



DISEÑO DE UN MODELO DE RUTEO DE VEHÍCULOS - VRP PARA LA DISTRIBUCIÓN
DE LLANTAS APLICANDO PROGRAMACIÓN DINÁMICA

IBETH BARRETO DELGADO

ANDRÉS MAURICIO CIFUENTES BERNAL
COORDINADOR ESPECIALIZACIÓN Y MAESTRÍA EN LOGÍSTICA INTEGRAL
ESPECIALIZACION GERENCIA DE LOGISTICA INTEGRAL
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
BOGOTÁ D.C.
2016

Diseño de un Modelo de Ruteo de Vehículos - VRP para la Distribución de Llantas Aplicando Programación Dinámica

Model of Vehicle Routing Design -VRP for Tire Distribution Applying Dynamic Programming

Ibeth Z. Barreto Delgado

Profesional en Comercio Internacional, Especialización en Gerencia Logística Integral Facultad
Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granda Bogotá D.C. Colombia
u9500710@unimilitar.edu.co

Abstract— *The transport of finished product or raw materials is a fundamental process of logistics strategy of an organization, often the problems presented in this link are related to the choice of kind of transport, scheduling or planned routes, so that it meets the requirements of customers, avoiding higher costs to the company.*

Many companies design their distribution routes intuitively, without using support tools to increase their profitability and customer satisfaction levels. That is where organizations seek solution methods that are efficient and become a way out of the daily requirement. Therefore, it was suggested, the model routing design problem - VRP, applied to a distributor of tires with variable demand, with different sales points nationwide and has no logical support system for distribution. Currently, the lack of support or software program establishes a set of daily problems that are not solved efficiently affecting the results of the company and generating a low level of customer satisfaction. The approach of this article is basically to design, for the VRP solution model based on dynamic programming heuristic nearest neighbor, to distribute the goods using a routing system by mapping tools based on open access on the network.

Key- words Routing, Efficiency, Distribution System

Resumen— *El transporte de producto terminado o materia prima es un proceso fundamental de la estrategia logística de una organización, a menudo los problemas que se presentan en este eslabón están relacionados con la elección del medio o los medios de transporte y la programación de los movimientos, o rutas que se utilizarán, de modo que cumpla con los requerimientos de los clientes, sin que generen un elevado costo para la organización.*

Muchas empresas diseñan sus rutas de distribución de manera intuitiva, sin utilizar herramientas de apoyo que les incrementen su rentabilidad y niveles de satisfacción al cliente. Es entonces, donde las organizaciones buscan métodos de solución que sean eficientes y se conviertan en una salida ágil a los requerimientos diarios. Por ello, se planteó, el diseño del modelo del problema de ruteo - VRP, aplicado a una empresa distribuidora de llantas con demanda variable, que cuenta con diferentes puntos de ventas a nivel nacional y no tiene un sistema lógico de apoyo para realizar la distribución. En la actualidad, la falta de soporte en programas o sistemas lógicos establece un conjunto de problemas diarios que no se resuelven de manera eficiente afectando los resultados de la empresa y repercutiendo en un bajo nivel de satisfacción al cliente. El planteamiento de este artículo consiste, básicamente en diseñar, para el VRP un modelo de solución basado en programación dinámica heurística del vecino más cercano, para distribuir la mercancía usando un sistema de ruteo por mapeo basándose en herramientas de libre acceso en la red.

Palabras clave— Ruteo, Eficiencia, Sistema de Distribución

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, y pese a las nuevas tendencias tecnológicas desarrolladas para optimizar y agilizar la cadena de suministro, muchas empresas siguen diseñando sus rutas de distribución de manera intuitiva, sin utilizar herramientas de análisis y de apoyo que contribuya a la optimización de sus procesos.

Uno de los eslabones claves en la gestión de la cadena de suministros, es el sistema de distribución y transporte, que es el componente que genera con mayor frecuencia, los sobrecostos y retrasos en el cumplimiento de la entregas, al tratar de cumplir con las expectativas de los clientes para mantener en el mercado a las empresas.

El sistema de transporte, en la actividad económica de las empresas, influye en el éxito de una cadena de abastecimiento y está estrechamente relacionado con su diseño y uso adecuado, así mismo es el responsable de trasladar los productos terminados, materias primas e insumos, entre empresas y clientes que se encuentran dispersos geográficamente, agrega valor a los productos transportados cuando estos son entregados a tiempo, sin daños y en las cantidades requeridas. Igualmente, los costos asociados con el transporte son altamente representativos en la cadena de abastecimiento, constituyen del 50% al 60% de los costos logísticos y están involucrados directamente con la relación que se tiene con proveedores, clientes y competidores [1] [3]

Por ende, el transporte adquiere gran relevancia en la cadena de suministro, impulsando a las empresas a la implementación de un sistema de transporte que les genere los beneficios necesarios para mantenerlas competitivas en el mercado, dicho sistema debe establecer como objetivo, el otorgar a los clientes un alto estándar de calidad en la entrega de productos, y al mismo tiempo, rentabilidad a la empresa, logrando así la consolidación de una cadena de suministro eficiente.

Entendiendo la importancia del transporte en el éxito de las empresas de consumo, se genera la necesidad de implementar un sistema de distribución óptimo, en la búsqueda de la eficiencia de rutas, vehículos más económicos, o consolidación de carga, entre otros

Partiendo de lo expuesto anteriormente, y en favor de reducir los costos logísticos, aumentar el nivel de servicio y la productividad, en los últimos años se ha incrementado el análisis del modelo clásico del problema de ruteo VPR, por sus siglas en inglés (vehicle route problem).

Este modelo de problema, describe el diseño de rutas y plantea la búsqueda de la solución óptima con diferentes restricciones tales como: número de vehículos, capacidad, lugares de destino (clientes) y demanda, entre otras, donde a partir de un depósito del que sale cada vehículo debe realizar una ruta de visita a los clientes para satisfacer su demanda conocida, sin violar las restricciones, todo ello con el fin de buscar el costo mínimo. [4]

El modelo de VRP, tiene sus inicios con Dantzing y Ramser en 1959, cuando modelaron por primera vez la formulación del problema para un estudio de distribución de combustible a diferentes estaciones, partiendo desde una sola estación [6]. Cinco años después, en 1964, Clarke y Wright [7], aportaron la formularon el primer algoritmo de ahorros.

A partir de estos trabajos, el análisis de ruteo de vehículos se ha convertido en la respuesta a múltiples problemas específicos a la distribución de carga de modo vehicular, dependiendo de las necesidades de cada empresa. Encontramos entonces, variaciones del VRP, tales como un VRP con restricciones de distancia (DVRP) VRP con la restricción adicional de una ventana de tiempo asociada a cada consumidor (VRPTW), VRP con retornos (Backhauls) (VRPB), el VRP en donde se permite que el mismo cliente pueda ser atendido por diferentes vehículos siempre y cuando se reduzca el costo total (SDVRP), entre otros. [8] [9]. [15]

Los métodos de solución del Problema de ruteo de vehículos –VRP tienen como objetivo la optimización de las variables asociadas al transporte de mercancías o prestación de servicios, y este objetivo está sujeto a los requerimientos de las compañías que lo implementen. Básicamente, las variables que se relacionan, están asociadas con la menor distancia recorrida, el menor tiempo de distribución, y el menor costo total asociado al transporte.

Dados estos condicionamientos, se dice que el VRP es un problema específico de las siguientes condiciones:

- Es un problema de reparto (delivery) o de recogida (pick-up), pero no ambos.
- Se cuenta con una flota de vehículos, haciendo referencia a la capacidad ilimitada.
- La distancias entre todos los clientes, es conocida
- En general no hay costos de servicio.
- Cada cliente es servido por un solo circuito, durante una sola parada.
- se cuenta con la secuencia de clientes diferentes, comenzando y terminando en el depósito, un circuito o ruta. [10]

La formulación del VRP, se describe en la Ecuación 1, donde la función objetivo busca minimizar un costo C_{ij} , (el costo de ir desde el nodo i hacia el nodo j), respecto a las asignaciones, sujeto a las variables de decisión (X_{ij}), para un periodo de tiempo. [12]

Las variables de decisión son de carácter binario, es decir se asignara 1 o 0 cuando el sistema determine una visita al punto más cercano, y se tendrán tantas asignaciones como puntos a visitar. [14]

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} C_{ij} X_{ij}$$

Ecuación 1: Ecuación de Función Objetivo: Minimización del costo

Las restricciones indican, que el vehículo solo puede visitar una (1) vez cada punto, y la capacidad de los vehículos es representada por K , (ver ecuación 2), Estas condiciones indican las restricciones en cuanto a la capacidad de cada vehículo, teniendo en cuenta que se tiene una demanda por atender en cada punto destino. Cada vehículo tiene una capacidad limitada que depende de las condiciones y el tipo del mismo, por lo que no será posible que un solo vehículo atienda todos los puntos, lo que va a definir una serie de vehículos adicionales o una serie de recorridos de un solo vehículo varias veces. [14]

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

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

$$\sum_{j \in V} X_{0j} = K$$

$$\sum_{i \in V} X_{i0} = K$$

Ecuación 2: Restricciones de la Función Objetivo

Para la solución de este tipo de problemas, se encuentra en la literatura, varios métodos de solución (ver fig: 1), como los métodos exactos, tales como búsqueda directa de árbol, programación dinámica, programación lineal y entera, método de inserción etc. [11], [1],

Heurísticos, que son programaciones encaminadas a resolver problemas de diseño basados en la experiencia que proporcionan soluciones mediante una exploración limitada del espacio de búsqueda, [16], tales como las constructivas que no parten de una solución factible, sino que la van elaborando a medida que progresan. Las de mejora que se desarrollan bajo una solución factible, y las técnicas de relajación que son métodos asociados a la programación lineal. [13]

Y metaheurísticos, entre ellos se encuentran los algoritmos genéticos, búsqueda en vecindarios variables, búsqueda tabú, Colonias de hormigas, entre otros [13]



Figura 1: Taxonomía según métodos de solución

Fuente: Linda Bibiana Rocha Medina; Elsa Cristina González La Rota (2011), Figura Taxonomía según métodos de solución, recuperado de Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. [11]

Dentro del marco de los métodos de solución del VRP, se encuentra la programación dinámica la cual funciona básicamente, descomponiendo el problema global en sub-problemas, y a partir de esta descomposición encontrar los cálculos recursivos que son usados como datos de entrada para el resultado del siguiente sub-problema, el condicionamiento de este proceso se define dependiendo del orden en que se solucione los sub-problemas, la solución del problema global se encuentran cuando se haya solucionado todos los sub-problemas en el orden que se eligió empezar a solucionar.

A partir de lo expuesto previamente, y a pesar de los esfuerzos que hacen algunas empresas por mejorar sus procesos de distribución, existen operaciones que actualmente realizan procesos empíricamente, por tal razón se plantea la propuesta del modelo del problema

de ruteo a una empresa importadora y distribuidora de llantas a nivel nacional, que desde su creación en 2001, ha venido incrementando su portafolio de productos, llegando a manejar marcas de llantas como Bridgestone, Firestone, Goodyear, Pirelli, Ornet, Atturo y Roadstone, y se han convertido en distribuidores exclusivos de la marca Infinity, una línea de llantas con un portafolio que además de automóvil, campero y camioneta incluye camión ligero, que abrió todo un nuevo mercado.

En el 2016, la empresa cuenta con 24 servitecas propias, distribuidas a lo largo de la geografía nacional, y más de 600 clientes ubicados en varias ciudades. La operación de distribución inicia en el puerto de Buenaventura, donde la mercancía es desaduanada, posterior a ser liberada por la aduana, es enviada a Palmira, allí es almacenada en la bodega principal. Desde Arroyo Grande Palmira, se envían las llantas, usando transporte masivo, a las bodegas regionales, que abastecen las servitecas y clientes regionales, el tipo de vehículo utilizado, son camiones con capacidad de carga de 8 toneladas, de eje simple tipo C2 o/y C3 [5], con volumen de 32m³, dada las características de la mercancía, y el factor peso/ volumen. Cada viaje de este tipo de camiones, tiene un valor estimado de \$ 1.350.000, y cada viaje transporta 350 llantas,

En las distribuciones de Bogota y Cundinamarca, se usan vehículos tipo turbo, con capacidad de carga de 4,5 Toneladas, y 18 m³ [5], este vehículo, tiene la capacidad de transportar hasta 240 llantas, y tiene un costo de \$ 970.000, cuyo costos totales promedio mes ascienden a \$20.000.000, que corresponden a 20 vehículos turbo en el mes.

El despacho de las llantas, lo realizan según la llegada de las órdenes de despacho; en el mes se procesan alrededor de 40 órdenes de despacho, que conciernen a 810 llantas promedio en el mismo periodo de tiempo, las llantas son de diferentes tamaños de acuerdo a las existencias de referencias por vehículo, camioneta y moto, según información suministrada por la empresa.

En el análisis y planteamiento del problema de ruteo de vehículos – VRP, se tomara como base los clientes informados por la empresa en referencia, ubicados en la zona central, que corresponde a Cundinamarca y Bogotá, adicional, bajo el precedente que la empresa realiza la distribución de las llantas a los clientes de forma intuitiva y no cuenta con un sistema de análisis de distribución de rutas lógicas, que le permita optimizar costos.

Para el diseño del modelo del problema de ruteo de la distribución de llantas se propone usar la programación dinámica (PD) específicamente la heurística del vecino más cercano, para brindar una solución acorde al requerimiento operativo de la empresa, que permita minimizar recorridos y hacer más eficiente el uso de los vehículos.

II. METODOLOGÍA

En la construcción del diseño y planteamiento del modelo VPR, se utilizaron los datos suministrados por la empresa, correspondiente a la demanda promedio mensual del año 2015 de los 43 clientes existentes en la zona seleccionada, y las distancias entre la Bodega general, ubicada en la AV. Quito con 78 y los puntos de distribución de la zona central, calculadas en la matriz de distancia (ver Tablas 5, 6 y 7).

Partiendo de esta información, se agruparon las demandas de los clientes en rangos temporales que se denominaron T_1 , T_2 y T_3 , estos periodos correspondientes a las órdenes de compra de los clientes en periodos de tiempos cercanos y agrupados en periodicidades semanales, quincenales y mensuales respectivamente. (Ver Fig. 2)

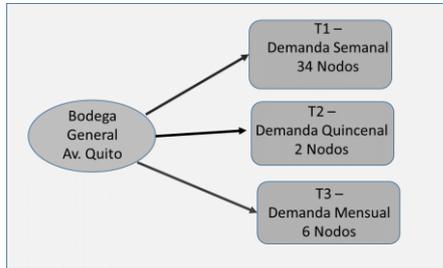


Figura 2: Plan de Ruteo Organizado
Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los intervalos de pedidos temporales en los que los clientes generan la orden de compra y conociendo las demandas que ocurren en estos mismos tiempos, tenemos tres planes de ruteo, cada uno iniciando desde el centro de distribución (Bodega general) y atendiendo la planeación de los clientes según agrupación.

	1	2	3
1	0	9	9
2	12	0	2
3	11	3	0

Tabla 1: Matriz de distancia puntos de distribución en T_2

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	9	12	9	10	9	9
2	12	0	3	3	4	3	3
3	14	4	0	5	4	5	5
4	11	2	5	0	2	0,480	0,387
5	11	2	4	0,741	0	0,798	0,705
6	11	2	5	0,476	2	0	0,488
7	11	2	5	0,36	2	0,93	0

Tabla 2: Matriz de distancia puntos de distribución en T_3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	13	14	13	25	13	13	12	13
2	9	0	3	0,53	14	2	0,7	3	11
3	10	3	0	3	14	0,971	3	2	10
4	9	0,371	3	0	14	2	17	3	11
5	22	15	14	15	0	15	15	15	14
6	10	3	0,94	3	15	0	3	2	11
7	9	0,354	3	0,406	14	2	0	11	11
8	9	3	1	3	15	0,999	3	0	11

Tabla 3: Muestra de la matriz de distancia para los puntos de distribución en T_1

Posterior a la segregación de los clientes o nodos, se construye la matriz de distancias, por cada T_i , indicando la distancia en kilómetros desde el centro de distribución a cada nodo, y el retorno. (Ver tabla 1,2 Y 3), se tienen en cuenta las distancias de ida y regreso que son diferentes, puesto que dada las condiciones viales de la zona, no necesariamente es el mismo recorrido.

Se incluye la Tabla 3, con una muestra de la matriz de distancia, donde se la determinación de la distancia en kilómetros entre cada punto, se realiza usando un mapa de la zona, generando los mapeos por cada periodo temporal, de ida y de vuelta, considerando que las rutas desde el centro de distribución a cada nodo es diferente a la de cada nodo al centro de distribución.

Por último y para la generación de la solución, se plantea un código de programación en visual Basic VBA para Excel. El objetivo es suplir la demanda de acuerdo a los requerimientos de vehículos que tengamos en este sistema, teniendo 3 facetas de costos: un costo (variable distancia) que será semanal (T_1) otro quincenal (T_2) y el último mensual (T_3).

III. ANÁLISIS DE DATOS

A partir del planteamiento de la metodología, se relaciona la demanda en promedio, por cada grupo de clientes, segmentados en los tres periodos temporales, obtenemos 34 clientes para T_1 demandando 544 llantas, (ver tabla 4) 2 clientes T_2 demandando 102 llantas (ver tabla 5) 6 clientes T_3 demandando 164 llantas (ver tabla 6)

Número de Clientes	Demanda Promedio mes	Número de Clientes	Demanda Promedio mes
1	4	18	12
2	10	19	6
3	14	20	11
4	18	21	10
5	7	22	22
6	17	23	8
7	15	24	13
8	9	25	8
9	45	26	11
10	15	27	9
11	17	28	30
12	9	29	25
13	6	30	40
14	11	31	32
15	8	32	28
16	19	33	32
17	7	34	16
Total llantas	231		313
Total demanda de llantas al mes:	544		

Tabla 4: Demanda clientes T_1

Número de Clientes	Demanda Promedio mes
1	48
2	54
Total demanda de llantas al mes:	102

Tabla 5: Demanda clientes T_2

Número de Clientes	Demanda Promedio mes
1	25
2	21
3	34
4	28
5	22
6	34
Total demanda de llantas al mes:	164

Tabla 6: Demanda clientes T_3

Una vez determinados los conjuntos de clientes, se definió el código de programación en VBA para Excel, cuyo diagrama de flujo se resume a continuación (ver Ilustración 1): El algoritmo parte de una solución inicial y se realizan las rutas que disminuyan el costo de distancia, siempre que no infrinjan las restricciones planteadas del problema.

Por cada periodo temporal y teniendo las variables identificadas, tales como el número de clientes, distancias, demandas, capacidad vehicular y numero de pasos, es decir, cuantas veces el vehículo pasara por cada punto, se parametriza las restricciones del problema que básicamente son la cantidad demandada, la capacidad vehicular y el número de vistas que debe realizarse, la ruta de los vehículos deben ser eficientes calculando las distancias más cercanas entre puntos (vecino más cercano).

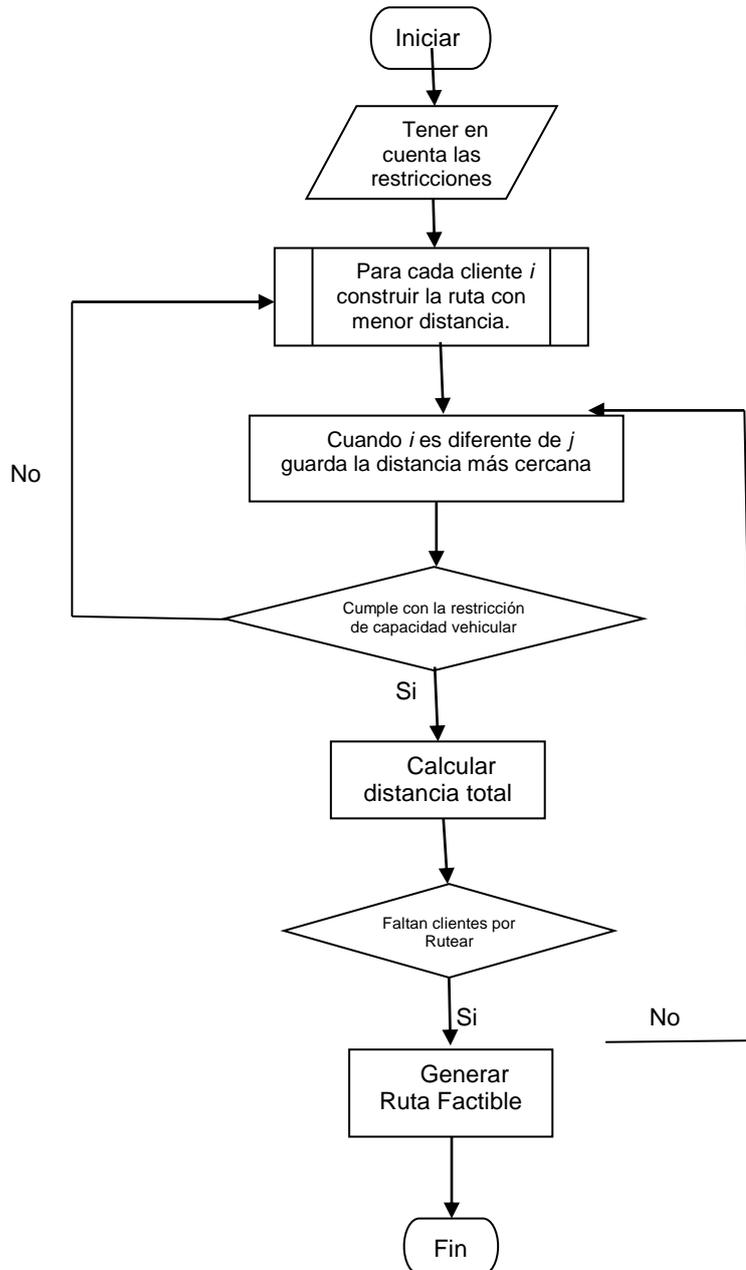


Ilustración 1: Diagrama de Algoritmo Heurística

El sistema ubica primero la distancia mínima posible utilizando el vehículo con la capacidad limitada de 240 llantas, teniendo en cuenta la función mínima distancia factible la ruta del vehículo, a través de todos los vértices del subconjunto, luego encuentra la distancia de todos los subconjuntos de trayectos de la ruta, con ese mismo vehículo.

A partir del diagrama (ver Ilustración 1) se desarrolla el código en excel, respecto al cual se presentan los resultados del modelo y el mapeo óptimo, para cada una de las segmentaciones del clientes.

El sistema arrojo 3 circuitos para cubrir la demanda semanal de los 34 clientes.

Para los clientes de T₁, el circuito abarca 13 puntos (ver fig. 3) partiendo desde la Bodega Principal, (punto A), con un recorrido total de 45 kilómetros, y 232 llantas transportadas, es decir, optimización del 96% de la capacidad de carga del vehículo asignado. (Ver tabla 7).

Ruta 1 la distancia de la ruta es 45 km

Paso #	Cliente	Demanda
1	1	0
2	26	8
3	23	22
4	17	19
5	27	11
6	16	8
7	32	32
8	30	25
9	28	9
10	31	40
11	29	30
12	33	28
13	1	0

Tabla 7: Ruta 1 – Clientes T₁

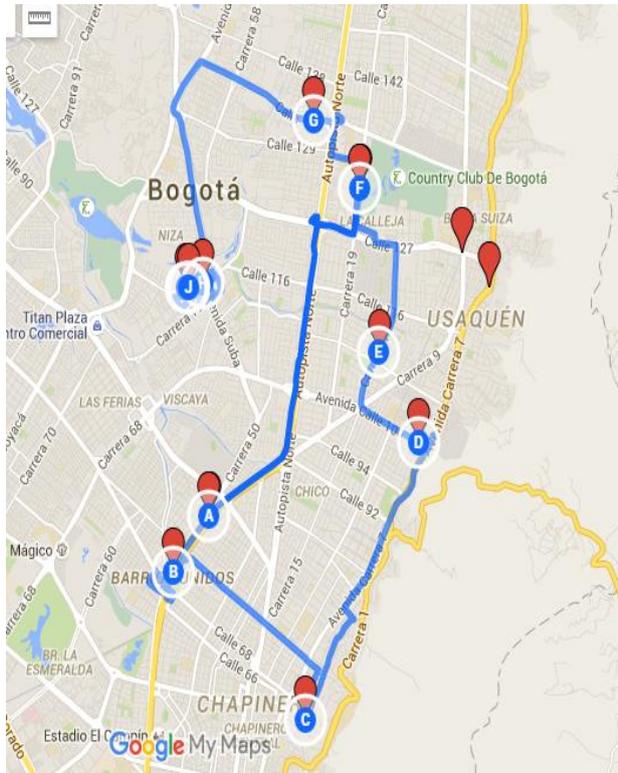


Figura 3: Circuito 1 – T₁

En el segundo Circuito, la ruta cubrirá 18 clientes, (ver tabla 8), partiendo desde la Bodega Principal, (punto A),

con 43 kilómetros de recorrido y transportara 231 unidades de llantas, el vehículo tendrá una ocupación del 96% (ver tabla 8, fig. 4)

Ruta 2 la distancia de la ruta es 43 Km

Paso #	Cliente	Demanda
13	1	0
14	15	11
15	11	15
16	2	4
17	10	45
18	4	14
19	18	7
20	5	18
21	22	10
22	21	11
23	3	10
24	6	7
25	20	6
26	13	9
27	8	15
28	34	32
29	7	17
30	1	0

Tabla 8: Ruta 2 – Clientes T₁

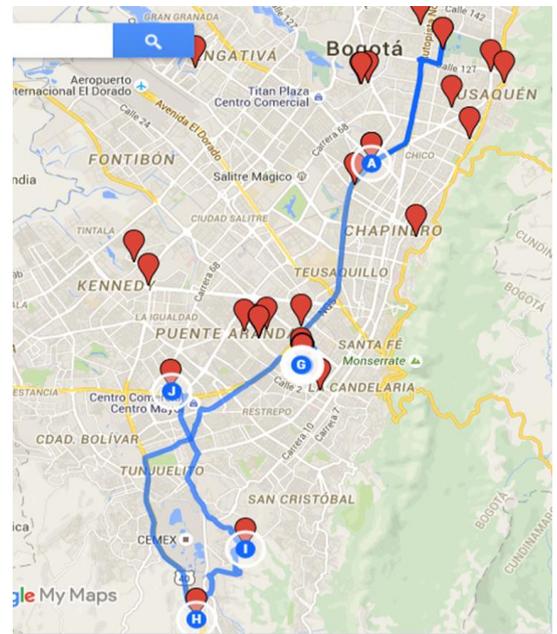


Figura 4: Circuito 2 – T₁

El tercer circuito, describe la ruta de entrega para 7 clientes, partiendo desde la Bodega Principal, (punto A),

que representan 113 kilómetros de recorrido, y 81 unidades transportadas, y solo 3% de utilización del espacio del vehículo. (Ver tabla 9, fig. 5)

Ruta 3 la distancia de la ruta es 113 km

Paso #	Cliente	Demanda
30	1	0
31	9	9
32	24	8
33	14	6
34	19	12
35	12	17
36	25	13
37	35	16
38	1	0

Tabla 9: Ruta 3 – Clientes T₁

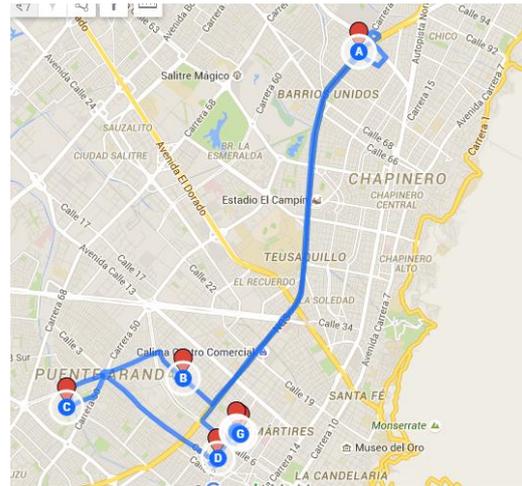


Figura 7: Circuito 3 – T₃

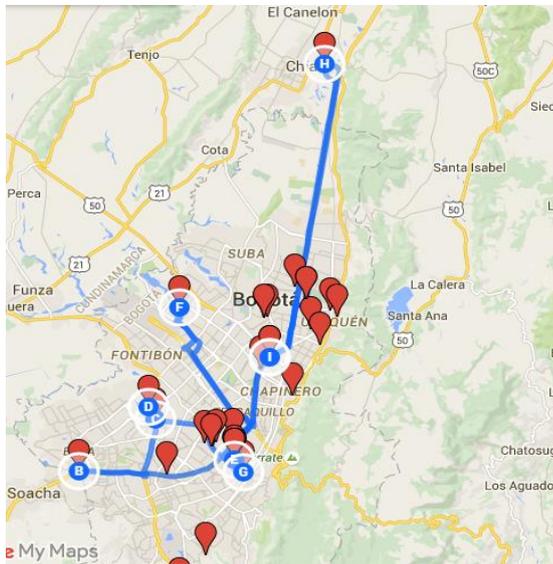


Figura 5: Circuito 3 – T₁

Para las rutas de los clientes T₂ y T₃, el sistema indicó que se utilizaría un solo camión con un solo circuito, y dada que la cantidad baja de demanda, no se optimizara la capacidad del vehículo (ver fig. 6 y 7)

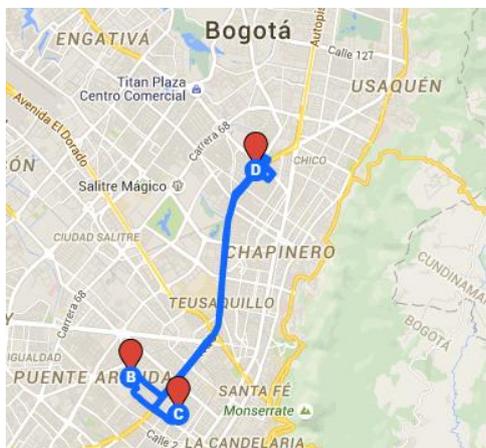


Figura 6: Circuito 3 – T₂

IV. CONCLUSIONES

Con el plan estructurado y organizado de acuerdo a las rutas planteadas y el cronograma temporal, se puede tener una disminución de costos de transporte, basados en el número de vehículos que tendrán que realizar las rutas planteadas de acuerdo a los periodos temporales. Adicional, crear seguimiento de costos más detallado y controlado.

Teniendo en cuenta, las distancias y tiempos de recorridos, la planeación de las entregas se podrá realizar más eficientemente, llegando a aumentar el nivel de satisfacción al cliente.

Se podrá optimizar el uso de los vehículos, disminuyendo el costo del mismo, ya que el vehículo utilizado tiene una capacidad mayor a la necesidad de la empresa, es posible que se utilice un vehículo con menos capacidad, que representa menor costo de transporte.

V. REFERENCIAS

la acera.» *Revista de Ingeniería - Universidad de Los Andes*, nº 13, pp. 5-11, 2001.

- [1] Z. A. D. VALENCIA, de «Regulación de los servicios de transporte,» de *Regulación de los servicios de transporte en Colombia y comercio internacional*, Bogota, Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2004, p. 40.
- [2] R. H. Ballou, «Logística, Administración de la Cadena de Suministro Quinta Edición,» Mexico, Pearson Educación, 2004, pp. 13-14.
- [3] S. ESTRADA MEJÍA, L. S. RESTREPO DE OCAMPO y BALLESTEROS SILVA, «ANÁLISIS DE LOS COSTOS LOGÍSTICOS EN LA ADMINISTRACIÓN,» *Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, nº 45, p. 275, 2010.
- [4] S. R. y E. W. B. Golden, «The vehicle routing problem: latest advances and new challenges,» New York, Springer, 2008, pp. 3-122.
- [5] L. G. F. A. E. A. Luis F. Macea 1, «Evaluación de factores camión de los vehículos comerciales de carga que circulan por la red vial principal colombiana,» *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, nº 66, pp. 62-63, 2013.
- [6] G. R. J. Dantzig, de *The truck dispatching problem.*, *Management Science* 6, 1959, pp. 80-91.
- [7] G. W. W. Clarke, de *Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points.*, *Operations Research* 12, 1964, p. 568-581.
- [8] Paolo Toth y Daniele Vigo, de «The Vehicle Routing Problem». *Society of Industrial and Applied Mathematics (SIAM) monographs on discrete mathematics and applications.*, Philadelphia, USA., 2002, pp. 1-23, 109-149..
- [9] M. B. M. C. M. M. y. M. M. Leonora Bianchi, de *Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands*, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol 3242., 2004, pp. 450-460.
- [10] Y. L. V. CASTIBLANCO, *ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE RUTEO DE VEHÍCULOS*, Bogota, 2015.
- [11] L. Bibiana y E. Cristina, *Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución*, Bogota, 2011.
- [12] I. D. G. Calvillo, «El problema de ruteo de vehículos,» Huila, 2010.
- [13] M. B. J. B. y. B. V. Armin Lüer1, *El problema de rutas de vehículos: Extensiones y métodos de resolución, estado del arte*, Chile, 2009, pp. 4-5.
- [14] E. O.-B. J. L. M. F. C. E. Torres Pérez, «Revisión y programación de modelos de optimización como una plataforma en GAMS-CPLEX para problemas de ruteo de vehículos,» de *Taller Latino de la Investigación de Operaciones*, Mexico, 2011.
- [15] A. V. V. A. R. Burak Eksioglu, «The vehicle routing problem: A taxonomic review,» *Computers & Industrial Engineering*, pp. 1472-1483, 2009.
- [16] Alexander Ayala Rodríguez y Edgar González Butrón, «Asignación de rutas de vehículos para un sistema de recolección de residuos sólidos en