

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



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

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTION
LOGISTICA”**

TEMA:

Implementación de una heurística para el CVRPTW en la distribución de repuestos automotrices de una empresa comercializadora en la ciudad de Quito.

AUTOR:

PAUL FERNANDO MOYA ANDRADE

Quito - Ecuador

2020

Resumen

Este trabajo propone la implementación de una heurística para el CVRPTW en la distribución de repuestos automotrices de una empresa comercializadora en la ciudad de Quito, basado en las dificultades actuales del servicio el cual no logra asegurar el cumplimiento de una ventana de tiempo, misma que es fundamental para el desarrollo del negocio, en una Industria cada vez mas competitiva ofertante de productos sustitutos de manera indiscriminada y a costos variados. El análisis de la situación actual basada en información estadística es crucial para el desarrollo del modelo ya que entre otras cosas se pretende mejorar las condiciones actuales en las que se ejecuta el proceso de distribución, con un entendimiento de las necesidad de recursos ajustados a la realidad de las demandas de servicio, así como también de productividad, inproductividad, volumetría de la demanda. Finalmente la aplicación de una heurística como herramienta técnica que sustituya la metodología empírica que se utiliza en la actualidad, dejará como pauta en el futuro una operación cuantificable y estandarizada con KPI's de gestión de servicios.

Abstract

This work proposes the implementation of a Heuristica for the CVRPTW in the distribution of automotive parts of a trading company in the city of Quito, based on the current difficulties of the service which cannot ensure compliance with a time window, which is fundamental for the development of the business, in an increasingly competitive industry offering substitute products indiscriminately and at varying costs. The analysis of the current situation based on statistical information is crucial for the development of the model since, among other things, it is intended to improve the current conditions in which the distribution process is executed, with an understanding of the need for resources adjusted to reality. of service demands, as well as productivity, inproductivity, volumetric demand. Finally, the application of a heuristica as a technical tool that replaces the empirical methodology that is currently used, will leave as a guideline in the future a quantifiable and standardized operation with service management KPIs.

DEDICATORIA

Ofrezco todo mi esfuerzo y sacrificio de este trabajo así como de mi vida entera a la suprema personalidad de Dios, quien con su gracia y bondad me ha permitido dar lo mejor a cada momento de este proceso.

A mi Esposa Gabriela, quien forma parte de las bendiciones de mi vida, a ella por su constancia y apoyo incondicional.

A mis hijos por ser el motor de todo esfuerzo, a ellos quienes hacen que todo lo difícil valga la pena.

Gracias Infinitas.

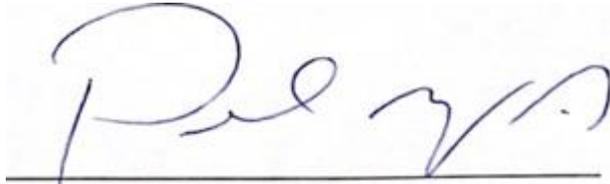
AGRADECIMIENTO

Un profundo y sentido agradecimiento a mi Director Ing. Víctor Alejandro Vega Chica, no solo por su dedicación y generosidad a la hora de transmitir los conocimientos que enaltecen su gran personalidad cargada de valores y principios que también me fueron transferidos a cada momento en sus palabras y acciones. A la Empresa en la que laboro, por su apoyo incondicional al facilitar toda la información que me fue útil en el desarrollo de este proyecto.

DECLARACION EXPRESA

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

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



Paúl Fernando Moya Andrade

TRIBUNAL DE GRADUACION



M.Sc. David de Santis Bermeo
PRESIDENTE



M.Sc. Víctor Vega Chica
DIRECTOR



Erwin Delgado Bravo, Ph.D.
VOCAL

ABREVIATURAS O SIGLAS

1. SKU`s = Stock Keeping Unit o NÚmero de Referencia Único de un Producto
2. CVRPTW = Problema de Ruteo Vehicular Capacitado con Ventanas de Tiempo
3. CDL = Centro de Distribución logístico
4. VRP = Problema de Ruteo Vehicular
5. VRPC = Problema de Ruteo Vehicular Capacitado

6. COD = Cash Of Delivery, cobro contra entrega utilizado en modelos de distribución como medio de pago.

7. PICK UP = Recoger, acción de recoger o recolectar en un proceso Logístico.
8. LAYOUT = Diseño-Diagramación utilizada para establecer funcionalidades y diseños de bodegas logísticas.
9. RETAIL = Al por menor, modalidad de comercialización de productos.
10. CDR = Centro de Distribución Regional
11. PICKING = Preparación de pedidos
12. IN HOUSE = Modalidad de vincular la fuerza laboral de una empresa al interior de otra.
13. SISTEMA P&P = Sistema De Computo Logístico para señalar trazabilidad y reporterita de la empresa Urbano.
14. B2B = Business to Business modalidad de comercialización de Empresa a Empresa.
15. B2C = Business to Customer modalidad de comercialización de Empresa a Consumidor.
16. FILL-RATE = Indicador que mide la cantidad de productos / envíos entregados respecto de los despachados realizados en un período de tiempo cualquiera.
17. OTIF = Indicador que mide la cantidad de productos / envíos entregados en el tiempo acordado además de entregarse en cantidades completas.
18. KNOW HOW = Conocimiento práctico adjudicado a una persona
19. LEAD TIME = Tiempo de espera
20. GIS = Sistemas de Información Geográfica
21. ALNS = Adaptative Large Neighborhood Search
22. VBA = Visual Basic para Aplicaciones
23. C++ = Sistema de programación
24. DEPOT = Depósito utilizado para describir una bodega origen de una ruta de distribución.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	1
Abstract	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
DECLARACION EXPRESA	5
TRIBUNAL DE GRADUACION	6
ABREVIATURAS O SIGLAS	7
TABLA DE CONTENIDO	8
LISTADO DE FIGURAS	10
LISTADO DE TABLAS	11
CAPÍTULO 1	12
1. INTRODUCCION	12
1.1. Antecedentes.....	12
1.2. Planteamiento del problema.....	14
1.3. Justificación.....	15
1.4. Objetivos del Proyecto.....	16
1.4.1 Objetivo General:.....	16
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	16
1.5. Metodología.....	17
CAPITULO 2	18
2.1. Marco Teórico	18
2.1.2 Clientes.....	19
2.1.3 Bodegas o Almacenes.....	19
2.1.4 Vehículos.....	19
2.1.5 Nodo.....	20
2.1.6 Arco.....	20
2.1.7 Ruta.....	20
2.2 Algunas Aplicaciones del VRP.....	20
2.3.Estado del Arte.....	20
2.4. Análisis de situación actual.....	26
CAPITULO 3	32
3.1. Priorización del problema.....	32
3.2. Estrategias de solución.....	34
3.3. Desarrollo de las estrategias de solución.....	34
3.4. HEURISTICA.....	36

3.4.1 VRP SPREADSHEET SOLVER	36
3.4.2 CONSOLA DE RESOLUCION DE VRP	37
3.4.3 LOCALIZACION DE VRP	37
3.4.3 DISTANCIAS DE VRP.....	39
3.4.3 VEHICULOS DE VRP.....	40
3.4.3 SOLUCION DE VRP	41
CAPITULO 4.....	48
4.1. Conclusiones	48
4.2. Recomendaciones	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN GENÉRICA DE UN VRP	21
FIGURA 2. UBICACIÓN NODO	28
FIGURA 3. GRÁFICA OTIF (2019) VENTANA DE TIEMPO.....	33
FIGURA 4. GRÁFICA REPRESENTATIVA VRP SPREADSHEET SOLVER	35
FIGURA 5. PANEL DE COMANDOS VRP SPREADSHEET SOLVER	36
FIGURA 6. CUADROCONSOLA DE RESOLUCIÓNVRP SPREADSHEET SOLVER	37

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. VOLÚMENES AGENCIA QUITO AÑO 2019	16
TABLA 2. NODOS DE DISTRIBUCIÓN	26
TABLA 3. NÓMINA DE PROYECTO	29
TABLA 4. VEHÍCULOS DE PROYECTO	29
TABLA 5. VEHÍCULOS DE PROYECTO	30
TABLA 6. CUADRO GASTO TOTAL PROYECTO	30
TABLA 7. CUADRO UTILIDAD TOTAL PROYECTO	31
TABLA 8. TABLERO KPI`S FILL RATE (2019)	32
TABLA 9. TABLERO KPI`S OTIF (2019) MEDIDO EN DIAS	33
TABLA 10. TABLERO KPI`S OTIF (2019) MEDIDO VENTANA DE TIEMPO.....	33
TABLA 11. CUADRO UBICACIÓN VRP SPREADSHEET SOLVER	38
TABLA 12. CUADRO VOLUMENES POR AGENCIA	38
TABLA 13. CUADRO DISTANCIAS VRP SPREADSHEET SOLVER	39
TABLA 14. CUADRO VEHÍCULOS VRP SPREADSHEET SOLVER	40
TABLA 15. CUADRO OTROS GASTOS.....	41
TABLA 16. CUADRO SOLUCIÓN 1 VRP SPREADSHEET SOLVER VEHÍCULO 1	42
TABLA 17. CUADRO SOLUCIÓN 1 VRP SPREADSHEET SOLVER VEHÍCULO 2	42
TABLA 18. GRÁFICA SOLUCIÓN RUTAS 2 VEHÍCULOS	43
TABLA 19. CUADRO RENTABILIDAD DEL NEGOCIO	44
TABLA 20. CUADRO RENTABILIDAD DEL NEGOCIO AJUSTADO	44
TABLA 21. CUADRO SOLUCIÓN 2 CAMIÓN ADICIONAL VRP SPREADSHEET SOLVER1	45
TABLA 22. CUADRO SOLUCIÓN 2 CAMIÓN ADICIONAL	45
TABLA 23. GRÁFICA SOLUCIÓN RUTAS 2 VEHÍCULOS	46
TABLA 24. GRÁFICA SOLUCIÓN GOOGLE EARTH RUTA 1	47
TABLA 25. GRÁFICA SOLUCIÓN GOOGLE EARTH RUTA 2	47

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

La Compañía Courier objeto de este análisis es una multinacional que tiene presencia en varios países latinoamericanos como es el caso de Argentina, Chile, Perú, Ecuador y el Salvador. Su portafolio de servicios abarca la Paquetería, Distribución de Documentos Masivos, Valores (Tarjetas de Crédito) e Inteligencia de Negocios.

La empresa Courier tiene sus orígenes en Ecuador y comienza su operación como una compañía de correo privado doméstico para el mercado local. Rápidamente alcanza volúmenes importantes de envíos mensuales con las principales instituciones Financieras del país dedicadas a la emisión de servicios crediticios, bajo la modalidad de tarjeta de crédito, así como también con empresas de telefonía celular, tiendas departamentales y toda aquellas empresas que tienen la necesidad de transmitir información de estados de cuenta a sus clientes.

En la actualidad esta empresa Courier cuenta con un total de 1000 mensajeros en las calles de Ecuador para la división Postal y alrededor de 200 más en la división de paquetería. El gran éxito en Ecuador motivó a los accionistas a considerar la posibilidad de extender su mercado internacionalmente, siendo Perú el país escogido para emprender este reto soñador. Cuando comienzan operaciones en Perú en el año 2003 se implementa la estrategia de adquirir una empresa Courier local que ofrece el servicio de correo masivo para una empresa de telefonía celular con su base de operación en España. Los altos niveles de satisfacción en el servicio del mercado Peruano conducen a que esta empresa Courier consiga importantes contratos con empresas de la industria Financiera repitiendo de esta manera el modelo y éxito logrado en Ecuador.

La Compañía introduce como segunda estrategia la implementa de innovaciones en el servicio diversificando los productos y las herramientas tecnológicas, con el propósito de captar la atención de un mercado ávido de diferenciarse de sus

competidores. Rápidamente la empresa es conocida por su capacidad de cumplimiento y la voluntad de desarrollar soluciones adaptadas a cada cliente. Con la adquisición de Tumsac en Perú, la organización amplía la oferta de servicios y la cartera de clientes dentro y fuera de Lima.

El éxito en estos dos primeros países afianza y fortalece el sueño de tener un crecimiento multinacional por lo que en 1998 se lanza la operación de logística liviana en El Salvador con igual o mayor éxito que Perú, de esta manera los clientes dan la bienvenida a la posibilidad de contar con la fiabilidad y despliegue de una operación de paquetería.

La Compañía Courier renueva su identidad. La presentación de su nueva imagen es reforzada por una campaña de medios masivos que incluye una extensa pauta en canales de cable en toda la región. Gracias a la suma de las innovaciones logradas, alcanza a posicionarse como una empresa integral de soluciones logísticas; una definición que en la práctica supera el alcance del negocio postal que la originó.

En el 2011 logra la diversificación de su negocio de logística liviana en todos sus mercados y se crean divisiones especializadas para el negocio de soluciones de carga liviana.

En el 2012 logra integrar la capacidad de Inteligencia de Mercado tras la adquisición de LatinLists, adquiriendo una dimensión de conocimiento y sofisticación a las soluciones ofrecidas, que se asemeja más a los modelos de correo europeo que a las tradicionales ofertas de la región.

En Perú, se integra la capacidad de impresión digital masiva y una compañía de soluciones de Mercadeo Directo especializada en Trade Georetail de Perú, añade una visión de vanguardia a la aplicación de la información disponible en bases de datos para la creación de soluciones especializadas para el Retail.

En el año 2016 inicia su operación como empresa Courier en el mercado Chileno, logrando destacarse por sobre todas las cosas por la distribución de valijas empresariales (Sistema Financiero), su principal característica el cumplimiento de las ventanas horarias establecidas.

De esta manera esta empresa continúa con su liderazgo, en toda su red hay más de 7mil empleados y 100 sucursales que mueven más de 300 millones de envíos anualmente. Hoy en día, se aproxima a las necesidades de clientes desde ópticas

mucho más sofisticadas y continúa evolucionando con la convicción de que el crecimiento sostenible radica en la innovación y la incorporación de recursos tecnológicos a una gran red operativa y de servicios.

En la actualidad debido al desarrollo de la tecnología y de la comunicación masificada a través de la Internet, la distribución de estados de cuenta fuente principal de ingresos de la compañía ha ido disminuyendo, ya que la posibilidad que tienen las personas de recibir esta información vía correo electrónico va en incremento, más aún cuando políticas estatales fomentan esta forma de informar sobre sus estados financieros a las personas en general.

Por esta razón la organización establece como prioritario y estratégico fortalecer sus modelos de distribución de paquetería como la manera más lógica de prolongar su desarrollo organizacional dentro de la industria Courier.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad la comercialización de autopartes es un pilar fundamental en desarrollo de la creciente industria Automotriz. Esto significa que la venta de repuestos es proporcional al desarrollo de esta Industria, obligando a que con este desarrollo paralelamente surjan otros fenómenos como es el incremento de ofertantes en el mercado que miran en este negocio una gran posibilidad de desarrollo económico.

La mayoría de grandes Corporaciones han incorporado en sus modelos de comercialización la diversificación de los productos originales con productos genéricos de fabricación Asiática. En conclusión con más ofertantes en el mercado y mayor disponibilidad de productos sustitutos la única posibilidad de éxito comercialmente hablando se encuentra en la exactitud y cumplimiento de la reposición de inventarios.

Inventarios que se caracterizan por tener un modelo PULL debido a la naturaleza de sus volúmenes de inventarios en cada punto de venta(pequeños) ya que en su gran mayoría se trata de negocios, talleres y concesionarios que no cuentan con infraestructura suficiente para garantizar en su totalidad la gran cantidad de SKU`s (unidad de mantenimiento de existencias, artículo/ producto)que ofrece esta industria.

Es por esta razón que la responsabilidad de éxito del modelo comercial que propone esta industria Automotriz recae sobre la capacidad de desarrollar un Ruteo Vehicular satisfactorio para las variables de capacidad y ventanas horarias. En este punto la empresa courier prestadora del servicio de distribución de los productos juega un rol preponderante y asume el éxito comercial de la empresa comercializadora de repuestos como un gran reto y compromiso, ya que de sus estrategias y modelos de distribución creados dependerá el éxito diferenciador del mercado de comercialización automotriz.

El cumplimiento de las ventanas horarias cumplen un rol importante a la hora de impulsar el éxito de la comercialización de autopartes, ya que básicamente el hecho de que un repuesto sea entregado a su destinatario de forma oportuna marca la diferencia de que otras industrias o procesos productivos se reactiven.

El impacto del incumplimiento desencadena problemas asociados con los costos de oportunidad de venta, así como también demandas de lucro cesante que en algunos casos pueden representar hasta un 5% del valor facturado por concepto de venta.

Para las empresas ofertantes del servicio de distribución es necesario diferenciar las condiciones particulares de la distribución de autopartes versus la distribución de la paquetería convencional, para formular un modelo de distribución exclusivo que no interfiera con los objetivos particulares del negocio automotriz.

1.3. Justificación

El servicio de distribución courier deberá ser efectivo y adicionalmente oportuno, y en el caso particular de la entrega de autopartes automotrices, la distribución se convierte en algo más complejo ya que estos envíos se convierten en el IN PUT de un proceso de producción que puede afectar el servicio de importantes empresas de esta industria, entre las que se destacan Concesionarios Vehiculares, Empresas Aseguradoras y Comerciales.

Por otra parte brindar un buen servicio necesariamente deberá fundamentarse en costos racionalizados que permita marginar utilidad para la empresa prestadora del servicio de distribución.

El servicio que presta esta Empresa Courier a una de las más reconocidas empresas de la industria demanda el cumplimiento en la entrega puntual de 502

pedidos promedio mes con un total de 1219 repuestos distribuidos para 17 destinos finales localizados a lo largo de toda la ciudad de Quito.

Para efectos del análisis se considerará que la volumetría de cada pieza movilizada tendrá en promedio 0,013 m³, cifra obtenido en base a la medición física de cada una de las piezas involucradas en el proceso.

Tabla 1. Volúmenes Agencia Quito año 2019

PIEZAS (AÑO 2019)											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1475	2984	1254	1567	1295	1256	956	919	859	566	716	778
VOLUMETRICO MTS ³											0,13
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
191,75	387,92	163,02	203,71	168,35	163,28	124,28	119,47	111,67	73,58	93,08	101,14
KG											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
12.047,57	22.801,25	10.515,70	13.817,22	11.700,92	10.803,80	8.774,98	7.774,29	5.892,18	4.490,63	4.925,52	7.106,25
GUIAS											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
463	556	501	570	603	554	525	501	536	358	439	415

Fuente: Empresa de Estudio

Controlar esta operación bajo un modelo matemático brindará la posibilidad de volverse más competitivos en el mercado de servicio Courier, al mismo tiempo permitirá replicar la aplicación del modelo hacia otros clientes de la misma industria y esta vez de manera generalizada para otras ciudades principales en las que se oferta este servicio.

1.4. Objetivos del Proyecto

1.4.1 Objetivo General:

Implementar una heurística para la solución de CVRPTW (Problema de Ruteo Vehicular Capacitado con Ventanas de Tiempo) a fin cumplir con el tiempo establecido en la distribución de autopartes en una empresa comercializadora de la ciudad de Quito.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Determinar las restricciones adicionales que el modelo actual requiere en relación al modelo CVRPTW tradicional, con la finalidad de cumplir los tiempos de entrega pactados con el cliente.
- Analizar los volúmenes y pesos diarios de despacho que realiza la empresa demandante del servicio para aportar a los insumos necesarios en la construcción del modelo CVRPTW.

- Analizar el tipo y cantidad óptima de recursos a ser utilizados para la implementación de la heurística.
- Definir un sistema de medición de cumplimiento de Objetivos KPI'S que logre la satisfacción del servicio.

1.5. Metodología

Para este trabajo se realizó un entendimiento de las percepciones de servicio, en relación a la satisfacción de la distribución de auto partes bajo las restricciones de ventanas de tiempo.

El resultado demostró una gran oportunidad para ofertar un servicio que particularice las necesidades de cada empresa relacionadas a la industria.

La información necesaria para desarrollar y plantear un modelo de Distribución es:
 Volúmenes y peso de despacho: Analizar la cantidad de envíos y pesos (Paquetes) que realiza el CDL (Centro de Distribución logístico) para cada uno de los puntos de destino (almacenes retail), el entendimiento se lo realizará de forma diaria.

Frecuencias de despacho: Este punto hace referencia al número de veces al día que se realizará un despacho a un punto determinado.

Restricciones de tiempo: En base a la demanda esto determina el límite horario en el que se deberá cumplir la promesa de entrega.

Restricciones de circulación Vehicular: En base a la información anteriormente obtenida se deberá analizar la factibilidad de la circulación vial para cada uno de los transportes. Procurando no incumplir normativas, leyes y ordenanzas municipales.

Ubicación del CDL y cadena retail: Definir la ubicación geográfica del centro Logístico y los destinos, a fin de establecer el ruteo lógico.

Costos operativos: Identificar todos los recursos necesarios para la implementación del modelo con sus costos asociados.

Definición de un sistema de gestión KPI (Key Performance Indicator): Desarrollar e implementar un sistema de gestión que muestre el cumplimiento de los objetivos relacionados con el cumplimiento de la oferta de valor en el servicio.

1. Diseño de la heurística (PLAN)
2. Implementación de la heurística (HACER)
3. Control de KPI (VERIFICAR)

4. Ajustar (MEJORA CONTINUA)

CAPITULO 2

2.1. Marco Teórico

El problema de ruteo vehicular definido como VRP es un desarrollo a partir del problema del viajero TSP, su entendimiento está sujeto a muchas y variadas restricciones que van a depender de factores externos en los que se desenvuelva la compañía que plantee la necesidad de resolver su problema de ruteo vehicular bajo esta modalidad.

Entre los factores externos más importantes que podemos mencionar son la geografía, tráfico, ventanas de tiempo, leyes de tránsito, capacidades vehiculares relacionadas al tipo de productos a transportar, costos operacionales, etc.

Es así que una vez incorporado estos factores a la resolución del problema la complejidad del modelo incrementa, creando de esta manera variaciones al modelo original, conocidos como :

a. VRPTW (Problema de Ruteo Vehicular con Ventanas de Tiempo)

En esta variación el modelo busca un conjunto de rutas que distribuya los pedidos cumpliendo un horario establecido comúnmente en los acuerdos de servicio en el marco de oferta de un producto o servicio.

b. VRPC (Problema de Ruteo Vehicular Capacitado)

Esta segunda Variación del modelo busca un conjunto de rutas que distribuya los pedidos sin sobrepasar las capacidades de Peso y Volumen de los vehículos en relación a los productos que debe transportar.

c. VRPCTW (Problema de Ruteo Vehicular Capacitado con Ventanas de Tiempo)

Esta tercera variación del modelo plantea una combinación de las dos primeras en donde se busca un conjunto de rutas que cumplan la restricción horaria y de capacidad vehicular en función al tipo de producto.

Evidentemente existen muchas variantes adicionales en las que se considera aspectos como Pick Up (recolección) para efectos de desarrollo de este proyecto de tesis tomaremos básicamente estos tres modelos constituyen el 100% de las

necesidades de la resolución del problema planteado en la entrega de autopartes en la ciudad de Quito.

Como podemos entender existen tres elementos involucrados en el modelo de VRP y estos son los clientes, vehículos y almacenes o bodegas.

2.1.2 Clientes

Definido como aquella persona natural o jurídica quien realiza un pago a cambio de un servicio o bien. En el VRP los clientes reciben el servicio o bien a través de una transacción basada en la entrega de productos las misma que puede estar marcada por algunos aspectos particulares como pueden ser : Ventanas de Tiempo, Cod, entregas personalizadas etc .

Cada cliente con una ubicación particular para la entrega recepción de productos y sus productos también cuentan con particularidades de forma y volumen.

Esto último obliga a considerar la capacidad volumétrica y de carga para cada vehículo considerado en el proceso.

2.1.3 Bodegas o Almacenes

Definido como todo aquel espacio físico donde se encuentran almacenándose de forma temporal o permanente los productos para su procesamiento y comercialización. Las Bodega o Almacenes generalmente suelen ser el inicio o fin de una ruta aunque esto no puede ser considerado como una generalidad absoluta. Al igual que los clientes las bodegas o Almacenes responden a particularidades asociadas a Ventanas Horarias asociadas a horas de atención, LayOuts, Capacidades Físicas (patio de Maniobra), Seguridad Física.

2.1.4 Vehículos

Definido como el medio de transporte motorizado o no y que se utiliza en el proceso distribución de productos terminados, materias primas o cualquier objeto que deba ser trasladado de un lugar a otro.

Los vehículos están definidos por su capacidad de carga expresada en peso o volumen, infraestructura para carga Seca o Refrigerada, o infraestructura para volumen, peso, seguridad, acondicionamiento climático etc.

2.1.5 Nodo

Definido como el inicio y/o fin de un Arco y pudiendo ser la ubicación de un cliente o una Bodega / Almacén.

2.1.6 Arco

Definido como el conjunto de dos Nodos representado con las variables $(i;j)$ $(i;k)$ etc, (costo, distancia, horario, etc).

2.1.7 Ruta

Definido como el conjunto de dos o más Arcos que determinan el orden en que avanza el vehículo.

2.2 Algunas Aplicaciones del VRP

Son muchas y muy variadas las Industrias que se pueden beneficiar de las aplicaciones del VRP. La distribución de productos Farmacéuticos, Consumo Masivo.

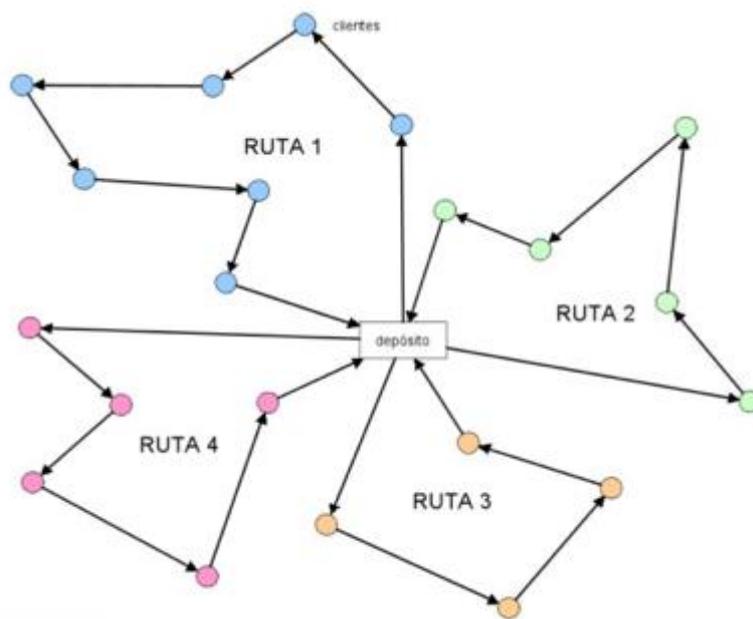
2.3. Estado del Arte

En principio, la diversidad de investigaciones que se han realizado a la fecha sobre el VRP nace del problema (Problema del Vendedor Viajero). (Rego, Gamboa, Glover, y Osterman, 2011) básicamente aquí se describe a un vendedor ambulante que debe encontrar la ruta menos costosa entre ciudades garantizando que cada una de ellas sea visitada exactamente una vez y al final pueda retornar al punto de partida.

En la actualidad asignar un conjunto de rutas para una serie de vehículos es el problema más común que debe enfrentar un proceso de distribución en cualquier empresa del mundo para lo cual se ha dedicado muchos años de estudio denotando académicamente a esta problemática como VRP (problema de ruteo vehicular). El objetivo principal de un VRP es minimizar los costos de distribución de clientes con demandas conocidas (Bermeo Muñoz & Calderón Sotero, 2009).

En literatura los modelos se caracterizan por abordar problemáticas de tipo muy simétrico lo cual facilita el desarrollo matemático del modelo a diferencia de la realidad en donde las restricciones son muy diversas y variadas(Rodríguez, 2013). La representación más básica de un modelo VRP se puede apreciar en el la Figura 1.

Figura 1. Representación Genérica de un VRP



En la publicación de (Bermeo Muñoz & Calderón Sotero, 2009) Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. El Hombre Y La Máquina, podemos apreciar un modelo matemático que representa a la perfección y de forma muy práctica el objeto de este proyecto, se destaca la flexibilidad de la programación respecto al cumplimiento de horarios con miras a reducir costos.

Formulación Matemática

Funcion Objetivo

$$\begin{aligned} \max \sum_{w \in \mathcal{W}^j} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A^k} (p(q_j, w) - c_{ijk}^w) X_{ijk}^w \\ - \sum_{k \in K} \sum_{j \in V^k} c_f^k X_{ojk}^w \end{aligned} \quad (2)$$

Restricciones

Sujeto a

$$\sum_{w \in \mathcal{W}^j} \sum_{k \in K} \sum_{j \in NU\{d(k)\}} X_{ijk}^w = 1 \forall i \in N \quad (3)$$

La tercera ecuacion garantiza que cada cliente j sea servido una vez dentro de la ventana de tiempo permitida por un vehiculo en particular.

$$\sum_{w \in \mathcal{W}^j} \sum_{k \in K} \sum_{j \in N} X_{O(k),j,k}^w \leq V \quad (4)$$

$$\sum_{w \in \mathcal{W}^j} \sum_{j \in NU\{d(k)\}} X_{O(k),j,k}^w = 1 \forall i \in N \quad (5)$$

En donde todos los vehiculos podran partir de su ubicación inicial $o(k)$, y transportarse a uno de los clientes $j \in N$ o a su destino $d(k)$ (5).

$$\sum_{w \in \mathcal{W}^j} \sum_{i \in NU\{o(k)\}} X_{i,j,k}^w - \sum_{w \in \mathcal{W}^j} \sum_{i \in NU\{d(k)\}} X_{i,j,k}^w = 0 \forall k \in K, \forall j \in N \quad (6)$$

$$\sum_{w \in \mathcal{W}^{d(k)}} \sum_{i \in NU\{O(k)\}} X_{i(k),k}^w = 1 \forall k \in K \quad (7)$$

Teniendo que arribar a su ubicación de destino $d(k)$ (7).

La restricciones de tiempo se garantizan con las restricciones (8) y (9).

$$X_{ijk}^{wj} (b_i + s_i + t_{ij} - b_j^w) \leq 0 \quad \forall k \in K, \forall w \in \mathcal{W}^j, \forall (i,j) \in A^k \quad (8)$$

$$e_{jw} \leq b_j^w \leq l_{jw} \quad \forall k \in K, \forall w \in \mathcal{W}^j, \forall j \in V^k \quad (9)$$

A partir de la restriccion 10 hasta la 12 se representa la factibilidad de carga.

$$X_{ijk}^{wj} (Q_{ik} + q_j - Q_{jk}) \leq 0 \quad \forall k \in K, \forall w \in W^j, \forall (i, j) \in A^k \quad (10)$$

$$q_j \leq Q_{jk} \leq C^k \quad \forall k \in K, \forall j \in N \cup \{d(k)\} \quad (11)$$

$$Q_{o(k)}^k = q_o(k) \quad \forall k \in K \quad (12)$$

En el articulo (Diseño de rutas de transporte de personal aplicando modelización matemática para resolver el Problema de Enrutamiento Vehicular Capacitado con Ventanas de Tiempo) publicado por (Marina, L., Vélez, L., Elizabeth, P., Villamar, S., & Chica, V. V. (2012)), se analiza la problemática de optimizar las rutas de recorrido del personal desde un paradero en particular hasta sus lugares de trabajo. A diferencia del objeto o naturaleza de transportar personas, como plantea esta publicación su metodología y entendimientos fácilmente pueden ser aplicados al transporte de autopartes.

Ya que se basa en los mismos principios generales como son el límite de capacidades vehiculares, el cumplimiento de ventanas de tiempo y de igual forma algunos principios específicos como son todos los vehículos parten de un depósito al iniciar sus rutas, todas las paradas deben ser visitadas una sola vez y por un solo vehículo etc.

Minimizar

$$\sum_{k \in K} \sum_{(v_i v_j) \in A} c_{ij} x_{ijk} + \sum_{k \in K} \sum_{(v_i v_j) \in A} f_k x_{ijk} \sum_{k \in k}^{n+1} P v_i \quad (1)$$

$$\sum_{(k \in K)} \sum_{\in \Delta^-(v_j)} x_{ijk} = 1 \quad \forall v_i \in v_0 \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Delta^-(v_0)} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{v_i \in V_c} q_i \sum_{v_j \in \Delta^+(v_i)} x_{jik} \leq Q \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{v_j \in \Delta^-(v_i)} \chi_{ijk} - \sum_{v_j \in \Delta^+(v_i)} \chi_{ijk} \quad \forall k \in K_{v_i} \in \mathcal{V}_c \quad (5)$$

$$h_{v_j} - h_{v_i} > s_{v_i} + t_{ij} + M(1 - x_{ijk}) \quad \forall (v_i, v_j) \in A, k \in K \quad (7)$$

$$e_{v_i} \leq h_{v_i} \leq l_{v_i} + \gamma_{v_i} \quad \forall v_i \in V \quad (6)$$

De esta manera el objetivo del CVRPTW es construir un conjunto de rutas con un costo mínimo a través de un planteamiento técnico, el cual pueda ser revisado y reestructurado cada vez que sea necesario manteniendo de esta forma la eficiencia de las rutas a un menor costo.

Otro aspecto importante que se destaca de esta publicación es la practicidad de utilizar un software como Gams, ya que brinda facilidades como la accesibilidad a la herramienta misma que es relativamente fácil de comprender y administrar.

Finalmente, dentro de la investigación realizada para el desarrollo de este proyecto de distribución de auto partes se considera pertinente la publicación realizada por Eliseo Pérez Kaligari, William Javier Guerrero Rueda (2015) en el que utiliza un modelo IRPTW modificado del modelo original IRP presentado por Archetti et al. (2007).

Si partimos del objetivo de disminuir costos en la distribución es indudable la necesidad de analizar los inventarios de cada depósito o local comercial dado que la frecuencia de despachos puede modificarse de forma favorable si cada punto de venta cuenta con la cantidad de SKU`s necesarios para afrontar la demanda de cada sitio. De esta manera se establecerá políticas de envío que reduzcan la suma de costos de transporte.

Min Z =

$$\sum_{t \in \mathcal{T}'} h_0 \cdot B_t + \sum_{s \in \mathcal{M}} \sum_{t \in \mathcal{T}'} h_s \cdot I_{st} + \sum_{i \in \mathcal{M}} \sum_{j \in \mathcal{M}'} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_{ij} \cdot y_{ijt} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$B_t = B_{t-1} + \gamma_{0t-1} - \sum_{s \in \mathcal{M}} x_{st-1} \quad \forall t \in \mathcal{T}' \quad (2)$$

$$B_t \geq \sum_{s \in \mathcal{M}} x_{st} \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (3)$$

$$I_{st} = I_{st-1} + x_{st-1} - \gamma_{st-1} \quad \forall s \in \mathcal{M}; \forall t \in \mathcal{T} \quad (4)$$

$$I_{st} \geq 0 \quad \forall s \in \mathcal{M} \quad \forall t \in \mathcal{T}' \quad (5)$$

$$x_{st} \leq U_s - I_{st} \quad \forall s \in \mathcal{M} ; \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (6)$$

$$x_{st} \leq U_s z_{st} \quad \forall s \in \mathcal{M}; \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (7)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{M}} x_{st} \leq C z_{0t} \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (8)$$

$$\sum_{t \in \mathcal{M}, i \neq j} y_{ij t} = \sum_{t \in \mathcal{M}', i \neq j} y_{ji t} \quad \forall j \in \mathcal{M}; \forall t \in \mathcal{T} \quad (9)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{M}', i \neq j} Y_{ijt} = z_{jt} \quad \forall j \in \mathcal{M}; \forall t \in \mathcal{T} \quad (10)$$

$$v_{j t} \geq I_{j t} \cdot z_{jt} \quad \forall j \in \mathcal{M}; \forall t \in \mathcal{T} \quad (11)$$

$$v_{it} \geq v_{j t} + d_{j t} - [(1 - y_{j t e}) \cdot (l_{j t} + d_{j t})] \quad \forall i \in \mathcal{M}; \forall j \in \mathcal{M} | i \neq j \quad \forall t \in \tau \quad (12)$$

$$v_{j t} \leq l_{j t} \cdot z_{j t} \quad \forall j \in \mathcal{M} \quad y_{j t} \in \mathcal{T} \quad (13)$$

$$x_{it} \geq 0 \quad \forall s \in \mathcal{M} \quad y_{j t} \in \mathcal{T} \quad (14)$$

$$v_{it} \geq 0 \quad \forall i \in \mathcal{M} \quad y_{j t} \in \mathcal{T} \quad (15)$$

$$y_{ij t} \in [0, 1] \quad \forall i \in \mathcal{M}'; j \in \mathcal{M}' \quad y_{j t} \in \mathcal{T} \quad (16)$$

$$z_{jt} \in [0, 1] \quad \forall j \in \mathcal{M}' \quad y_{j t} \in \mathcal{T} \quad (17)$$

El modelo de IRP presentado por Archetti et al. (2007) comprende las ecuaciones de la (1) a la (10) y el modelo propuesto para solucionar el IRPTW contempla adicionalmente las restricciones de la (11) a la (12). En definitiva, el objetivo del modelo en general es minimizar la suma de los costos de gestión de inventarios

en el depósito, en los minoristas y el de distribución, como se describe en la ecuación (1). Aunque la posibilidad de utilizar los criterios de Inventarios en la resolución de la problemática de este proyecto incrementa su grado de dificultad vemos oportuno entender desde una perspectiva técnica el aporte que obtendríamos de esto si lo que buscamos en la práctica es tener un aporte tangible a los resultados de la compañía encargada del servicio de distribución de auto partes.

2.4. Análisis de situación actual

El servicio de distribución de autopartes que realiza La empresa Courier, a la compañía demandante del servicio en la ciudad de Quito corresponde a 18 destinos detallados a continuación:

Tabla 2. Nodos de Distribución

REFERENCIA	AGENCIA MARESA	DIRECCIÓN
NODO 1	Maresa CDL	Manuel Cordova Galarza km 12.5, Quito
NODO 2	Maresa Service	Avenida 10 de Agosto y Avenida Atahualpa., Quito 170508
NODO 3	Maresa Center Fiat	De los Granados E11-67, Quito 170513
NODO 4	Maresa center	Av. Eloy Alfaro N40-153 y, Quito 170513
NODO 5	Corporación Maresa Holding - CMH	De los Granados E11-67, Quito 170513
NODO 6	Chery	Av. Eloy Alfaro N40-153, Quito 170138
NODO 7	Dongfeng Ecuador	PRIMAX, Av. Simón Bolívar Entre UDLA PARK y gasolinera, Quito
NODO 8	Grupo Mavesa	Av. 10 de Agosto N41-44 y Juan de Ascaray, Quito 170501
NODO 9	Mareauto Avis Granados	Av, De los Granados E11-26 y, Quito 170513
NODO 10	Autofenix S.A.	Av interoceánica, Oswaldo Guayasamín OE8-213 y, Quito 170143
NODO 11	Autofenix - Taller de Servicio en Tumbaco/Cum	Av interoceánica E6-269, Quito 170184
NODO 12	Ambacar Galo Plaza	Avenida Galo Plaza N 59 - 155 y Francisco Namiña, Quito 170120
NODO 13	Grupo Mavesa	Av. Pedro V. Maldonado S24-154 y, Cusubamba, Quito 170606
NODO 14	Grupo Mavesa	Pedro Vicente Maldonado, Saraguro, Quito 170605
NODO 15	Ambacar Quicentro Sur	Kywi, Av. Morán Valverde y Quitumbe esq Quicentro Sur, Subsuelo 2, junto a, Quito 170702
NODO 16	Grupo Mavesa	Av. Gnral. Rumiñahui 15-08 y, Pje. A Cobo PB 101, Quito 171102
NODO 17	Autofenix - San Rafael	Isla Española y Autopista General Rumiñahui, Quito
NODO 18	Autofenix - Taller de Servicio en San Rafael y Va	Autopista General Rumiñahui y, Zaruma Esquina, Sangolquí 171103

Nodos que son atendidos desde el CDR (Centro de Distribución Regional) que a partir de este momento será considerado como Nodo 01 ubicado en la Av. Manuel Galarza vía a la mitad del mundo.

La empresa Comercializadora de repuestos, realiza su corte de facturación todos los días de lunes a viernes hasta las 17:00 pm, esto significa que durante todo el día el pedido es alimentado a su sistema y se procesa de forma continua, una vez facturado la orden de Picking se despacha a la bodega en donde se realiza el proceso de extracción del inventario de cada una de las líneas solicitadas por el cliente final en su factura.

Cuando se ha culminado el proceso de Picking el producto es colocado en un sitio específico de la bodega en donde un funcionario de la Empresa Courier el cual

trabaja bajo la modalidad de In House, revisa la mercadería físicamente para descartar posibles daños y/o embalajes inadecuados para el proceso de distribución, de existir alguna novedad el producto con fallas es devuelto a su posición Rack y se solicita la restitución por un producto que garantice todas las condiciones necesarias.

En ese momento comienza el proceso de la Empresa Courier la cual consiste en admitir cada uno de los pedidos en el sistema P&P, generando una guía de transporte que describe detalladamente la información de origen, destino, remitente, destinatario, dirección, peso, número de piezas, contenido.

Este proceso antepone un pesaje de cada una de las piezas, ya que la unidad transaccional entre la empresa Courier y la Comercializadora de Autopartes es el Kg, al final del período de servicio se contabilizará el total de Kg movilizados multiplicará por la tarifa negociada.

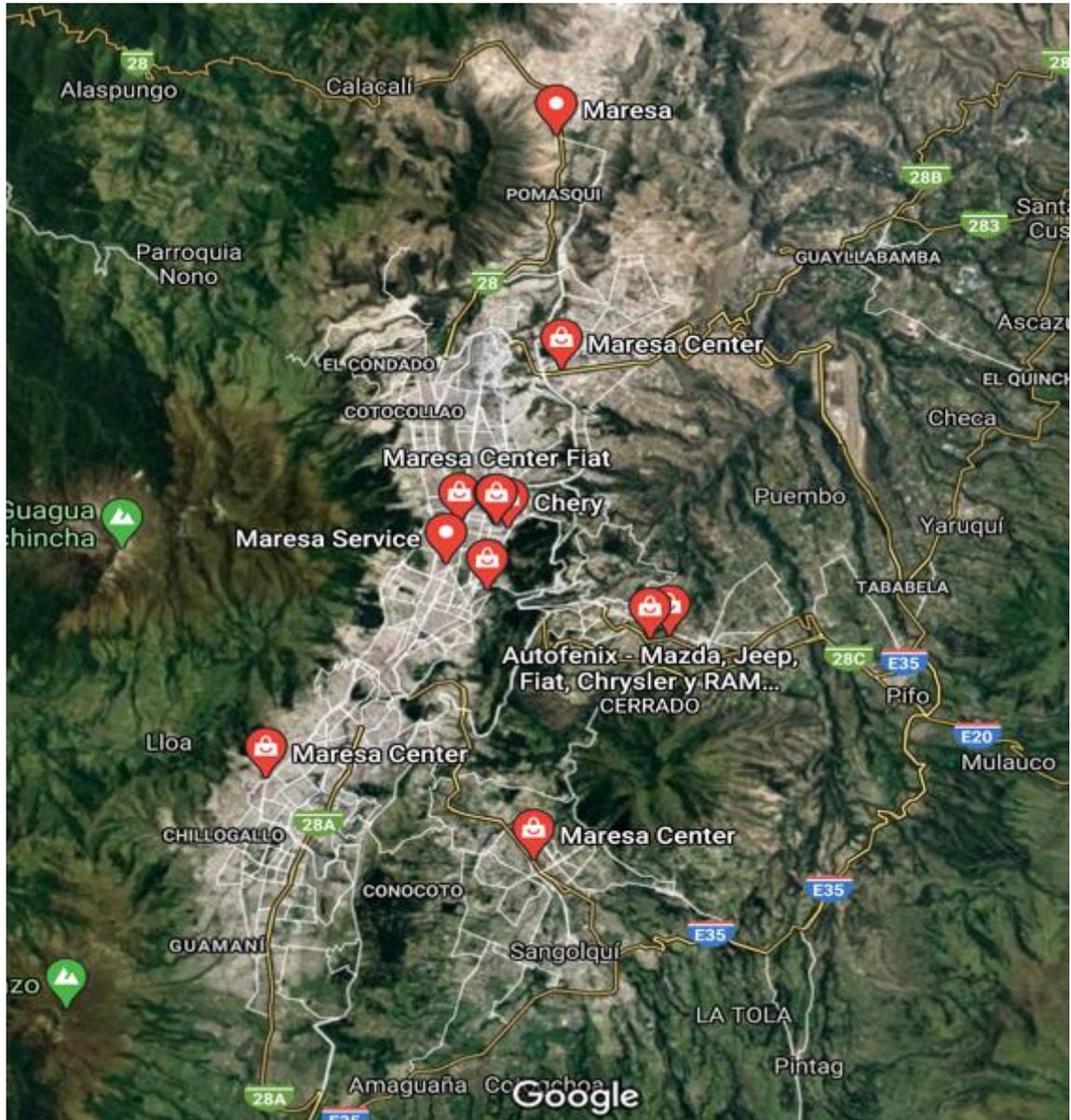


Figura 2. Ubicación Nodo

Finalmente, una vez concluido este proceso la mercadería es clasificada por su dirección de destino en una ruta establecida para su embarque y posterior distribución.

Al día siguiente cada vehículo representante de una ruta en particular que cubre un segmento de la ciudad carga la mercadería asignada y comienza el proceso de distribución a través de un algoritmo mental del vecino más cercano el cual se basa en la experticia del conductor quien deberá garantizar que todos los pedidos estén entregados hasta las 11:00 am.

El número de personas que en la actualidad intervienen en el proceso son 5, tres de los cuales realizan actividades de courier y dos de auxiliares de bodega en calidad de personal In House.

Tabla 3. Nómina de Proyecto

CARGO	CIUDAD	CANTIDAD	SUELDO	PRESTACIONES	VARIABLE	GASTO MES
IN HOUSE	UIO	2	\$ 394,00	\$ 165,48	\$ 50,00	\$ 1.218,96
COURIER	UIO	3	\$ 394,00	\$ 165,48	\$ 50,00	\$ 1.828,44
TOTAL		5	\$ 788,00	\$ 330,96	\$ 100,00	\$ 3.047,40

Fuente: Empresa de Estudio

Cada courier tiene asignado como herramienta de trabajo un vehículo de 5 Tn un Smart Phone que utiliza como equipo de comunicación y transmisión de datos.

Tabla 4. Vehículos de Proyecto

RUTA	DETALLE	VEHICULOS	CAPACIDAD	COSTO	COSTO MES
LOCAL	QUITO	1	5	\$ 35,00	\$ 770,00
LOCAL	VALLES	1	5	\$ 38,00	\$ 836,00
TOTAL					\$ 1.606,00

Fuente: Empresa de Estudio

En el proceso intervienen 18 nodos detallados anteriormente en el Figura N°2 los cuales para efectos prácticos se reducen a 12 debido a que 6 de ellos a pesar de que tienen su propia demanda de pedidos coincidentalmente comparten ubicación geográfica con otro de los nodos, esto sucede porque en el mismo local coexisten dos marcas automotrices representadas por la misma comercializadora a la cual se le brinda el servicio de distribución.

De acuerdo a la información mostrada anteriormente en la Figura 1. Cada nodo recibe en promedio 1.34 pedidos diarios, cada uno con 3,07 piezas por pedido lo que equivale a 0,4 m³ por almacén (nodo) representados en Kg cada almacén recibe 27 Kg diarios.

El tipo de mercadería distribuída comprende faros, baterías, tapicería, parabrisas, latonería, etc.

Se debe aclarar que el proceso de distribución para el canal de comercialización B2B (Business to Business) objeto de este análisis representa el 39,1% del total procesado ya

que el 60,9% abarca el canal B2C (Business to Customer) sobre el total despachado para la ciudad de Quito.

La diferencia particularmente está en que el canal B2B demanda una ventana de tiempo en la que todo pedido debe estar entregado hasta las 11:00 am y el canal B2C en el transcurso del día.

Se considera gastos adicionales a la operación como son las comunicaciones que prácticamente son marginales, un rubro importante es los siniestros los cuales son inevitables debido a la naturaleza del producto y que para efectos del análisis de este proyecto se contabilizan en un 0,04 del total de pedidos procesados es decir 20 mensual a un costo promedio por guía de 30 USD, finalmente tenemos los gastos administrativos que ascienden a un 11% del gasto operativo, cifra proporcionada por la empresa como dato general.

Tabla 5. Vehículos de Proyecto

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	GASTO MES
COMUNICACIONES	3	\$ 25,00	\$ 75,00
GASTOS ADMINISTRATIVOS	11%	\$ 4.653,40	\$ 511,87
SINIESTROS	20	\$ 30,00	\$ 600,00
TOTAL		4708,4	\$ 1.186,87

Fuente: Empresa de Estudio

En conclusión el gasto total de esta operación a groso modo asciende a \$5.840 dólares.

Tabla 6. Cuadro Gasto Total Proyecto

DETALLE	GASTO MES
TRANSPORTE	\$ 1.606,00
MANO DE OBRA	\$ 3.047,40
OTROS GASTOS	\$ 1.186,87
TOTAL	\$ 5.840,27

Fuente: Empresa de Estudio

La rentabilidad del negocio en conclusión es del 22% en la actualidad.

Tabla 7. Cuadro Utilidad Total Proyecto

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	GASTO MES
GASTO TOTAL	501	\$ 11,66	\$ 5.840,27
INGRESOS	501	\$ 15,00	\$ 7.515,00
UTILIDAD		22%	\$ 1.674,73

Fuente: Empresa de Estudio

CAPITULO 3

3.1. Priorización del problema

En la actualidad las mediciones de servicio realizadas por la compañía objeto de estudio son:

FILL-RATE.- Indicador que mide la cantidad de productos / envíos entregados respecto de los despachados realizados en un período de tiempo cualquiera. Esta medición es la más básica y general, se lo utiliza para enmarcar aspectos básicos de servicio.

Tabla 8. Tablero KPI's Fill Rate (2019)

ESTADO DE ENTREGAS GENERAL							
GUIAS CANTIDAD POR ESTADO Y POR MES				GUIAS PORCENTAJE POR ESTADO Y POR MES			
Cuenta de guía				Cuenta de guía			
AÑO / MES	ENTREGADO	NOVEDAD	Total general	AÑO / MES	ENTREGADO	NOVEDAD	Total general
○ 2019	6007	12	6019	○ 2019	99,8%	0,2%	100,0%
1	462	1	463	1	99,8%	0,2%	100,0%
2	553	2	555	2	99,6%	0,4%	100,0%
3	500	1	501	3	99,8%	0,2%	100,0%
4	569	1	570	4	99,8%	0,2%	100,0%
5	600	3	603	5	99,5%	0,5%	100,0%
6	552	2	554	6	99,6%	0,4%	100,0%
7	524		524	7	100,0%	0,0%	100,0%
8	501		501	8	100,0%	0,0%	100,0%
9	536		536	9	100,0%	0,0%	100,0%
10	358		358	10	100,0%	0,0%	100,0%
11	437	2	439	11	99,5%	0,5%	100,0%
12	415		415	12	100,0%	0,0%	100,0%
Total general	6007	12	6019	Total general	99,8%	0,2%	100,0%

Fuente: Empresa de Estudio

El 99,8% de los envíos son entregados con efectividad y solo el 0,02% no se pueden entregar en la medición general esto significa que la desviación está solo en 12 envíos de un total de 6007.

OTIF.- Indicador que mide la cantidad de productos / envíos entregados en el tiempo acordado además de entregarse en cantidades completas. Esta medición es más específica y se lo utiliza como medida principal para la evaluación del servicio, debido a la naturaleza del producto. Para efectos del estudio esta medida se la realiza en dos sentidos cuantos pedidos se entregan en 24 horas y cuantos se entregan antes de las 11:00 am.

Tabla 9. Tablero KPI's Otif (2019) medido en dias

ESTADO DE ENTREGAS EFECTIVAS POR DIAS			
GUIAS CANTIDAD ENTREGAS POR DIAS ESTADO Y POR MES			
Cuenta de guia	Estado		Total
AÑO / MES	D 1	D > 1	general
= 2019	5910	97	6007
1	461	1	462
2	553		553
3	470	30	500
4	558	11	569
5	593	7	600
6	551	1	552
7	523	1	524
8	501		501
9	535	1	536
10	340	18	358
11	432	5	437
12	393	22	415
Total general	5910	97	6007

GUIAS PORCENTAJE ENTREGAS POR DIAS ESTADO Y POR MES			
Cuenta de guia	Porcentaje		Total
AÑO / MES	D 1	D > 1	general
= 2019	98,4%	1,6%	100,0%
1	99,8%	0,2%	100,0%
2	100,0%	0,0%	100,0%
3	94,0%	6,0%	100,0%
4	98,1%	1,9%	100,0%
5	98,8%	1,2%	100,0%
6	99,8%	0,2%	100,0%
7	99,8%	0,2%	100,0%
8	100,0%	0,0%	100,0%
9	99,8%	0,2%	100,0%
10	95,0%	5,0%	100,0%
11	98,9%	1,1%	100,0%
12	94,7%	5,3%	100,0%
Total general	98,4%	1,6%	100,0%

Fuente: Empresa de Estudio

De un total de 6007 envíos realizados solo el 98,4 % se entrega en 24 horas y 1,6% de los envíos se entregan bajo la condición D+1 es decir al día siguiente de lo convenido, esto muestra que en el lapso del 2019 un total de 97 envíos se retrasaron en la entrega un día de lo convenido.

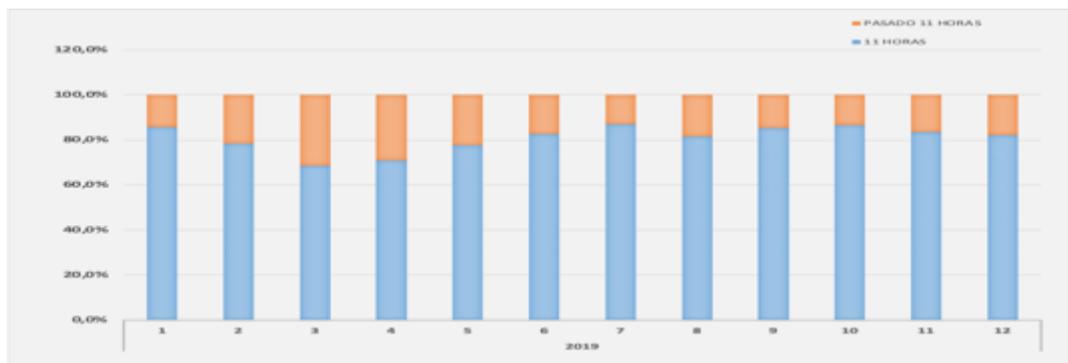
Tabla 10. Tablero KPI's Otif (2019) Medido Ventana de Tiempo

B to B / to C destino			
GUIAS CANTIDAD POR HORARIO Y POR MES			
Cuenta de guia	Horario		Total
AÑO / MES	11 HORAS	PASADO 11 HORAS	general
= 2019	4846	1173	6019
1	397	66	463
2	435	120	555
3	344	157	501
4	404	166	570
5	468	135	603
6	458	96	554
7	456	68	524
8	409	92	501
9	457	79	536
10	310	48	358
11	367	72	439
12	341	74	415
Total general	4846	1173	6019

B to B / to C destino			
GUIAS PORCENTAJE POR HORARIO Y POR MES			
Cuenta de guia	Horario		Total
AÑO / MES	11 HORAS	PASADO 11 HORAS	general
= 2019	80,5%	19,5%	100,0%
1	85,7%	14,3%	100,0%
2	78,4%	21,6%	100,0%
3	68,7%	31,3%	100,0%
4	70,9%	29,1%	100,0%
5	77,6%	22,4%	100,0%
6	82,7%	17,3%	100,0%
7	87,0%	13,0%	100,0%
8	81,6%	18,4%	100,0%
9	85,3%	14,7%	100,0%
10	86,6%	13,4%	100,0%
11	83,6%	16,4%	100,0%
12	82,2%	17,8%	100,0%
Total general	80,5%	19,5%	100,0%

Fuente: Empresa de Estudio

Figura 3. Gráfica Otif (2019) Ventana de Tiempo



Fuente: Empresa de Estudio

Apenas el 80,5% de los envíos cumplen la condición de entregarse antes de las 11:00 am, es decir 1173 envíos marcan la desviación del servicio.

Por lo tanto podemos concluir que la problemática se enmarca en el incumplimiento mostrado en el indicador OTIF ya que en ninguno de las dos mediciones se obtiene un resultado aceptable, sobre todo en el que muestra las entregas realizadas hasta las 11:00 am.

3.2. Estrategias de solución

En base a la información y resultados mostrados en capítulos anteriores, se plantea la necesidad de establecer soluciones prácticas que dinamicen los procesos en base a los recursos disponibles, de tal manera permitan a la empresa objeto de estudio cumplir con sus compromisos comerciales en cuanto a niveles de servicio se refiere.

Dichas soluciones además deberán ajustarse al factor tiempo disponible para el Cross Docking que naturalmente arroga la industria Courier en el país. Tecnificar el criterio con el que se establece la ruta de distribución diaria es fundamental ya que esto permitirá mejorar los indicadores OTIF, y entre otros beneficios se lograría minimizar la dependencia al KNOW HOW de los transportistas que en la actualidad establecen la ruta en base al algoritmo mental del vecino más cercano, en donde las principales restricciones son sus intereses particulares y no el cumplimiento del LEAD TIME con el cliente.

3.3. Desarrollo de las estrategias de solución

En el contexto de todo lo expuesto anteriormente se plantea la opción de utilizar una herramienta que se ajuste de forma práctica a las condiciones y circunstancias en las cuales se desarrolla el proceso, incluyendo en el análisis la preparación y criterio técnico del personal a cargo del proceso de supervisión logístico de distribución de autopartes.

Microsoft Excel es un utilitario que mundialmente es utilizado de manera preferente tanto para el registro, archivo, resolución de problemas y presentación de los mismos en diferentes niveles de acuerdo al expertis del usuario, lo que permite cierta familiaridad con la herramienta en todos los niveles de usuario inclusive los más básicos, por lo que si a través de una capacitación podemos lograr que los usuarios de la empresa en estudio alcancen la habilidad necesaria para incorporar en su día a día un libro de trabajo denominado "VRP Spreadsheet Solver" diseñada para uso masivo y sin licencia representando, resolviendo y visualizando los resultados de los problemas de generación de rutas de vehículos (VRP). Este Solver unifica Excel, GIS público y metaheurísticas. Esta versión libre puede resolver problemas de generación de rutas de vehículos con hasta 200 clientes.

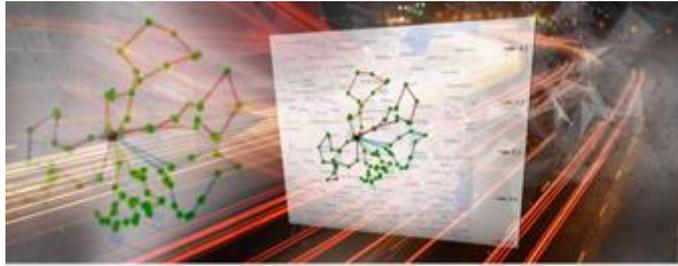


Figura 4. Gráfica representativa VRP Spreadsheet Solver

Fuente: <https://people.bath.ac.uk/ge277/vrp-spreadsheet-solver/>

VRP Spreadsheet Solver diseñado en 2017 y mejorado año tras año presenta en la actualidad su versión 3.4 que entre otras cosas supera las soluciones establecidas por los algoritmos desarrollados en C++, Gams, R u otros Software más lineales obligando a que los datos de distancia y tiempo de conducción deben recuperarse de una base de datos de Sistemas de Información Geográfica (GIS), lo que requiere una inversión. Los resultados de los algoritmos generalmente se representan como un valor único, el costo total, y solo puede significar mucho. No es sencillo encontrar manualmente una solución de un VRP, y mucho menos calcular su costo o visualizarlo.

Es por eso que esta nueva versión de VRP Spreadsheet Solver permite utilizar funciones de sistemas GIS públicos.

La codificación geográfica es la función que convierte una dirección en los correspondientes valores de latitud / longitud. Direcciones es la función que devuelve la distancia y el tiempo de conducción entre dos puntos además de las direcciones. Finalmente, los mapas estáticos son la función que devuelve archivos de imágenes, que se definen por su punto central, nivel de zoom y tamaño. Los principales sistemas GIS públicos en este momento son Bing Maps y Google Maps. Ambos ofrecen un servicio gratuito limitado y servicios extendidos para suscriptores. (Güneş Erdoğan(2017). Solucionador de hojas de cálculo VRP: Recuperado de <https://people.bath.ac.uk/ge277/vrp-spreadsheet-solver/>)

3.4. HEURISTICA

3.4.1 VRP SPREADSHEET SOLVER

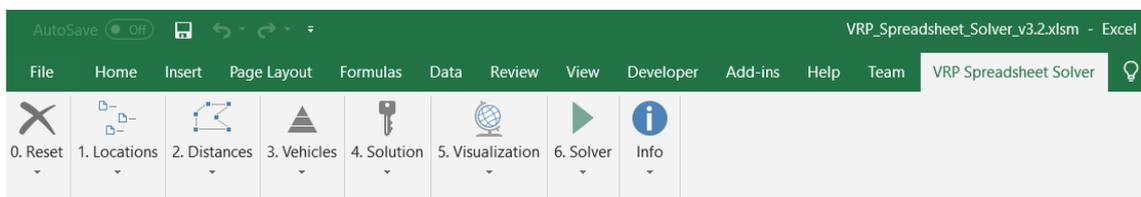
Spreadshhet Solver, es un lenguaje de programación basado en una heurística ALNS (Adaptative Large Neighborhood Search) que está pensada para la simplificación de modelos relativamente pequeños que no sobrepasen 200 clientes, este lenguaje de programación (VBA) Visual Basic para Aplicaciones en conjunto con GIS públicos no pretende en ningún caso competir con Software profesionales, de hecho según el autor Spreadshhet Solver en comparación con C++ es tres veces más lento para operaciones matemáticas básicas.

Las limitaciones de esta herramienta están básicamente descritas de la siguiente forma:

1. El número de clientes se limita a 200
2. Los costos de transporte son fijos.
3. Las distancias y duración de los viajes son fijas, los cálculos de tiempos son analizados según GIS en relación a un automovil lo que podría variar respecto de un camión.
4. Cada lugar que no sea un Depot puede ser visitado por un solo vehículo como máximo, por lo que el delivery y el pick up debe ser total.

Entre las bondades de este modelo podemos mencionar la familiaridad que tenemos al trabajar con Excel y lo intuitivo que se puede volver el ejercicio ya que su utilización nos induce de forma muy lúdica por 6 pasos que se visualizan a continuación en la Figura 10.

Figura 5. Panel de Comandos VRP Spreadsheet Solver



3.4.2 CONSOLA DE RESOLUCION DE VRP

La carga progresiva de información inicia en esta hoja de cálculo en la que se parametriza entre otras cosas la licencia de GIS, número de depots, número de clientes, Tipo de rutas en mapas GIS, número de vehículos, si deben o no retornar los vehículos a los depots, Naturaleza de la ventana de tiempo si es Hard o Soft, si realizan Pick up o no, tiempo de resolución del algoritmo en el CPU, etc.

Para el ejercicio de la compañía Courier se utilizó la siguiente configuración:

Figura 6. CuadroConsola de ResoluciónVRP Spreadsheet Solver

Sequence	Parameter	Value	Remarks
0.Optional - GIS License	Bing Maps Key	AllID4ObjxApqt1nRRMCy1G5CeNSc_	You can get a free key at https://www.bingmapsportal.com/
1.Locations	Number of depots	1	[1,20]
	Number of customers	17	[5,200]
2.Distances	Distance / duration computation	Bing Maps driving distances (km)	Recommendation: use postcodes for addresses
	Bing Maps route type	Fastest - Real Time Traffic	Recommendation: use Fastest
	Average vehicle speed		Not used for the 'Bing Maps driving distances' options
3.Vehicles	Number of vehicle types	2	Heterogeneous VRP if greater than 1
4.Solution	Vehicles must return to the depot?	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 names	
6.Solver	Warm start?	Yes	
	Show progress on the status bar?	Yes	May slow down the optimization algorithm
	CPU time limit (seconds)	60	Recommendation: At least 60 seconds

3.4.3 LOCALIZACION DE VRP

En esta hoja de cálculo se inicia con la numeración de cada cliente y depots, se realiza una descripción de cada uno de los puntos con el objeto de identificar y personalizar a cada elemento, se coloca la dirección (nomenclatura real), continuamos con la georeferenciación utilizando los conceptos de longitud y latitud medidos en grados minutos y segundos, tiempo de inicio y fin de la ventana de tiempo.

La consideración de cual es el orden en el que debe ser visitado un cliente está en función de la ganancia total que deja cada cliente, evidentemente que la ventana de tiempo es la restricción principal pero debido a que todos los clientes tienen el mismo límite de tiempo el volumen de carga y consecuentemente el aporte económico que genera cada una de sus demandas hace que la consideración antes mencionada tome relevancia dentro de la explicación. La siguiente data que se debe considerar es el tiempo de servicio (cuanto tiempo demora la entrega de los pedidos), dato que para el ejercicio en mención se tomó

de una verificación en campo en donde utilizamos el tiempo promedio real utilizado, el cual no solo está en conformidad al volumen de pedidos que recibe cada cliente sino a factores particulares de cada sitio en los que resaltamos, procesos internos, lay out del almacén, políticas internas del almacén etc.

La consideración de si realiza Pick Up es un dato que para este ejercicio será obviado ya que el proceso es netamente de distribución por lo que de forma natural para todos los clientes la opción está marcada en cero, finalmente tenemos el número de pedidos promedio que se entregan en cada punto, este dato particularmente fue tomado de la base de datos del cliente de todo lo movilizado en el 2019, se decidió no trabajar con el promedio ya que deseamos descartar problemas de capacidad del vehículo por lo que determinamos escoger la data del mes de Abril (escenario pesimista), mes en el que existió mayor volumen así como también el costo promedio del pedido para de esta manera finalizar con la parametrización básica del cuadro ubicación.

Tabla 11. Cuadro Ubicación VRP Spreadsheet Solver

Name	Address	Latitude [y]	Longitude [x]	Time window start	Time window end	Must be visited?	Service time	Pickup amount	Delivery amount	Profit
Depot (Mareisa mitad del mundo)	Manuel Cordova Galarza km 12.5, Quito	-0.0191360	-78.4542360	00:00	19:00	Starting location	0:00	0	0	0
Mareisa Center Fiat	De los Granados E11-47, Quito 170513	-0.1681900	-78.4739400	08:00	11:00	Must be visited	0:09	0	0.5495	\$ 25.3
Mareisa center	Av. Eloy Alfaro M40-153 y José Quiro, Quito 170513	-0.1694400	-78.4700400	08:00	11:00	Must be visited	0:08	0	0.5236	\$ 5.9
Mareisa Servior	Avenida 10 de Agosto y Avenida Ashualpa, Quito 170508	-0.1831500	-78.4907900	08:00	11:00	Must be visited	0:10	0	0.3064	\$ 3.9
Mareisa Center / Repuestos - San Rafael Av. Grral. Rumiñahui y Giovanni Farina, Quito 171102		-0.2967400	-78.4614800	08:00	11:00	Must be visited	0:12	0	0.5709	\$ 2.6
Autofenia - Taller de Servicio en San Autopista General Rumiñahui y, Zaruma Esquina, Sangolquí 17		-0.3340400	-78.4401600	08:00	11:00	Must be visited	0:10	0	0.6559	\$ 24.2
Autofenia - San Rafael	Isla Española y Autopista General Rumiñahui, Quito	-0.2983600	-78.4598500	08:00	11:00	Must be visited	0:11	0	0.5532	\$ 2.0
Dongfeng Ecuador	Av. Simón Bolívar Entre UDA PARK y gasolinera PRIMAX, Quito	-0.1637570	-78.4580550	08:00	11:00	Must be visited	0:11	0	0.0118	\$ 0.4
Autofenia - Taller de Servicio en Turi Av Interoceánica 66-269, Quito 170184		-0.2206300	-78.4162600	08:00	11:00	Must be visited	0:12	0	0.0000	\$ -
Autofenia S.A.	Av Interoceánica, Oswaldo Guayasamín O18-213 y, Quito 1701	-0.2118100	-78.4228600	08:00	11:00	Must be visited	0:12	0	0.0000	\$ -
Grupo Maveisa 1	Av. Pedro V. Maldonado S24-154 y, Cusubamba, Quito 170604	-0.2815930	-78.5344910	08:00	11:00	Must be visited	0:13	0	0.5945	\$ 3.5
Grupo Maveisa 2	Pedro Vicente Maldonado, Saraguro, Quito 170609	-0.2708430	-78.5281200	08:00	11:00	Must be visited	0:13	0	0.0118	\$ 0.4
Corporación Mareisa Holding - CMH	De los Granados E11-47, Quito 170513	-0.1681900	-78.4739400	08:00	11:00	Must be visited	0:11	0	1.6459	\$ 38.6
Mareisauto Aelis Granados	De los Granados E11-47, Quito 170513	-0.1681900	-78.4739400	08:00	11:00	Must be visited	0:09	0	0.3714	\$ 6.3
Chery	Av. Eloy Alfaro M40-153 y José Quiro, Quito 170513	-0.1695520	-78.4700580	08:00	11:00	Must be visited	0:06	0	2.7382	\$ 305.3
Grupo Maveisa (Citroen)	Av. 10 de Agosto M41-44 y Juan de Ascaray, Quito 170503	-0.1670710	-78.4864010	08:00	11:00	Must be visited	0:12	0	1.7843	\$ 65.8
Ambacar' Gato Plaza	Avenida Gato Plaza N 59 - 155 y Francisco Namiña, Quito 17051	-0.1278440	-78.4807490	08:00	11:00	Must be visited	0:13	0	1.8618	\$ 72.4
Ambacar' Quiocentro Sur	Kiyul, Av. Morán Valverde y Quiocentro sur, Subsi	-0.2850250	-78.5429860	08:00	11:00	Must be visited	0:13	0	0.0000	\$ -

En este punto la información relacionada con la volumetría comprometida en el ejercicio se vuelve preponderante ya que de esta manera el modelo aplica la ecuación pertinente que le permite no exceder la capacidad del vehículo

Tabla 12. Cuadro Volumenes por Agencia

Bto B/10 C		Bto B	-T															Total general	
Año		2019	-T																
destino		URO	-T																
Suma de pies																			
		Ambacar Galo Plaza	Ambacar Quilcentro Sur	Autofenix - San Rafael	Autofenix - Taller de Servicio en San Rafael y Valle de los Chillos	Autofenix - Taller de Servicio en Tumbaco/C umbayá	Autofenix S.A.	Chery	Corporación Maresa Holding - CMH	Dongfeng Ecuador	Grupo Maresa (Citroen)	Grupo Maresa 1	Grupo Maresa 2	Maresa Avis Granados	Maresa center	Maresa Center / Repuestos - San Rafael (SRM)	Maresa Center	Maresa Service	Total general
MESES																			
VOLUMETRIA m3																7,172159			
REFERENCIA DIAS																			
REFERENCIA DIAS	REFERENCIA MENSUAL																		
1	1,513	2,795	0,006	0,213	0,000	0,006	0,024	1,377	0,000	0,916	0,000	0,000	0,260	0,050	0,278	0,603	0,697	8,72	
2	3,959	0,768	0,018	0,114	0,000	0,000	0,025	3,675	0,012	7,182	0,000	0,000	0,242	0,012	0,183	0,461	0,437	13,55	
3	1,064	0,000	0,053	0,473	0,000	0,000	2,381	1,217	0,018	0,304	0,030	0,000	0,390	0,118	0,165	0,514	0,183	7,41	
4	1,962	0,000	0,053	0,656	0,000	0,000	2,718	1,046	0,012	1,785	0,095	0,012	0,171	0,024	0,071	0,590	0,106	9,26	
5	1,117	0,000	0,059	0,278	0,000	0,000	2,370	0,886	0,000	1,460	0,071	0,000	0,437	0,012	0,467	0,384	0,112	7,85	
6	1,755	0,000	0,130	0,106	0,000	0,000	1,389	0,644	0,000	1,400	0,000	0,000	0,727	0,012	0,544	0,603	0,112	7,42	
7	0,969	0,000	0,106	0,136	0,000	0,000	0,041	0,609	0,000	1,182	0,012	0,018	0,768	0,006	0,555	0,662	0,349	5,41	
8	1,070	0,000	0,059	0,165	0,012	0,000	0,112	0,691	0,000	1,779	0,026	0,000	0,626	0,041	0,508	0,278	0,065	5,43	
9	1,217	0,000	0,077	0,124	0,006	0,012	0,171	0,567	0,000	0,804	0,053	0,006	0,620	0,018	0,561	0,691	0,148	5,08	
10	0,591	0,000	0,047	0,071	0,000	0,000	0,047	0,248	0,000	0,597	0,018	0,000	0,555	0,018	0,455	0,632	0,065	3,34	
11	0,685	0,000	0,041	0,065	0,000	0,006	0,059	0,898	0,000	0,685	0,071	0,030	0,331	0,035	0,449	0,567	0,307	4,23	
12	0,504	0,000	0,106	0,047	0,006	0,006	0,124	1,052	0,006	1,081	0,024	0,000	0,012	0,018	0,626	0,437	0,148	4,60	
Total general	16,805	3,563	0,756	2,848	0,024	0,030	9,472	12,911	0,047	19,689	0,396	0,065	5,141	0,343	4,863	6,382	2,730	86,046	
PROMEDIO	1,400	0,297	0,063	0,237	0,002	0,002	0,789	1,076	0,004	1,641	0,033	0,005	0,428	0,029	0,405	0,532	0,228	7,172	
MAXIMOS	3,959	2,795	0,130	0,656	0,012	0,012	2,718	3,675	0,018	7,197	0,095	0,030	0,768	0,118	0,561	0,691	0,697	24,139	

Fuente: Empresa de Estudio

3.4.3 DISTANCIAS DE VRP

Esta hoja de cálculo es automática y parte de la solución de la herramienta en dónde se calcula la distancia la cual se representa en kilómetros y se calcula usando las distancias (vuelo de pájaro) proporcionadas por los GIS.

Por otra parte se calcula de igual forma la duración a través de la división de la distancia por la velocidad media del vehículo, en el caso de nuestro ejercicio utilizamos la plataforma de BING MAPS por lo que la velocidad es propuesta en función a la información proporcionada por la plataforma.

Obteniendo de esta forma 324 combinaciones posible de entre las cuales el sistema posteriormente escogerá las más óptimas. A continuación un extracto de lo obtenido

Tabla 13. Cuadro Distancias VRP Spreadsheet Solver

From	To	Distance	Duration
Depot (Maresa mitad del mundo)	Depot (Maresa mitad del mundo)	0,00	0:00
Depot (Maresa mitad del mundo)	Maresa Center Fiat	23,39	0:33
Depot (Maresa mitad del mundo)	Maresa center	21,27	0:33
Depot (Maresa mitad del mundo)	Maresa Service	23,15	0:31
Depot (Maresa mitad del mundo)	Maresa Center / Repuestos - San Rafael (GBM)	42,18	0:48
Depot (Maresa mitad del mundo)	Autofenix - Taller de Servicio en San Rafael y Valle de los Chillos	49,10	0:58
Depot (Maresa mitad del mundo)	Autofenix - San Rafael	42,46	0:50
Depot (Maresa mitad del mundo)	Dongfeng Ecuador	23,07	0:33
Depot (Maresa mitad del mundo)	Autofenix - Taller de Servicio en Tumbaco/Cumbayá	33,05	0:45
Depot (Maresa mitad del mundo)	Autofenix S.A.	32,24	0:44
Depot (Maresa mitad del mundo)	Grupo Mavesa 1	35,02	0:44
Depot (Maresa mitad del mundo)	Grupo Mavesa 2	33,62	0:42
Depot (Maresa mitad del mundo)	Corporación Maresa Holding - CMH	23,39	0:33
Depot (Maresa mitad del mundo)	Mareauto Avis Granados	23,39	0:33
Depot (Maresa mitad del mundo)	Chery	21,28	0:33
Depot (Maresa mitad del mundo)	Grupo Mavesa (Citroen)	21,67	0:29
Depot (Maresa mitad del mundo)	Ambacar Galo Plaza	19,09	0:26
Depot (Maresa mitad del mundo)	Ambacar Quicentro Sur	36,25	0:42
Maresa Center Fiat	Depot (Maresa mitad del mundo)	23,33	0:32
Maresa Center Fiat	Maresa Center Fiat	0,00	0:00
Maresa Center Fiat	Maresa center	1,27	0:03
Maresa Center Fiat	Maresa Service	3,84	0:07
Maresa Center Fiat	Maresa Center / Repuestos - San Rafael (GBM)	21,45	0:27
Maresa Center Fiat	Autofenix - Taller de Servicio en San Rafael y Valle de los Chillos	28,37	0:36
Maresa Center Fiat	Autofenix - San Rafael	21,74	0:28
Maresa Center Fiat	Dongfeng Ecuador	3,09	0:06
Maresa Center Fiat	Autofenix - Taller de Servicio en Tumbaco/Cumbayá	14,86	0:21
Maresa Center Fiat	Autofenix S.A.	14,06	0:20
Maresa Center Fiat	Grupo Mavesa 1	15,46	0:26
Maresa Center Fiat	Grupo Mavesa 2	14,06	0:24
Maresa Center Fiat	Corporación Maresa Holding - CMH	0,00	0:00
Maresa Center Fiat	Mareauto Avis Granados	0,00	0:00
Maresa Center Fiat	Chery	1,28	0:03
Maresa Center Fiat	Grupo Mavesa (Citroen)	1,79	0:04
Maresa Center Fiat	Ambacar Galo Plaza	5,75	0:09
Maresa Center Fiat	Ambacar Quicentro Sur	18,23	0:26

3.4.3 VEHICULOS DE VRP

El antepenúltimo paso se realiza una parametrización de los vehículos para lo cual se resalta la información de capacidad en metros cúbicos, costo de transporte, costo unitario por Km (costos adicionales) en los cuales consideramos mano de obra, siniestros y gastos administrativos. La distancia máxima recorrida es la sumatoria del Kilometraje realizado por los dos vehículos que para efectos del ejercicio fue de 195 KM resultado de la medición en campo de los vehículos utilizados en la actualidad, hora de inicio del recorrido, tiempo de conducción, tiempo límite de conducción, si retorna o no al Depot y finalmente número de vehículos por tipo.

Tabla 14. Cuadro Vehículos VRP Spreadsheet Solver

Starting depot	Vehicle type	Capacity	Fixed cost per trip	Cost per unit distance	Distance limit	Work start time	Driving time limit	Working time limit	Return depot	Number of vehicles
Depot (Maresa mitad del mundo)	T1	24,2	36,50	0,98	195,00	08:00	3:00	10:00	Depot (Maresa mitad del mundo)	1
	T2	24,2	36,50	0,98	195,00	08:00	3:00	10:00	Depot (Maresa mitad del mundo)	1

En el campo **Cost per unit distance** se hace referencia a los costos adicionales en los que incurre la empresa Courier para el proceso de distribución de las autopartes en la ciudad de Quito, los cuales contemplan básicamente la mano de obra, comunicaciones, siniestros y Gastos Administrativos.

Valor representado en función de otros garsos relacionados a la operación es decir \$0,98 centavos de dólar por KM

Tabla 15. Cuadro Otros Gastos

DETALLE		OTROS GASTOS MES
MANO DE OBRA		\$ 3.047,40
OTROS GASTOS		\$ 1.186,87
TOTAL		\$ 4.234,27

Fuente: Empresa de Estudio

3.4.3 SOLUCION DE VRP

Para abordar este penúltimo paso que propone una solución, me permito realizar un recuento sucinto de lo expuesto anteriormente en donde se destaca la intervención de un Depot, y 17 tiendas B2B de la cadena de concesionarios que realizan la venta de autopartes en la ciudad de Quito, la distribución se realiza con dos vehículos de 5 toneladas los cuales tienen un costo por media jornada de 36,5 dólares diarios, el proceso inicia a las 8:00 am hora en la que los vehículos parten desde el depot hacia sus respectivas rutas, en la actualidad se entrega el 80% de los pedidos en la ventana de tiempo establecida (11:00 am) utilizando el algoritmo mental del vecino más cercano el cual está basado en la experticia del conductor.

Una vez que se ha realizado la parametrización de la data solicitada por el solver obtenemos una primera corrida que arroja la siguiente información.

Tabla 16. Cuadro Solución 1 VRP Spreadsheet Solver Vehículo 1

Total net profit: **81,99**

Vehicle: V1 (T1)		Stops: 11	Net profit: 192,72						
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot (Maresa mitad del mundo)	0,00	0:00		08:00	0:00		0	8,27
1	Ambacar Galo Plaza	19,09	0:26	08:26	08:39	0:39	72,37147273	6,31	
2	Grupo Mavesa (Citroen)	23,94	0:33	08:46	08:58	0:58	138,2033545	4,52	
3	Mareauto Avis Granados	26,22	0:39	09:04	09:13	1:13	144,5249591	4,35	
4	Corporación Maresa Holding - CMI	26,22	0:39	09:13	09:24	1:24	183,1085455	3,3	
5	Maresa Center Fiat	26,22	0:39	09:24	09:33	1:33	203,3812773	2,75	
6	Maresa center	27,49	0:42	09:36	09:44	1:44	204,2532227	2,73	
7	Chery	27,51	0:42	09:44	09:50	1:50	304,52695	0,01	
8	Dongfeng Ecuador	30,26	0:48	09:56	10:07	2:07	304,9629227	0	
9	Autofenix S.A.	43,83	1:04	10:23	10:35	2:35	304,9629227	0	
10	Autofenix - Taller de Servicio en Tu	44,69	1:06	10:37	10:49	2:49	304,9629227	0	
11	Depot (Maresa mitad del mundo)	77,29	1:51	11:34		3:34	304,9629227	0	

La primera ruta sugerida contempla un recorrido de 77,29 Km con 1 hora 51 minutos de tiempo de conducción 3 horas y 34 minutos de trabajo, una recaudación aproximada de \$304 dólares, 11 paradas incluyendo el retorno del vehículo al Depot, se destaca la optimización de la ruta logrando que se cumpla al 100% la restricción de ventana de tiempo ya que el décimo cliente será satisfecha su demanda hasta la 10:49 am, el orden de distribución está en función del volumen demandado por cada cliente o almacén en forma descendente. La recolección neta de esta ruta es de \$192,72 dólares luego que descontáramos de los \$304 dólares recaudados el valor del flete \$36,50 y el valor los otros costos medidos en función del Kilometraje.

Tabla 17. Cuadro Solución 1 VRP Spreadsheet Solver Vehículo 2

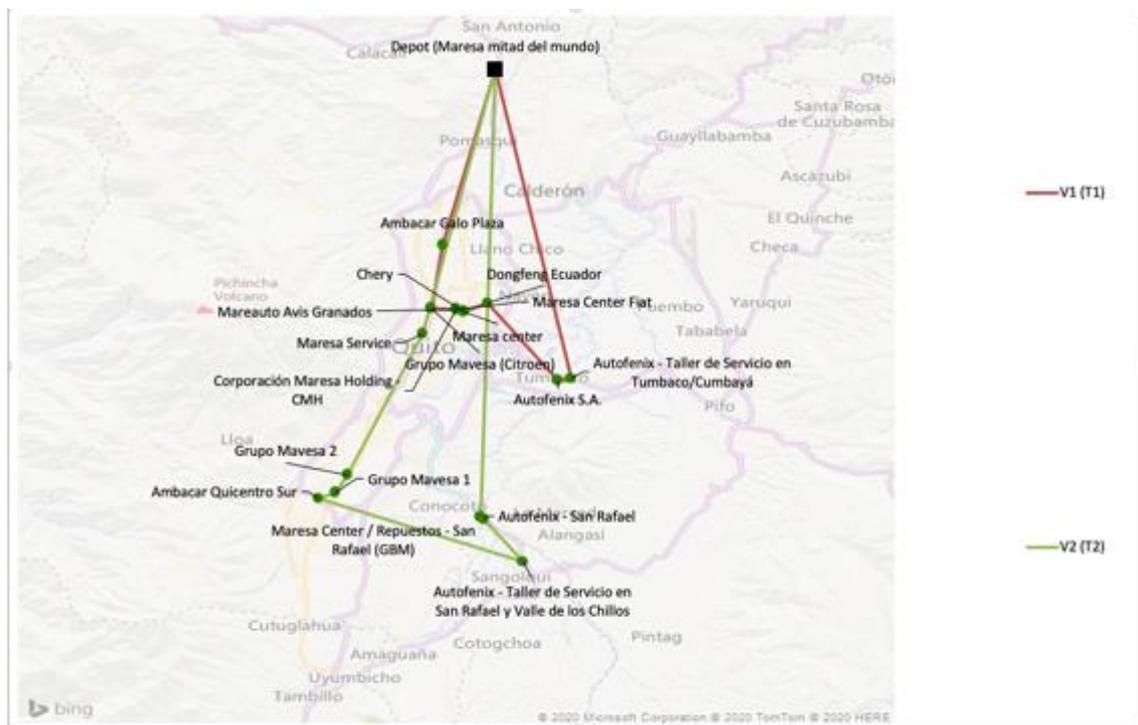
Vehicle: V2 (T2)		Stops: 8	Net profit: -110,73						
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot (Maresa mitad del mundo)	0,00	0:00		08:00	0:00		0	0,99
1	Maresa Service	23,15	0:31	08:31	08:41	0:41	3,923754545	0,89	
2	Grupo Mavesa 2	34,41	0:49	08:59	09:12	1:12	4,359727273	0,87	
3	Grupo Mavesa 1	35,89	0:52	09:15	09:28	1:28	7,847509091	0,78	
4	Ambacar Quicentro Sur	38,24	0:56	09:32	09:45	1:45	7,847509091	0,78	
5	Autofenix - Taller de Servicio en Sar	66,70	1:28	10:17	10:27	2:27	32,04399545	0,12	
6	Autofenix - San Rafael	70,74	1:33	10:32	10:43	2:43	34,00587273	0,07	
7	Maresa Center / Repuestos - San Ra	71,02	1:34	10:44	10:56	2:56	36,62170909	0	
8	Depot (Maresa mitad del mundo)	113,12	2:26	11:48		3:48	36,62170909	0	

La segunda ruta sugerida propone un recorrido de 113 Km con 2 hora 26 minutos de tiempo de conducción 3 horas y 48 minutos de trabajo y una recaudación aproximada de \$36,6 dólares, la ruta propone 8 paradas incluyendo el retorno al depot de origen, al igual que la primera ruta se garantiza el cumplimiento de la restricción de ventana de tiempo para todos los clientes involucrados, sin embargo la recaudación neta de esta ruta deja un saldo negativo de \$110,73 dólares, evidenciando de esta forma que no es rentable y que el único aporte que genera es el de cumplimiento con los niveles de servicio.

La cuantificación general del ejercicio propone que la recaudación de la operación por cada día operado de las dos rutas será de \$81,99 dólares los cuales multiplicados por 22 días laborables promedio deja un total de ingresos de \$1803,78 dólares aproximadamente.

La visualización de la solución propuesta se representa a través de Bing Maps con la respectiva restricción de que la trazabilidad de la ruta se la realiza a través de la modalidad Vuelo de pájaro la cual realiza mediciones aéreas forzando a una variación respecto a la realidad.

Tabla 18. Gráfica Solución Rutas 2 Vehículos



El resultado de este ejercicio nos permite mejorar el indicador de cumplimiento en un 100%. La propuesta deja entre ver una oportunidad significativa aportando de forma indirecta a la minimizar los costos operativos, ya que evidentemente no es necesario mantener para el proceso de distribución de vehículos de 5 toneladas o 24,2 m³ de capacidad y que por el contrario con un vehículo de tres toneladas en la primera ruta y una camioneta de 1,2 toneladas de capacidad para la segunda ruta es suficiente logrando reducir de esta forma la tarifa diaria y mejorar la rentabilidad del negocio la misma que en la actualidad esta bordeando el 22% de margen.

Tabla 19. Cuadro Rentabilidad del Negocio

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	GASTO MES
GASTO TOTAL	501	\$ 11,66	\$ 5.840,27
INGRESOS	501	\$ 15,00	\$ 7.515,00
UTILIDAD		22%	\$1.674,73

Fuente: Empresa de Estudio

Tomando en consideración la conclusión anterior procedemos realizar un ajuste en la capacidad de los vehículos, disminuyendo de 5 toneladas (24,2 m³) por vehículo a 3 toneladas y 1,2 toneladas (9,4 y 4,7 m³ respectivamente).

Esta decisión en costo permite disminuir la tarifa de los vehículos a \$33 dólares en el caso del camión de 3 toneladas y de \$25 dólares para la camioneta de 1,2 toneladas, Como resultado final del ejercicio podemos obtener un incremento en el margen de contribución de al menos 5% más que el primer ejercicio.

Tabla 20. Cuadro Rentabilidad del Negocio Ajustado

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	GASTO MES
GASTO TOTAL	501	\$ 11,00	\$ 5.510,27
INGRESOS	501	\$ 15,00	\$ 7.515,00
UTILIDAD		27%	\$ 2.004,73

Fuente: Empresa de Estudio

A continuación mostramos la ilustración de la resolución del VRP ajustando las capacidades vehiculares

Tabla 21 Cuadro Solución 2 Camión Adicional VRP Spreadsheet Solver1

Total net profit: **96,99**

Vehicle: V1 (T1)		Stops: 11	Net profit: 196,22						
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot (Maresa mitad del mundo)	0,00	0:00		08:00	0:00	0	8,27	
1	Ambacar Galo Plaza	19,09	0:26	08:26	08:39	0:39	72,37147273	6,31	
2	Grupo Mavesa (Citroen)	23,94	0:33	08:46	08:58	0:58	138,2033545	4,52	
3	Mareauto Avis Granados	26,22	0:39	09:04	09:13	1:13	144,5249591	4,35	
4	Corporación Maresa Holding - CMH	26,22	0:39	09:13	09:24	1:24	183,1085455	3,3	
5	Maresa Center Fiat	26,22	0:39	09:24	09:33	1:33	203,3812773	2,75	
6	Maresa center	27,49	0:42	09:36	09:44	1:44	204,2532227	2,73	
7	Chery	27,51	0:42	09:44	09:50	1:50	304,52695	0,01	
8	Dongfeng Ecuador	30,26	0:48	09:56	10:07	2:07	304,9629227	0	
9	Autofenix S.A.	43,83	1:04	10:23	10:35	2:35	304,9629227	0	
10	Autofenix - Taller de Servicio en Tu	44,69	1:06	10:37	10:49	2:49	304,9629227	0	
11	Depot (Maresa mitad del mundo)	77,29	1:51	11:34		3:34	304,9629227	0	

Como se observa en la solución lo único que varía es el margen de contribución total debido a la disminución de costos en la tarifa unitaria de cada vehículo.

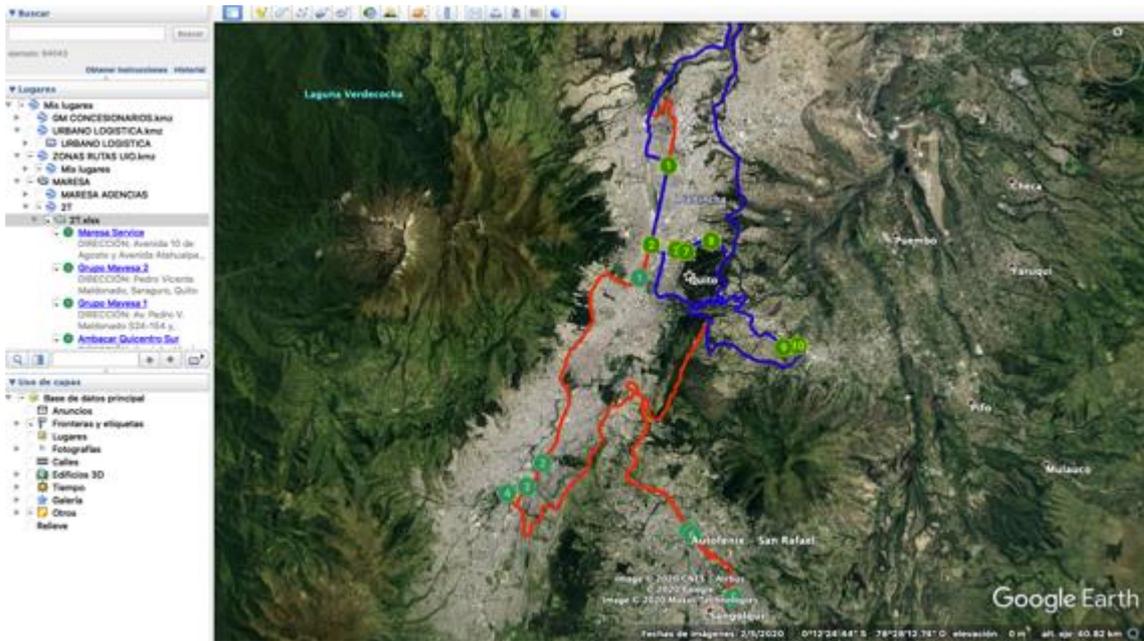
Tabla 22. Cuadro Solución 2 Camión Adicional

Vehicle: V2 (T2)		Stops: 8	Net profit: -99,23						
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot (Maresa mitad del mundo)	0,00	0:00		08:00	0:00	0	0,99	
1	Maresa Service	23,15	0:31	08:31	08:41	0:41	3,923754545	0,89	
2	Grupo Mavesa 2	34,41	0:49	08:59	09:12	1:12	4,359727273	0,87	
3	Grupo Mavesa 1	35,89	0:52	09:15	09:28	1:28	7,847509091	0,78	
4	Ambacar Quicentro Sur	38,24	0:56	09:32	09:45	1:45	7,847509091	0,78	
5	Autofenix - Taller de Servicio en San	66,70	1:28	10:17	10:27	2:27	32,04399545	0,12	
6	Autofenix - San Rafael	70,74	1:33	10:32	10:43	2:43	34,00587273	0,07	
7	Maresa Center / Repuestos - San Ra	71,02	1:34	10:44	10:56	2:56	36,62170909	0	
8	Depot (Maresa mitad del mundo)	113,12	2:26	11:48		3:48	36,62170909	0	

Por otra parte el inconveniente de tener una solución representada gráficamente con un modelo basado en la metodología de vuelo de pájaro plantea la duda en la que el margen de error en cuanto a kilometraje varíe considerablemente y por ende los tiempos se vean afectados entorpeciendo el objeto mismo del estudio.

Por esta razón se procedió a realizar un análisis adicional el que a través de un archivo KMZ subimos las coordenadas de cada almacén incluyendo el depot en el rodén sugerido por el modelo para cada ruta, con el objeto de tener una medición de cada ruta más efectiva y sobre todo confiable.

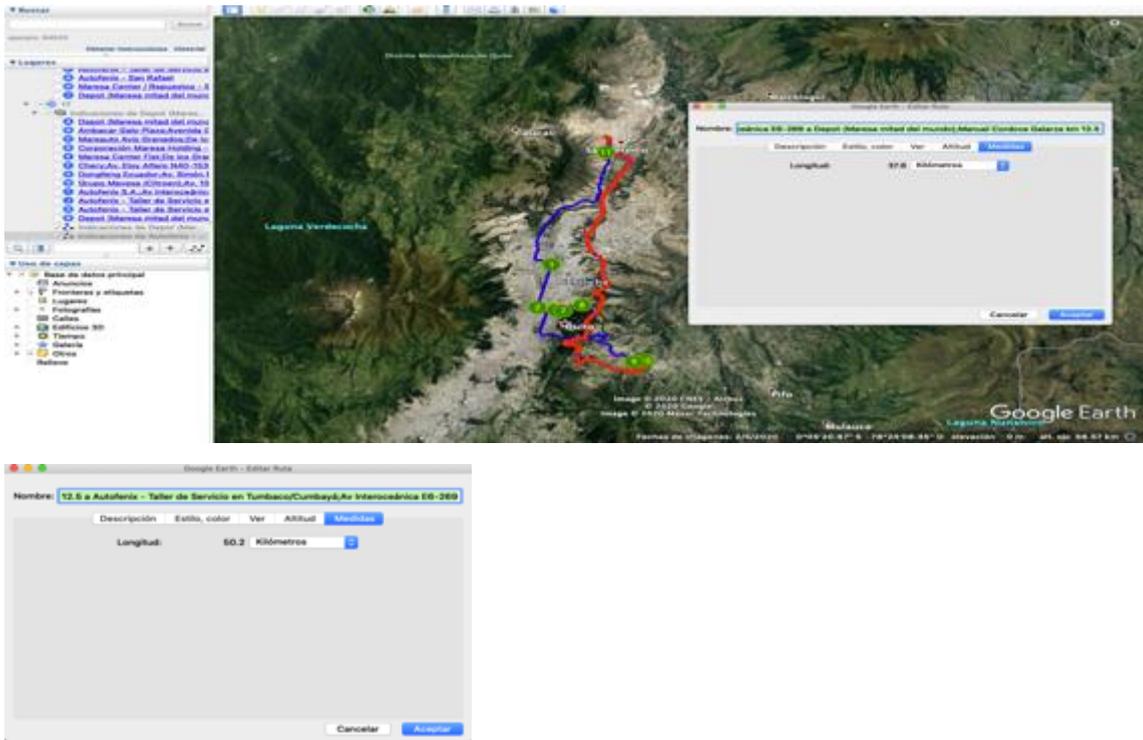
Tabla 23. Gráfica Solución Rutas 2 Vehículos



Fuente: Google Earth

El ejercicio nos muestra que el resultado obtenido no tiene una variación significativa con los datos obtenidos por el modelo VRP, en el caso de la primera ruta el kilometraje recorrido según el VRP Spreadsheet Solvemos da como resultado 77,29 Km mientras que el ejercicio realizado con el archivo KMZ en Google Earth da 88 Km, recordemos adicionalmente que en el modelo VRP teníamos un GAP de 15 minutos de tiempo a favor de la problemática.

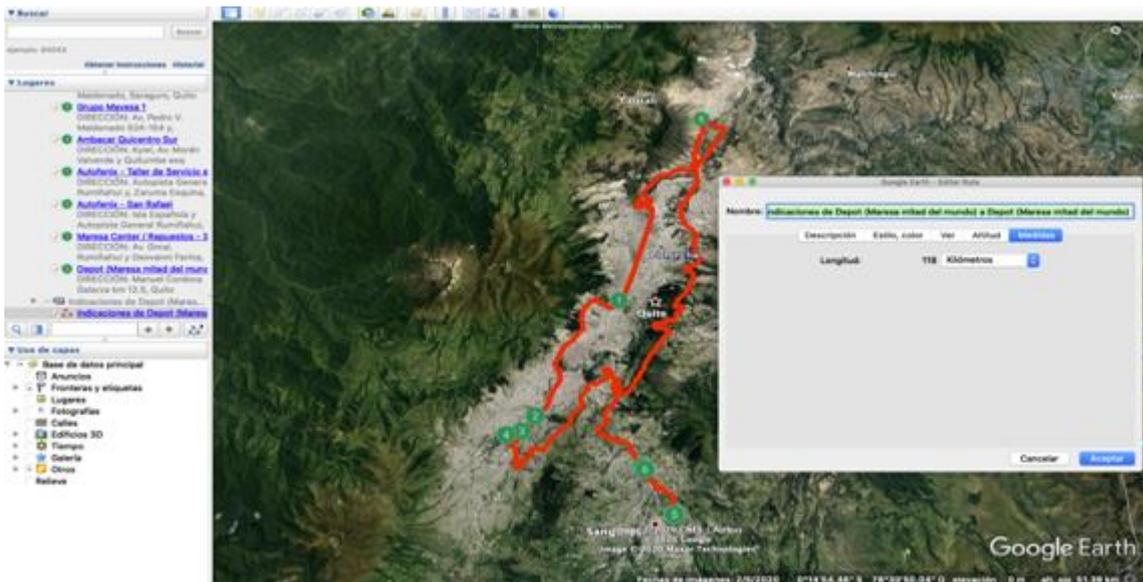
Tabla 24. Gráfica Solución Google Earth Ruta 1



Fuente: Google Earth

Por otra parte la segunda ruta arroja 113 km en la solución VRP Spreadsheet Solver mientras que en el ejercicio de Google Earth tenemos un total de 118 km es decir 5 km mas que la solución propuesta.

Tabla 25 Gráfica Solución Google Earth Ruta 2



Fuente: Google Earth

CAPITULO 4

4.1. Conclusiones

Una vez concluido el análisis de los resultados obtenidos con la Heurística propuesta queda en evidencia que la metodología empírica actual para planificar y enrutar los vehículos es susceptible de mejoras, no sólo porque incumple la restricción establecida por la ventana de tiempo, si no por el simple hecho que no brinda una visión muy real sobre el impacto e importancia que tiene cada almacén destino en función de sus volúmenes de entrega, consecuentemente con este hecho la restricción de priorización de volúmenes demandados constituye un punto muy significativo para encontrar la solución óptima a la problemática.

Desde el sentido estricto de servicio el modelo permite de forma contundente pasar de un indicador de cumplimiento del 80% de efectividad en la entrega dentro de la ventana de tiempo a un sólido 100% de cumplimiento.

Por otra parte la Heurística aporta un mejoramiento en el margen de contribución del negocio ya que permite subir un 5% sobre el total de ingresos netos, pasando de un 22 a un 27%.

La Heurística permite verificar los volúmenes de carga demandados por cada almacén y en función de la ruta demostrar técnicamente que no es necesario el uso de camiones de 5 toneladas, por lo que es importante la utilización del modelo como fuente de argumentación para el planteamiento de cambio.

4.2. Recomendaciones

En consecuencia a todo lo expuesto anteriormente, se recomienda la implementación de la herramienta VRP SPREADSHEET, ya que las mejoras en los tiempos de entrega de auto partes en la ciudad de Quito mejoran significativamente.

Por otra parte se recomienda utilizar los resultados obtenidos como criterio técnico en la negociación de los objetivos con lo que se medirá el servicio en el futuro, tomando como base las alternativas de que alcanzar el 100 % de la eficacia de los envíos no interfiere con la decisión de optimizar la capacidad sub utilizada de volumen de los vehículos utilizados actualmente en el proceso de distribución.

Dadas las similitudes de los servicios con otros clientes la Heurística podría extenderse a la optimización de otros servicios de distribución y recolección de la empresa Courier.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bermeo Muñoz, E. a, & Calderón Sotero, J. H. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El Hombre Y La Máquina*, 32(32), 52–67.
- Rego, C., Gamboa, D., Glover, F., y Osterman, C. (2011). Invited review: Traveling salesman problem heuristics: Leading methods, implementations and latest advances. *European Journal of Operational Research*, 211 , 427 - 441.
- Rodríguez, J. (2013). Capítulo 1 Introducción. *La Filosofía de La Ciencia de Descartes*, 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2016.01.003>
- Marina, L., Vélez, L., Elizabeth, P., Villamar, S., & Chica, V. V. (2012). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA Diseño de rutas de

transporte de personal aplicando modelización matemática para resolver el Problema de Enrutamiento Vehicular Capacitado con Ventanas de Tiempo.

- Pérez, E., & Guerrero, W. J. (2015). Optimization Methods for the Inventory Routing Problem. *Revista Ingeniería Industrial*, 14, 31–49.
- <https://people.bath.ac.uk/ge277/vrp-spreadsheet-solver/>

