 9 # 12 - 49 cali,colombia	3,4483253	-76,5306479	3,0
CLIENTE 105	340	3	1020	61	\$ 465.165	Carrera 9 # 11 - 04 cali,colombia	3,4481617	-76,531629	3,1
CLIENTE 129	846	1	846	47	\$ 461.023	Carrera 15 # 10 - 79 cali,colombia	3,4425633	-76,5313721	3,7
CLIENTE 152	1164	1	1164	77	\$ 455.753	Carrera 9 # 13A - 54 cali,colombia	3,4486478	-76,5289504	3,1
CLIENTE 98	336	3	1008	50	\$ 455.257	Carrera 1 # 19 - 20 cali,colombia	3,4574937	-76,527393	3,1
CLIENTE 80	300	1	300	8	\$ 455.000	Carrera 9 # 13A - 40 cali,colombia	3,4486349	-76,5290175	3,1
CLIENTE 36	300	2	600	55	\$ 447.250	Carrera 7 # 23 - 72 cali,colombia	3,4541058	-76,5209128	1,7
CLIENTE 82	168	5	839	76	\$ 418.900	Carrera 8 # 14 - 44 cali,colombia	3,4499272	-76,5286869	2,6
CLIENTE 154	850	1	850	91	\$ 396.300	Calle 13 # 7 - 54 cali,colombia	3,4499612	-76,5305962	3,2
CLIENTE 199	283	2	565	22	\$ 396.000	Carrera 8 # 13 - 130 cali,colombia	3,4496464	-76,5295363	3,7
CLIENTE 163	1240	1	1240	62	\$ 375.132	Carrera 15 # 10 - 79 cali,colombia	3,4425633	-76,5313721	2,7
CLIENTE 130	104	6	621	44	\$ 363.346	Carrera 1 # 24 - 61 cali,colombia	3,4601482	-76,5223916	2,7
CLIENTE 103	425	2	850	16	\$ 356.010	Carrera 9 # 16 - 61 cali,colombia	3,4491581	-76,5266456	2,6
CLIENTE 39	90	2	180	32	\$ 352.000	Calle 14 # 8 - 22 cali,colombia	3,4495552	-76,5289125	2,7
CLIENTE 26	176	5	880	44	\$ 351.370	Calle 12 # 6 - 54 cali,colombia	3,4503547	-76,5316219	3,1
CLIENTE 143	382	3	1146	28	\$ 351.000	Calle 12 # 7 - 21 cali,colombia	3,4497751	-76,5314384	3,2
CLIENTE 5	30	2	60	25	\$ 350.000	Calle 12 # 7 - 27 cali,colombia	3,4497465	-76,5314297	3,2
CLIENTE 142	315	2	630	35	\$ 343.588	Carrera 15 # 12 - 39 cali,colombia	3,4427433	-76,5293872	3,5
CLIENTE 156	286	5	1430	90	\$ 329.180	Carrera 9 # 11 - 04 cali,colombia	3,4481617	-76,531629	3,1
CLIENTE 33	275	2	550	40	\$ 308.000	Calle 27 # 4B - 08 cali, colombia	3,4581727	-76,5186994	1,0
CLIENTE 71	296	5	1481	61	\$ 293.539	Calle 15 # 9 - 20 cali,colombia	3,44838	-76,52758	2,8
CLIENTE 28	295	2	590	16	\$ 284.235	Carrera 9 # 12 - 65 cali,colombia	3,448337	-76,5305808	3,0
CLIENTE 157	295	2	590	95	\$ 282.500	Calle 14 # 5 - 18 cali,colombia	3,4523017	-76,5301141	2,9
TOTAL	10936	67	22356	1538	\$ 10.685.358				

Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis del proceso de entrega actual de la compañía, se empleó el diagrama SIPOC (Proveedores-Recursos-Proceso-Cliente, por sus siglas en inglés) según se muestra en la figura 2. Este diagrama permitió obtener una visión general de la compañía y evidenciar oportunidades de mejora en las áreas de digitación y embarque de la mercancía.

Figura 2. Diagrama SIPOC



Fuente: Elaboración propia

A continuación se mencionan los parámetros fundamentales observados en el proceso actual de la compañía.

Velocidad

La velocidad máxima en la ciudad de Cali es de 60 km/h pero debido a que la investigación se ejecutó en la zona centro de la ciudad de Cali y esta zona es de una complejidad bastante alta con respecto a la movilidad se decidió utilizar una velocidad de 40 km/h.

Los parámetros relacionados con la capacidad del vehículo fueron los siguientes:

- Capacidad de carga: 4,5 TM
- Volumen de carga: $22,5 \pm 0,5 \text{ m}^3$
- Altura furgón: $2,22 \pm 0,05 \text{ m}$
- Ancho furgón: $2,25 \pm 0,05 \text{ m}$

Personal involucrado

Para el reparto de la mercancía de la zona volumen centro se cuenta con 2 auxiliares de ruta y el conductor del vehículo.

El reparto de la mercancía se realiza de 8:00 am a 12:00 pm de lunes a viernes, el tiempo estimado de la entrega a cada cliente es de 20 minutos máximo, debido a que la zona volumen centro tiene una restricción horaria a partir de las 10:00 am, se decidió trabajar con 20 minutos, ya que antes de la restricción la entrega se podría hacer de forma directa en la ubicación del cliente, ahorrando tiempo que se puede utilizar en repartir a otros clientes, además debido a que por lo general las distancia entre los clientes no son tan amplias, se puede atender a varios de ellos desde una ubicación en específico en este tiempo.

El rendimiento de un camión de estas dimensiones es de un galón cada 20 kilómetros aproximadamente y tiene un tanque de combustible para 45 galones. Por lo tanto, la distancia máxima del recorrido del camión será de 900 km aproximadamente.

La evacuación de la mercancía objeto de estudio con el procedimiento actual tardaría un total de 17 días, esto sale de la división de la cantidad total de mercancía objeto de estudio sobre la capacidad del vehículo, esto quiere decir que para la evacuación de la mercancía el vehículo tiene que siempre salir con las 4500 TM y cumplir con los otros parámetros de horario, algo poco probable debido a la ubicación de los clientes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta la simulación con el procedimiento actual de la compañía.

En la figura 3 se muestra los parámetros iniciales para la realización de la simulación, se indica el número de clientes a atender, número de depósitos, velocidad, ventanas de tiempo, modo de visualización de la distribución de la mercancía entre otras variables.

Figura 3. Parámetros iniciales

Sequence	Parameter	Value	Remarks
0.Optional - GIS License	Bing Maps Key	AhU3pl5s4_MQNANyWI_EScA	You can get a free trial key at https://www.bingmapsportal.com/
1.Locations	Number of depots	1	[1,20]
	Number of customers	26	[5,200]
2.Distances	Distance / duration computation	Bing Maps driving distances (km)	Recommendation: Use 'postcode, country' format for addresses
	Bing Maps route type	Fastest	Recommendation: Use 'Fastest'
	Average vehicle speed	40	Not used for the 'Bing Maps driving distances' options
3.Vehicles	Number of vehicle types	1	Heterogeneous VRP if greater than 1
4.Solution	Vehicles must return to the depo	Yes	Open VRP if no return
	Time window type	Hard	
	Backhauls?	No	If activated, delivery locations must be visited before pickup locations
5.Optional - Visualization	Visualization background	Bing Maps	
	Location labels	Location IDs	
6.Solver	Warm start?	Yes	
	Show progress on the status bar?	No	May slow down the optimization algorithm
	CPU time limit (seconds)	60	Recommendation: At least 60 seconds

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se indican los clientes correspondientes a la Tabla 1. En esta se exponen las direcciones, coordenadas de cada uno de los clientes, tiempo de servicio y peso de mercancía entregada a cada uno.

Figura 4. Datos generales clientes

Location ID	Name	Address	Latitude (y)	Longitude (x)	Time window start	Time window end	Must be visited?	Service time	Pickup amount	Delivery amount	Profit
0	Depot	Calle 34 # 4B - 46 cali, colombia	3,4595322	-76,5135972	00:00	23:59	Starting location	0:00	0	0	0
1	CUENTE 117	Carrera 9 # 14 - 27 cali, colombia	3,4487556	-76,5283479	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	1500	0
2	CUENTE 60	Carrera 8 # 14 - 44 cali, colombia	3,4499272	-76,5286869	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	797	0
3	CUENTE 13	Carrera 9 # 13A - 40 cali, colombia	3,4486349	-76,5290175	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	363	0
4	CUENTE 25	Carrera 9 # 13 - 111 cali, colombia	3,4485100	-76,5296800	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	475	0
5	CUENTE 32	Calle 14 # 8 - 89 cali, colombia	3,4491790	-76,5287691	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	743	0
6	CUENTE 4	Carrera 7 # 13 - 107 cali, colombia	3,4506387	-76,5300749	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	494	0
7	CUENTE 115	Carrera 9 # 13 - 111 cali, colombia	3,4485100	-76,5296800	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	178	0
8	CUENTE 20	Carrera 2 Norte # 23 - 10 cali, colombia	3,4600384	-76,5243232	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	301	0
9	CUENTE 14	Carrera 9 # 11 - 32 cali, colombia	3,4481845	-76,5314805	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	343	0
10	CUENTE 23	Carrera 11 # 16 - 59 cali, colombia	3,4473152	-76,5260651	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	368	0
11	CUENTE 6	Carrera 6 # 22 - 121 cali, colombia	3,4549121	-76,5223377	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	393	0
12	CUENTE 120	Carrera 6A # 32 - 70 cali, colombia	3,4571833	-76,5137584	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	200	0
13	CUENTE 19	Calle 15 # 7 - 42 cali, colombia	3,4508870	-76,5286456	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	404	0
14	CUENTE 203	Carrera 9 # 13A - 28 cali, colombia	3,4486239	-76,5290750	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	3248	0
15	CUENTE 11	Calle 11 # 12 - 56 cali, colombia	3,4450177	-76,5308959	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	348	0
16	CUENTE 17	Carrera 5 # 16 - 26 cali, colombia	3,4534114	-76,5283075	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	177	0
17	CUENTE 42	Calle 30 # 11B - 62 cali, colombia	3,4486923	-76,5148594	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	266	0
18	CUENTE 41	Carrera 9 # 13 - 48 cali, colombia	3,4484969	-76,5297061	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	450	0
19	CUENTE 18	Calle 10 # 8 - 43 cali, colombia	3,4483662	-76,5328684	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	157	0
20	CUENTE 56	Carrera 9 # 14 - 03 cali, colombia	3,4487413	-76,5284510	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	379	0
21	CUENTE 186	Calle 14 # 4 - 49 cali, colombia	3,4529052	-76,5303651	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	500	0
22	CUENTE 38	Calle 13 # 10 - 58 cali, colombia	3,4472959	-76,5298074	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	211	0
23	CUENTE 72	Carrera 7 # 14 - 64 cali, colombia	3,4510782	-76,5290743	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	353	0
24	CUENTE 46	Calle 12 # 7 - 21 cali, colombia	3,4497751	-76,5314384	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	424	0
25	CUENTE 76	Carrera 6 # 13 - 109 cali, colombia	3,4515101	-76,5302303	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	327	0
26	CUENTE 84	Calle 11 # 13 - 62 cali, colombia	3,4439912	-76,5307206	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	1150	0

Fuente: Elaboración propia

Matriz de Distancias

En la matriz de distancia (Véase tabla 3) se define las distancia entre cada punto que conforman la red logística. La unidad de distancia se representa en Km y la variable (d_{ij}) determina la distancia que se debe recorrer para ir del punto i hasta j . Cabe aclarar que en la mayoría de casos la distancia recorrida para ir de i hasta j , es diferente a la recorrida para ir de j a i ($d_{ij} \neq d_{ji}$). Uno de los puntos de la ruta corresponde al operador logístico (O.L) que es la bodega donde se almacena la mercancía.

Para la obtención de las distancias entre los puntos su utilizo la herramienta Bing Maps que se encuentra incluido en la herramienta logística VRP SOLVER 3.0.

Tabla 3. Matriz de distancia de i a j en la zona C0001 S.A

		C0001.MATRIZ DE DISTANCIAS																										
i	j	C 117	C 60	C 13	C 25	C 32	C 4	C 115	C 20	C 14	C 23	C 6	C 120	C 19	C 203	C 11	C 17	C 42	C 41	C 18	C 56	C 186	C 38	C 72	C 46	C 76	C 84	O.L
C 117		0,66	0,45	0,45	0,77	1,15	0,45	2,16	0,66	0,54	1,64	2,74	0,71	0,44	1,25	0,90	3,28	0,45	0,95	0,51	1,43	0,54	1,27	1,01	1,54	1,44	2,81	
C 60		0,20		0,47	0,54	0,11	0,74	0,54	2,47	0,45	0,73	2,34	3,04	1,56	0,46	1,22	1,21	3,47	0,54	0,54	0,18	1,02	0,63	0,86	0,59	1,12	1,12	3,12
C 13		0,08	0,73		0,35	0,84	1,06	0,35	2,79	0,57	0,61	1,71	3,36	0,78	0,34	1,16	1,52	3,35	0,36	0,86	0,06	1,34	0,51	1,18	0,91	1,44	1,45	3,44
C 25		0,15	0,80	0,07		0,96	0,68	0,00	2,41	0,20	0,68	2,29	2,99	0,85	0,07	0,98	1,15	3,43	0,00	0,48	0,14	0,96	0,58	0,80	0,54	1,07	0,87	3,06
C 32		0,08	0,73	0,36	0,36		1,06	0,36	2,79	0,57	0,62	1,71	3,37	0,79	0,35	1,16	1,53	3,36	0,36	0,86	0,07	1,34	0,51	1,18	0,92	1,45	1,52	3,44
C 4		0,36	0,77	0,79	0,71	0,28		0,71	1,76	0,62	0,90	1,24	2,34	0,82	0,78	1,39	0,50	3,64	0,71	0,70	0,35	0,31	0,79	0,12	0,76	0,21	1,28	2,41
C 115		0,15	0,80	0,07	0,00	0,96	0,68		2,41	0,20	0,68	2,29	2,99	0,85	0,07	0,98	1,15	3,43	0,00	0,48	0,14	0,96	0,58	0,80	0,54	1,07	0,87	3,06
C 20		2,11	1,91	2,42	2,46	2,03	2,13	2,46		2,37	2,10	1,22	1,68	1,97	2,41	3,14	1,57	3,18	2,46	2,45	2,10	1,49	2,51	1,78	1,98	1,68	3,03	1,76
C 14		0,84	1,25	0,73	0,66	0,76	0,48	0,66	2,21		1,20	2,08	2,79	1,30	0,72	0,78	0,95	3,94	0,65	0,28	0,83	0,76	0,92	0,60	0,33	0,86	1,07	2,86
C 23		0,77	0,86	0,69	0,69	0,97	1,40	0,69	2,37	0,91		1,84	2,94	0,91	0,68	1,59	1,11	2,37	0,70	1,20	0,75	1,32	0,91	1,52	1,25	1,22	1,47	3,02
C 6		1,35	1,15	1,65	1,69	1,26	1,89	1,69	0,90	1,60	1,33		1,47	1,20	1,64	2,37	0,84	2,97	1,69	1,69	1,33	1,17	1,74	1,05	1,74	0,95	2,27	1,55
C 120		2,63	2,44	2,92	2,98	2,55	3,17	2,98	2,30	2,89	2,58	1,73		2,49	2,92	3,66	2,68	1,51	2,98	2,97	2,62	2,86	3,03	3,30	3,03	2,76	3,64	0,77
C 19		0,85	0,65	1,15	1,20	0,76	0,72	1,20	1,65	1,10	0,84	1,12	2,22		1,15	1,87	0,38	3,72	1,19	1,19	0,83	0,37	1,24	0,37	0,58	0,27	1,77	2,30
C 203		0,08	0,73	0,01	0,36	0,85	1,06	0,36	2,79	0,57	0,62	1,71	3,37	0,79		1,16	1,53	3,36	0,36	0,86	0,07	1,34	0,51	1,18	0,92	1,45	1,46	3,44
C 11		0,74	1,20	0,66	0,59	1,09	0,81	0,59	2,54	0,50	1,08	2,41	3,11	1,25	0,66		1,28	3,83	0,59	0,61	0,73	1,09	0,80	0,93	0,66	1,19	0,77	3,19
C 17		0,87	0,67	1,18	1,22	0,79	0,96	1,22	1,26	1,13	0,86	1,14	1,84	0,73	1,17	1,89		3,34	1,22	1,21	0,86	0,69	1,26	0,61	0,81	0,51	1,79	1,91
C 42		2,28	2,08	2,57	2,57	2,20	2,82	2,57	2,12	2,54	1,97	1,55	1,65	2,14	2,56	2,41	2,33		2,57	2,62	2,27	2,51	2,65	2,94	2,68	2,41	2,30	2,06
C 41		0,15	0,80	0,08	0,00	0,96	0,68	0,00	2,41	0,20	0,69	2,28	2,99	0,86	0,07	0,98	1,15	3,43		0,48	0,14	0,96	0,58	0,80	0,53	1,06	0,86	3,06
C 18		0,98	1,22	0,91	0,83	1,57	1,29	0,83	2,66	0,74	1,11	2,54	3,24	1,28	0,90	0,68	1,40	3,85	0,83		0,97	1,21	0,83	1,41	1,14	1,32	0,97	3,31
C 56		0,01	0,67	0,46	0,46	0,78	1,17	0,46	2,18	0,68	0,55	1,65	2,75	0,72	0,45	1,27	0,91	3,30	0,47	0,97		1,44	0,55	1,29	1,02	1,55	1,45	2,83
C 186		0,53	0,95	0,96	0,88	0,45	0,64	0,88	1,54	0,79	1,07	1,41	2,11	1,00	0,95	1,56	0,28	3,61	0,88	0,88	0,52		0,96	0,29	0,49	0,19	1,45	2,19
C 38		0,54	0,79	0,46	0,39	0,91	0,79	0,39	2,30	0,30	0,68	1,77	2,88	0,85	0,46	1,07	1,04	3,42	0,39	0,59	0,53	1,06		0,91	0,64	1,17	0,96	2,95
C 72		0,84	0,65	1,15	1,19	0,76	0,72	1,19	1,64	1,10	0,83	1,11	2,22	0,70	1,14	1,87	0,38	3,72	1,19	1,18	0,83	0,37	1,24		0,57	0,27	1,76	2,29
C 46		0,47	1,28	0,40	0,32	0,80	0,52	0,32	2,25	0,23	1,00	2,12	2,82	1,34	0,39	1,00	0,98	3,74	0,32	0,32	0,46	0,80	0,72	0,64		0,90	0,90	2,90
C 76		0,43	0,84	0,86	0,78	0,35	0,45	0,78	1,64	0,69	0,97	1,52	2,22	0,89	0,85	1,30	0,38	3,71	0,78	0,62	0,42	0,19	0,86	0,19	0,30		1,36	2,29
C 84		0,86	1,32	0,78	0,70	1,20	0,92	0,70	2,65	0,61	1,20	2,53	3,23	1,37	0,77	0,12	1,39	3,94	0,70	0,72	0,84	1,20	0,56	1,04	0,78	1,31		3,30
O.L		2,78	2,58	3,07	3,13	2,70	3,32	3,13	2,44	3,04	2																	

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros iniciales de capacidad para la simulación fueron:

Tabla 4. Parámetros de capacidad S.A

Tipo de vehículo	Capacidad TM	Costo/viaje (COP)	Distancia limite (km)	Hora de inicio del trabajo	Límite de tiempo de trabajo
C1	4500	70.000	900	8:00 AM	12:00 PM

C1: Carga entregada por el vehículo “Volumen Centro” en la mañana.

Fuente: Elaboración propia

Realizando la incorporación de las variables de la Tabla 4 se procede a obtener la matriz de solución del software VRP SOLVER para el vehículo C1, presentada en la figura 5. Se evidencia que la capacidad del vehículo y tiempo de entrega no cumple con los parámetros establecidos en la Tabla 4: Debido a esto se hace necesario una re organización de la zona volumen centro que permita el diseño de rutas de manera más óptima.

Figura 5. Matriz de solución de VRP SOLVER S.A

Total net profit:		-70000,00						
Warning: Last solution returned by the solver does not satisfy all constraints.								
Vehicle:	V1	Stops:	27	Net profit:	-70000,00			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		08:00	0:00		14549
1	CLIENTE 203	3,06	0:06	08:06	08:26	0:26		11301
2	CLIENTE 117	3,15	0:06	08:26	08:46	0:46		9801
3	CLIENTE 84	4,58	0:09	08:49	09:09	1:09		8651
4	CLIENTE 60	5,90	0:13	09:13	09:33	1:33		7854
5	CLIENTE 32	6,01	0:13	09:33	09:53	1:53		7111
6	CLIENTE 186	7,35	0:16	09:56	10:16	2:16		6611
7	CLIENTE 4	7,99	0:17	10:17	10:37	2:37		6117
8	CLIENTE 25	8,70	0:19	10:39	10:59	2:59		5642
9	CLIENTE 41	8,71	0:19	10:59	11:19	3:19		5192
10	CLIENTE 46	9,24	0:21	11:21	11:41	3:41		4768
11	CLIENTE 14	9,47	0:22	11:42	12:02	4:02		4425
12	CLIENTE 72	10,07	0:24	12:04	12:24	4:24		4072
13	CLIENTE 76	10,34	0:25	12:25	12:45	4:45		3745
14	CLIENTE 18	10,95	0:26	12:46	13:06	5:06		3588
15	CLIENTE 11	11,64	0:28	13:08	13:28	5:28		3240
16	CLIENTE 38	12,44	0:30	13:30	13:50	5:50		3029
17	CLIENTE 115	12,82	0:31	13:51	14:11	6:11		2851
18	CLIENTE 13	12,90	0:31	14:11	14:31	6:31		2488
19	CLIENTE 56	12,96	0:31	14:31	14:51	6:51		2109
20	CLIENTE 23	13,51	0:33	14:53	15:13	7:13		1741
21	CLIENTE 19	14,43	0:36	15:16	15:36	7:36		1337
22	CLIENTE 17	14,81	0:37	15:37	15:57	7:57		1160
23	CLIENTE 6	15,95	0:39	15:59	16:19	8:19		767
24	CLIENTE 20	16,84	0:41	16:21	16:41	8:41		466
25	CLIENTE 120	18,52	0:44	16:44	17:04	9:04		266
26	CLIENTE 42	20,03	0:48	17:08	17:28	9:28		0
27	Depot	22,09	0:53	17:33		9:33		0

Detected reasons of infeasibility

The capacity of the given fleet is not enough to transport the mandatory delivery.

Fuente : Elaboracion propia

Teniendo en cuenta los resultados de la simulación actual de la compañía y, analizando los diferentes recursos con los que cuenta la misma, se propone la siguiente alternativa de solución para la distribución de la mercancía:

- Incorporar las rutas Centro 1 y Centro 2 que operan en el mismo sector de la ciudad y su cantidad de entrega, por lo general es reducida; sin embargo, debido a que estas rutas están comprometidas con los traslados de mercancía de la zona centro al O.L, solo se tomaron como recurso de apoyo en horas de la mañana (Media jornada). Esta decisión se justifica debido a que la empresa paga por jornada laborada y no por mercancía entregada, lo que quiere decir que la empresa no incurriría en costos adicionales al utilizar los vehículos de esta zona.
- Aumentar la jornada del vehículo volumen centro. Esta decisión es necesaria debido a que con el vehículo trabajando solo una jornada es imposible reducir el nivel de represamiento. Esto representa un costo variable adicional para la compañía que corresponde al pago de la jornada adicional.

Teniendo en cuenta las decisiones tomadas para la simulación, en la tabla 5 se presenta la distribución de la mercancía, en un día promedio, por los tres vehículos. El primer vehículo se ocupa de las cargas C1 y C2. El vehículo dos se utiliza, en una fracción de su capacidad, para la carga C3; el vehículo tres se utilizan, en una fracción de su capacidad, para la carga C4. Es decir, los vehículos dos y tres se utilizaron como recursos de apoyo en el modelo.

Tabla 5. Distribución Mercancía Promedio

Ruta	Carga total TM	CARGA POR VEHICULO TM			
		C1 TM	C2 TM	C3 TM	C4 TM
1	14550	4500	4500	2775	2775
2	10802	4500	4500	901	901
3	6983	3476	3506		
4	6452	2934	3517		
5	5554	4348	1205		
6	2340	2340			
7	1997	1997			
8	1839	1839			
9	741	741			
10	541	541			
11	363	363			

C2: Carga entregada por el vehículo "Volumen Centro" en la tarde.

C3: Carga entrega por el vehículo "Centro 1" en la mañana

C4: Carga entrega por el vehículo "Centro 2" en la mañana

Fuente: Elaboración propia

Para la distribución de la mercancía en los vehículos de apoyo C3 y C4, rutas 1 y 2 se decidió trabajar sobre la mercancía restante para completar el total entregado por la ruta, siendo los vehículos C1 y C2 los que repartan la mayor cantidad de mercancía por ser los vehículos de la zona objeto de estudio.

La cantidad simulada en la ruta 1 para los vehículos C3 y C4 no sería inconveniente para el reparto de la propia mercancía de estos vehículos, basados en los siguientes datos suministrados por la compañía:

Tabla 6. Mercancía aproximada transportada por mes y día

ZONA	MERCANCÍA APROX. POR MES TM	DÍAS LABORADOS POR MES	MERCANCÍA APROX. POR DÍA TM
Centro 1	30,000	20	1500
Centro 2	25,000	20	1250

Fuente: O.L

Según la tabla 6 en promedio las rutas centro 1 y 2 entregan diariamente en peso 1500 y 1250 respectivamente lo cual representa con respecto a la capacidad del vehículo un 33% y 28% respectivamente.

Los parámetros de capacidad para la simulación de la ruta 1 fueron:

Tabla 7. Parámetros de capacidad Ruta 1

Tipo de vehículo	Capacidad	Costo/viaje(\$)	Distancia limite (km)	Hora de inicio del trabajo	Límite de tiempo de trabajo
C1	4500	70.000 COP	900	08:00 AM	12:00 PM
C2	4500	70.000 COP	900	01: 00 PM	05:00 PM
C3	2775	70.000 COP	900	08:00 AM	12:00 PM
C4	2775	70.000 COP	900	08:00 AM	12:00 PM

Fuente: Elaboración propia

Realizando la incorporación de las variables de la **Tabla 7**, se procede a obtener la matriz de solución del software VRP SOLVER para cada vehículo. Para completar la simulación:

En la figura 8 indica la distribución de la mercancía para los vehículos C1, C2, C3 Y C4.

Figura 8a. Matriz de Solución VRP SOLVER (C1)

Total net profit: -280000,00

Vehicle:	V1 (C1)	Stops:	10	Net profit:	-70000,00			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		08:00	0:00	0	4500
1	CLIENTE 42	1,65	0:04	08:04	08:24	0:24	0	4234
2	CLIENTE 38	4,74	0:10	08:30	08:50	0:50	0	4023
3	CLIENTE 84	6,28	0:14	08:54	09:14	1:14	0	2873
4	CLIENTE 4	7,21	0:16	09:16	09:36	1:36	0	2379
5	CLIENTE 32	7,48	0:17	09:37	09:57	1:57	0	1636
6	CLIENTE 56	7,55	0:17	09:57	10:17	2:17	0	1257
7	CLIENTE 19	8,28	0:20	10:20	10:40	2:40	0	853
8	CLIENTE 72	8,65	0:22	10:42	11:02	3:02	0	500
9	CLIENTE 186	9,02	0:23	11:03	11:23	3:23	0	0
10	Depot	11,20	0:28	11:28		3:28	0	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 8b. Matriz de Solución VRP SOLVER (C2)

Vehicle:	V2 (C2)	Stops:	6	Net profit:	-70000,00			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		13:00	0:00	0	4500
1	CLIENTE 23	2,73	0:06	13:06	13:26	0:26	0	4132
2	CLIENTE 203	3,41	0:09	13:29	13:49	0:49	0	884
3	CLIENTE 13	3,42	0:09	13:49	14:09	1:09	0	521
4	CLIENTE 115	3,77	0:10	14:10	14:30	1:30	0	343
5	CLIENTE 14	3,98	0:10	14:30	14:50	1:50	0	0
6	Depot	6,84	0:16	14:56		1:56	0	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 8c. Matriz de Solución VRP SOLVER (C3)

Vehicle:	V3 (C3)	Stops:	5	Net profit:	-70000,00			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		08:00	0:00	0	2775
1	CLIENTE 60	2,58	0:05	08:05	08:25	0:25	0	1978
2	CLIENTE 117	2,78	0:05	08:25	08:45	0:45	0	478
3	CLIENTE 17	3,68	0:08	08:48	09:08	1:08	0	301
4	CLIENTE 20	4,94	0:11	09:11	09:31	1:31	0	0
5	Depot	6,70	0:15	09:35		1:35	0	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 8d. Matriz de Solución VRP SOLVER (C4)

Vehicle:	V4 (C4)	Stops:	9	Net profit:	-70000,00			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		08:00	0:00	0	2774
1	CLIENTE 120	0,60	0:02	08:02	08:22	0:22	0	2574
2	CLIENTE 6	2,33	0:05	08:25	08:45	0:45	0	2181
3	CLIENTE 76	3,28	0:07	08:47	09:07	1:07	0	1854
4	CLIENTE 46	3,58	0:08	09:08	09:28	1:28	0	1430
5	CLIENTE 18	3,90	0:09	09:29	09:49	1:49	0	1273
6	CLIENTE 11	4,58	0:11	09:51	10:11	2:11	0	925
7	CLIENTE 41	5,16	0:13	10:13	10:33	2:33	0	475
8	CLIENTE 25	5,17	0:13	10:33	10:53	2:53	0	0
9	Depot	8,23	0:19	10:59		2:59	0	0

Fuente: Elaboración propia

La figura 9 muestra la distribución de la mercancía según la ubicación de cada clientes para los vehiculos C1,C2,C3 y C4

Figura 9. Ubicación Clientes



Fuente: Elaboración propia

Se puede concluir que la simulación de la Ruta 1 cumple con los parámetros establecidos en la Tabla 7. Por lo tanto la distribución de la mercancía se puede realizar de forma efectiva. A continuación se muestra la simulación para la Ruta 2; en la tabla 8 se ilustran los parámetros de capacidad.

Tabla 8. Parámetros de capacidad Ruta 2

Tipo de vehículo	Capacidad	Costo/viaje(\$)	Distancia limite (km)	Hora de inicio del trabajo	Límite de tiempo de trabajo
C1	4500	70.000 COP	900	08:00 AM	12: 00 PM
C2	4500	70.000 COP	900	01:00 PM	05:00 PM
C3	901	70.000 COP	900	08:00 AM	12: 00 PM
C4	901	70.000 COP	900	08:00 AM	12: 00 PM

Fuente: Elaboración propia

Realizando la incorporación de las variables expuestas en la **Tabla 8** se procedió a realizar la simulación en el software, tal como se realizó para la ruta 1.

A continuación se describen las principales observaciones para la ruta 2:

El vehículo C1 hará un total de nueve paradas atendiendo un total de ocho clientes para esto recorrerá una distancia de 8,97 Km, entregará un total de 4500 TM en mercancía, iniciando su recorrido a las 8:00 AM y finalizando a las 11:01 AM.

El vehículo C2 hará un total de 11 paradas atendiendo un total de 10 clientes para lo cual recorrerá una distancia de 9,20 Km, entregará un total de 4500 TM en mercancía, iniciando su recorrido a la 01:00 PM y finalizando a las 04:41 PM.

El vehículo C3 hará un total de cuatro paradas atendiendo un total de tres clientes para lo cual recorrerá una distancia de 7,84 Km, entregará un total de 901 TM en mercancía, iniciando su recorrido a las 8:00 AM y finalizando a las 9:17 AM.

El vehículo C4 hará un total de cuatro paradas atendiendo un total de tres clientes para lo cual recorrerá una distancia de 6,29 Km, entregará un total de 901 TM en mercancía, iniciando su recorrido a las 8:00 AM y finalizando a las 9:12 AM.

De acuerdo con la simulación realizada para la Ruta 2 y teniendo como referencia los resultados obtenidos en la Matriz de solución del software, se puede concluir que la simulación cumple con los parámetros establecidos en la **Tabla 8**. Por lo tanto la distribución de la mercancía en esta ruta es óptima.

En las tablas 9, 10, 11, 12,13 y 14 se indican los resultados de la simulación para las rutas 3, 4, 5, 6,7 y 8 respectivamente.

Tabla 9.Simulación ruta 3

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizdas	Km total recorrido
3	19	6983	C1	3476	8:00:00 a. m.	11:41:00 a. m.	11	8,30
			C2	3506	1:00:00 p. m.	4:23:00 p. m.	10	8,90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.Simulación ruta 4

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizdas	Km total recorrido
4	17	6452	C1	2934	8:00:00 a. m.	11:24:00 a. m.	10	9,03
			C2	3517	1:00:00 p. m.	4:00:00 p. m.	9	8,05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.Simulación ruta 5

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizdas	Km total recorrido
5	12	5554	C1	4348	8:00:00 a. m.	11:01:00 a. m.	9	8,73
			C2	1205	1:00:00 p. m.	2:36:00 p. m.	5	7,14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 .Simulación ruta 6

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizdas	Km total recorrido
			C1	C2				
6	7	2340	C1	2339	8:00:00 a. m.	10:39:00 a. m.	8	8,76
			C2					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Simulación ruta 7

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizdas	Km total recorrido
			C1	C2				
7	6	1997	C1	1996	8:00:00 a. m.	10:19:00 a. m.	7	8,76
			C2					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Simulación ruta 8

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizdas	Km total recorrido
			C1	C2				
8	5	1839	C1	1839	8:00:00 a. m.	9:57:00 a. m.	6	8,03
			C2					

Fuente: Elaboración propia

Debido a que las rutas 9, 10, 11 tienen clientes insuficientes, debido a la restricción del programa, no se realizó la simulación. Pero estos casos son muy poco probables debido a que está llegando mercancía a esta zona diariamente.

Como se indica en la **Tabla 5**. El recurso de apoyo sería únicamente necesario para las rutas 1 y 2. A partir de la ruta 3 el vehículo de la zona volumen centro puede ser autónomo en la entrega de la mercancía. Dado que la utilización del recurso a partir de la Ruta 3 empieza a disminuir paulatinamente se incorporan los clientes de menos ingresos para la compañía, para atender la totalidad de los clientes objeto de estudio. Los resultados de estas simulaciones se indican en las tablas 16 a 23.

Tabla 15. Porcentaje de Utilización del recurso clientes C0001

Ruta	Carga total TM	CARGA POR VEHICULO TM							
		C1 TM	%	C2 TM	%	C3 TM	%	C4 TM	%
1	14550	4500	100%	4500	100%	2775	62%	2775	62%
2	10802	4500	100%	4500	100%	901	20%	901	20%
3	6983	3476	77%	3506	78%				
4	6452	2934	65%	3517	78%				
5	5554	4348	97%	1205	27%				
6	2340	2340	52%						
7	1997	1997	44%						
8	1839	1839	41%						
9	741	741	16%						
10	541	541	12%						
11	363	363	8%						

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra la distribución de la mercancía a partir de la Ruta 2 hasta la 9 incorporando los clientes de la **Tabla 2**. Para la realización de la distribución se siguieron los parámetros establecidos referentes a capacidad del vehículo y tiempo de laborado, todo esto con la firme intención de utilizar la mayor cantidad del recurso disponible.

Debido a que se cuenta con el recurso de apoyo se decidió hacer la utilización del mismo en esta etapa para una mayor evacuación de la mercancía de la zona centro, los clientes añadidos a cada ruta se lograron después de realizar distintas simulaciones, en la cual se respetaron los parámetros establecidos.

Para una mayor evacuación de la mercancía se decidió atender el máximo de clientes por ruta que corresponde a 26, como hasta las rutas que lo permitan.

A continuación se presentan los clientes adicionales a cada ruta, (tomados de la **Tabla 2**).

A la ruta 2 se añaden los clientes 98 y 21, con esto la ruta queda con un total de 26 clientes a atender y un carga total 11772TM.

A la ruta 3 se añaden los clientes 129 , 80 , 154 , 163 , 152 , 130 , 71 , con esto la ruta queda con un total de 26 clientes a atender y una carga total 11783 TM.

A la ruta 4 se añaden los clientes 130 , 105 , 143 , 90 , 27 , 199 , 36 , 21 , 71 con esto la ruta queda con un total de 26 clientes a atender y una carga total de 9803 TM.

A la ruta 5 se añaden los clientes 82, 26 , 156 , 105 , 98 , 143 , 90 , 27 , 110 , 28 , 142 , 5 , 36 ,103 con esto la ruta queda con un total de 26 clientes a atender y una carga total de 10115 TM.

A la ruta 6 se añaden los clientes 130 , 82 , 26 ,156 , 71 , 21 , 105 ,98 , 143 , 110 , 39 , 33 , 157 , 199 , 28 , 103 , 5 ,142 con esto la ruta queda con un total de 25 clientes a atender y una carga total de 7563 TM.

A la ruta 7 se añadan los clientes 130 , 82 , 26 , 156 , 71 , 39 , 33 , 157 , con esto la ruta queda con un total de 14 clientes a atender y una carga total de 3686 TM.

A la ruta 8 se añaden los clientes 130, 82, 26, 156, 71, con esto la ruta queda con un total de 10 clientes a atender y una carga total de 2869 TM.

A la ruta 9 se añaden los clientes 130, 82, 26,156, con esto la ruta queda con un total de 7 clientes a atender y una carga total de 1474 TM.

Tabla 16. Simulación ruta 2 con adición

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizadas	Km total recorrido
2	26	11772	C1	4500	8:00:00 a. m.	11:44:00 a. m.	11	9,86
			C2	4500	1:00:00 p. m.	3:57:00 p. m.	9	7,60
			C3	1386	8:00:00 a. m.	9:57:00 a. m.	6	7,76
			C4	1386	8:00:00 a. m.	9:14:00 a. m.	4	6,48

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Simulación ruta 3 con adición

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizadas	Km total recorrido
3	26	11783	C1	4500	8:00:00 a. m.	11:02:00 a. m.	9	9,47
			C2	4498	1:00:00 p. m.	4:18:00 a. m.	10	7,49
			C3	1392	8:00:00 a. m.	10:02:00 a. m.	6	8,94
			C4	1392	8:00:00 a. m.	9:34:00 a. m.	5	6,54

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Simulación ruta 4 con adición

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizdas	Km total recorrido
4	26	9803	C1	4476	8:00:00 a. m.	11:58:00 a. m.	12	8,24
			C2	4455	1:00:00 p. m.	5:00:00 a. m.	12	8,15
			C3	405	8:00:00 a. m.	8:52:00 a. m.	3	4,61
			C4	466	8:00:00 a. m.	8:51:00 a. m.	3	4,07

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Simulación ruta 5 con adición

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizdas	Km total recorrido
5	26	10115	C1	4486	8:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	12	8,21
			C2	4491	1:00:00 p. m.	4:56:00 a. m.	12	7,67
			C3	937	8:00:00 a. m.	9:14:00 a. m.	4	6,02
			C4	200	8:00:00 a. m.	8:25:00 a. m.	2	1,37

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Simulación ruta 6 con adición

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizdas	Km total recorrido
6	25	7563	C1	3024	8:00:00 a. m.	11:19:00 a. m.	10	8,38
			C2	3071	1:00:00 p. m.	4:16:00 a. m.	10	7,70
			C3	788	8:00:00 a. m.	9:34:00 a. m.	5	6,56
			C4	680	8:00:00 a. m.	9:12:00 a. m.	4	4,79

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Simulación ruta 7 con adición

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizdas	Km total recorrido
7	14	3686	C1	1843	8:00:00 a. m.	10:17:00 a. m.	7	7,76
			C2	1843	1:00:00 p. m.	4:02:00 p. m.	9	8,36

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Simulación ruta 8 con adición

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizdas	Km total recorrido
8	10	2869	C1	2869	8:00:00 a. m.	11:42:00 a. m.	11	8,99

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Simulación ruta 9 con adición

RUTA	Clientes atendidos	Carga total TM	Distribucion en los vehiculos TM		Horario de inicio de ruta	Horario de finalización de ruta	Paradas realizadas	Km total recorrido
			C1	1474				
9	7	1474	C1	1474	8:00:00 a. m.	10:40:00 a. m.	8	8,84

Fuente: Elaboración propia

La simulación de las rutas se realizó bajo un escenario optimista con base a los datos suministrados por la compañía en el cual se evidencia que en los últimos seis meses la zona volumen centro recibió la cantidad de 785,218 TM en mercancía aproximadamente de los cuales solo el 3 % de esta no fue entrega a tiempo por ausencia del cliente en el sitio.

Por lo tanto las simulaciones se realizan en un escenario en el cual a todos los clientes se les atienden y se les entrega la mercancía.

A continuación se muestra el porcentaje de utilización del recurso por vehículo en cada ruta con los clientes añadidos.

Tabla 24. Porcentaje de utilización del vehículo con clientes adicionales

Ruta	Carga total TM	CARGA POR VEHICULO TM							
		C1 TM	%	C2 TM	%	C3 TM	%	C4 TM	%
1	14550	4500	100%	4500	100%	2775	62%	2775	62%
2	11772	4500	100%	4500	100%	1386	31%	1386	31%
3	11783	4500	100%	4498	100%	1392	31%	1392	31%
4	9803	4476	99%	4455	99%	405	9%	466	10%
5	10115	4486	100%	4491	100%	937	21%	200	4%
6	7563	3024	67%	3071	68%	788	18%	680	15%
7	3686	1843	41%	1843	41%		0%		0%
8	2869	2869	64%		0%		0%		0%
9	1474	1474	33%		0%		0%		0%
10	541	541	12%		0%		0%		0%
11	363	363	8%		0%		0%		0%

Fuente: Elaboración propio

La tabla 25 muestra los costos asociados a la solución encontrada

Tabla 25. Costos asociados

	Clientes promedio atendido por día	Ingresos por cliente atendido
Media jornada (volumen centro) Proceso actual	10	\$ 2.397.848
Propuesta Jornada completa (Volumen centro)	16	\$ 3.836.557
Propuesta Jornada completa (Volumen centro) + recurso de apoyo	20	\$ 4.795.696

Fuente: Elaboración propia

Aumentar la jornada del vehículo volumen centro permitiría aumentar el nivel de servicio en un 38% para el vehículo volumen centro trabajando a doble jornada y un 50% adicionándole las rutas de Centro 1 y Centro 2 esto aumento los ingresos adicionales que permitieron solventar los costos adicionales y disminuir el nivel de represamiento.

Teniendo como base la **tabla 25** se realizó el estudio de costos, estimando el ingreso promedio por cliente para la compañía en 239,785 COP. La variación del nivel de servicio sobre el proceso actual de la compañía sería de 6 clientes aproximadamente para el vehículo volumen centro, trabajando a doble jornada. $IP*VS = VI$ que para este caso es de 1, 439,704 COP. El valor que pagaría la empresa por la jornada adicional sería 70,000 COP más por la jornada tarde, Así los **CA** ascenderían a 490,000 COP, esto se obtiene de $VJ*RD$, el **RD** para este caso de estudio son 7 días. El margen de utilidad bruta promedio de la compañía es del 40%, $VI*MUBP$ es igual a 575,483 COP con lo cual se evidencia que este valor es mayor a los costos adicionales con una diferencia de 85,483 COP por lo tanto la solución encontrada en esta investigación es viable.

VS: Variación en el nivel de servicio

VI: Variación en los ingresos

IP: Ingreso promedio por cliente

CA: Costos adicionales

VJ: Valor jornada de trabajo

RD: Rutas trabajando a doble jornada

MUBP: Margen de utilidad bruta promedio

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos definidos para la investigación se puede concluir que cada uno de ellos se llevó a cabo para el desarrollo de la investigación, empezando por el conocimiento del proceso que actualmente realiza la compañía para lo cual se utilizó un diagrama SIPOC donde se ilustra este proceso, en cuanto al segundo objetivo de realizar el diseño de las rutas, se utilizó la herramienta VRP SOLVER 3.0, teniendo en cuenta los parámetros encontrados en el proceso actual de la compañía, evidenciando mejoras en el mismo para dar solución a la problemática planteada. Al comparar la solución encontrada con la que actualmente utiliza la compañía, se evidenció aumento en los niveles de servicio y reducción del nivel de represamiento de la mercancía.

Con la propuesta de mejora encontrada, se puede evidenciar que el reparto de la mercancía a los clientes, objeto de estudio, se realizaría en un total de 11 días, número máximo de entregas a un cliente en el mes, seis días menos que

utilizando el procedimiento actual. Esto quiere decir que se aumentaría el nivel de servicio entre un 40% y 50%, este último utilizando el recurso adicional. Por consiguiente se aumentarían los ingresos en un 60%.

También se puede concluir que desde la ruta 1 hasta la ruta 8 se logra evacuar el 97% de la mercancía, si se realiza el mismo procedimiento, con el proceso actual se evidencia que hasta la ruta 8 se habría evacuado un 48%, algo bastante bajo en relación con la propuesta desarrollada en esta investigación.

Una oportunidad de mejora para la distribución de la mercancía en la zona volumen centro, y que a futuro podría extenderse a otras rutas de la empresa, sería utilizar la herramienta VRP SOLVER antes de la digitación de la mercancía, para esto se debe seleccionar con antelación la mercancía que se desea despachar al día siguiente, esta mejora podría realizarse cuando los niveles de repesamiento estén totalmente estabilizados y se pueda realizar una selección de la mercancía a despachar de acuerdo con algún criterio definido como lo puede ser primero en llegar, primero en salir, etc. Con esto lo que se busca es tener una ruta definida y poder organizar la mercancía en el vehículo de acuerdo con la ruta que indique el programa, esto ahorraría tiempo en la organización de la mercancía en el vehículo por parte de los auxiliares.

6. BIBLIOGRAFIA

Bao J, Cai T, Jiang Z. (2010). Research on vehicle routing problem with soft time windows and distribution time constraint of vehicles. En Int Conf. Future Information Technology and Management Engineering: pp205–208

Ballou R (Quinta Edición) 2004. Logística administración de la cadena de suministro. Pearson educación, Ciudad de México, México.

Bravo Bastidas J J, Osorio Gómez J C, Orejuela Cabrera J P (2009). Dynamic prioritization model of dispatching vehicles using analytic hierarchy process. pp 4-6

Dobie, K. (2005). The Core Shipper Concept: A proactive strategy for Motor Freight Carriers. Transportation Journal, pp.37-53.

Erdoğan G. (2017) User's Manual for VRP Spreadsheet Solver, ScienceDirect, pp 5-6

Holweg, M. (2005). An investigation into supplier responsiveness: Empirical evidence from the automotive industry. The International Journal of Logistics Management, pp.96-119.

Innis, D. & La Londe, B. (1994). Customer Service: The Key to Customer Satisfaction, Customer Loyalty, and Market Share. Journal of Business Logistics, 15(1), 1-27.

G. Laporte (2009) Fifty years of vehicle routing Transportation Science, 43 pp. 408-416.

Leise Kelli de Oliveira, Barbara Regina Pinto e Oliveira, Vagner de Assis Correia (2014) Simulation of an urban logistic space for the distribution of goods in Belo Horizonte, Brazil, pag 7 – 10

Mora García, L A. (2014). Logística del transporte y distribución de carga. Bogotá, COLOMBIA: Ecoe Ediciones, ProQuest ebrary. Web. 23 September 2017. Copyright © Ecoe Ediciones. All rights reserved.

Morosini Frazzon E, Albrecht A, Hurtado P A (2016) Simulation-based optimization for the integrated scheduling of production and logistic systems, pag 4 -6

Ma, W.-m., Dong, D.-d., & Wang, K. (2010). Competitive analysis for the on-line vehicle routing problem. New Trends in Information Science and Service Science, pp 430-435.

Pino, R., Lozano, J., Martínez, C., & Villanueva, V. (2011). Estado del arte para la resolución de enrutamiento de vehículos con restricciones de capacidad. Cartagena, Colombia: 5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management.

Rocha Medina, L., Orjuela Castro, J., & González La Rota, E. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. Ingeniería, pp.35-55.

Stadtler H: (2008). Supply Chain Management and Advanced Planning, Springer. 4th edition cap. Supply Chain Management – An Overview, 9–33

Toth P. , Vigo D. (2014) El problema de enrutamiento de vehículos: problemas, métodos y aplicaciones , Serie MOSS-SIAM sobre optimización, Filadelfia, Pensilvania.