

RUTEO DE LAS ACTIVIDADES DE DISTRIBUCIÓN DE SERVIENTREGA S.A

JUAN SEBASTIÁN ECHEVERRY SOTO

**UNIVERSIDAD ICESI FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL SANTIAGO DE CALI
2013**

**RUTEO DE LAS ACTIVIDADES DE RECOLECCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE
SERVIENTREGA S.A**

JUAN SEBASTIÁN ECHEVERRY SOTO

**Proyecto de grado presentado como requisito para obtener el título de
Ingeniero Industrial**

DIRECTOR: ANDRES FELIPE OSORIO
Magíster en ingeniería, Universidad del Valle. Especialista en Logística.
Ingeniero Industrial, Universidad del Valle

UNIVERSIDAD ICESI FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL SANTIAGO DE CALI
2013

TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE FIGURAS.....	5
LISTADO DE TABLAS.....	6
LISTADO DE ANEXOS.....	7
1. RUTEO DE VEHICULOS.....	8
1.1 TÍTULO DEL PROYECTO.....	8
1.2 PROBLEMA A TRATAR.....	8
1.2.1 Contextualización.....	8
1.2.2 Elementos.....	9
1.2.3 Formulación.....	9
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	9
1.4 DELIMITACIÓN Y ALCANCE.....	10
1.4.1 Tiempo.....	10
1.4.2 Espacio.....	10
1.4.3 Tipo de Proyecto.....	10
1.4.4 Tipo de Investigación.....	10
1.4.5 Impacto.....	10
OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO.....	12
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3. MARCO DE REFERENCIA.....	13
3.1 ANTECEDENTES.....	13
3.2 MARCO TEÓRICO.....	14
3.21 Ruteo para un único vehículo.....	14
4.2 ETAPAS DEL PROYECTO.....	21
5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO.....	23
5.1 RECURSOS DISPONIBLES.....	23
5.2 EQUIPO DE INVESTIGADORES.....	23
5.3 CRONOGRAMA.....	24
6. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	25

6.1 SERVIENTREGA S.A.....	25
6.2 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO ACTUAL DE PROGRAMACIÓN DE RUTAS Y ZONAS DE DISTRIBUCIÓN.....	27
6.3 SELECCIÓN Y DISEÑO DEL MODELO DE RUTEO	32
6.3.1 Selección	32
6.3.2 Diseño.....	32
6.3.3 Notación Algebraica	36
6.4 METODOLOGÍA	38
6.5 PRUEBAS	49
6.5.1 Prueba inicial	49
6.5.2 Prueba compleja.....	52
6.5.3 Prueba con datos reales.....	56
6.5.4 Análisis de resultados	57
7. CONCLUSIONES.....	59
8. RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS.....	62

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1- Zona Norte	30
Figura 2-Zona Sur	30
Figura 3-Método Ir-volver.....	33
Figura 4-Condición inicial	33
Figura 5-Primer tipo de ahorro	34
Figura 6- Segundo tipo de ahorro	34
Figura 7-Tercer tipo de ahorro	35
Figura 8-Cuarto tipo de ahorro.....	36
Figura 9-Distancias reales con G.Earth	39
Figura 10-Distancias lineales con G. Earth.....	39
Figura 11-Gráfico de correlación.....	40
Figura 12-Formulario inicial	41
Figura 13-Formulario para ingresar destinos	42
Figura 14-Listas desplegables en Visual Basic de Excel	43
Figura 15-Hoja de Coordenadas.....	43
Figura 16-Mensaje de error	44
Figura 17-Distribución Spider en Visual Basic	44
Figura 18-Spider en hoja de cálculo Excel.....	45
Figura 19-definición parámetros para ahorro	46
Figura 20-Iteraciones para cálculo de ruta.....	47
Figura 21-Ruta Horizontal.....	47
Figura 22-Ruta Ordenada	48
Figura 23-Mapa con puntos para prueba básica.....	49
Figura 24-Puntos a visitar para prueba compleja.....	52
Figura 25-Orden de visita Método empírico.....	53
Figura 26--Ruta propuesta método de ahorros	54

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1- Tabla zona Y.....	28
Tabla 2-Tabla zona Z.....	28
Tabla 3-Puntos para prueba básica.....	49
Tabla 4-Distancias lineales método empírico.....	50
Tabla 5-Distancias lineales método de ahorros.....	50
Tabla 6-Distancias reales Método empirico.....	51
Tabla 7-Distancias reales Método de ahorros.....	51
Tabla 8- Distancia lineal Método Empírico.....	53
Tabla 9-Distancias lineales método de ahorros.....	54
Tabla 10-Distancias reales método empirico prueba compleja.....	55
Tabla 11-Distancias reales método ahorros prueba compleja.....	56
Tabla 12-Comparativo de costo entre ruteo actual y ruteo propuesto.....	58

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A-MOVIMIENTO DE CARGA NACIONAL POR MEDIO DE TRANSPORTE ...	62
ANEXO B- CRONOGRAMA DE PROYECTO	63
ANEXO C-ENTREVISTA TÉCNICO ZONA NORTE.....	63
ANEXO D-ENTREVISTA TÉCNICO SUR	65
ANEXO E-DISTANCIAS REALES	67
ANEXO F- DISTANCIAS LINEALES	70
ANEXO G- ORDEN DE VISITA DETERMINADO POR EL OPERADOR	72
ANEXO H- ORDEN DE VISITA DETERMINADO POR EL MODELO	74
ANEXO I-CAPACIDADES CAMIONES NHR.....	76

1. RUTEO DE VEHICULOS

1.1 TÍTULO DEL PROYECTO

Ruteo de las actividades de distribución de Servientrega S.A

1.2 PROBLEMA A TRATAR

1.2.1 Contextualización

Servientrega es una empresa que cumple una función integradora dentro de la cadena de abastecimiento su enfoque está en el desarrollo de soluciones de logística que permitan agregar valor estratégico a sus clientes . Entre los procesos que desarrolla la empresa se encuentran recolección, transporte, almacenamiento, empaque y embalaje, logística promocional, y distribución de documentos y mercancías, siendo este último uno de los procesos más importantes de la compañía, ya que este fue el motor para la creación de la misma.

El proceso de distribución y recolección de paquetes es realizado por los vehículos de la flota de Servientrega, actualmente se cuenta con un parque automotor terrestre entre los que se pueden encontrar camiones grandes, medianos, camionetas y otros. A todos estos vehículos se les asignan rutas para la realización de las actividades de recolección y distribución. Según la capacidad de los vehículos estos son destinados para entregas y recolección a nivel nacional o solamente regional. Para el caso de los procesos de recolección dentro de la regional se abarcan la zona principal que es la ciudad de Cali y el resto del Valle del Cauca. Dentro de la ciudad estas rutas se realizan según la zona en la que deba realizarse el proceso, así como el tipo de servicio que el cliente haya requerido y el tipo de mercancía que se esté enviando o entregando.

Cada vehículo tiene dos personas a cargo de la distribución y recolección de paquetes, una de estas es la persona encargada de conducir el vehículo, denominada técnico y una persona encargada de tomar los paquetes de la bodega y entregarlos al cliente y viceversa.

Según Ballou, el transporte tiene en promedio un porcentaje más alto de los costos que cualquier otra actividad logística, que puede llegar a representar hasta el 50% del costo logístico total. Aunque en el transporte se toman muchas decisiones algunas de las principales son la selección del vehículo, el diseño de la ruta, la programación de los vehículos.

El ruteo de vehículos incluye en si la programación y el diseño de rutas, y uno de los grandes problemas a los que se enfrentan los planeadores de las rutas es como disminuir esos costos que tienen tanto impacto para los costos totales de la operación logística. En los años 70, se define el VRP (Vehicle Routing Problem), con el cual se determinan la ruta a seguir por un conjunto de vehículos para visitar a todos los clientes y satisfacer la demanda requerida, y aunque es un método definido hace más de 30 años, vuelve a aparecer como una necesidad de las empresas, en este caso de la empresa objeto de estudio.

1.2.2 Elementos.

Luego de tener un acercamiento al proceso, donde se logró identificar una posibilidad de mejora en las rutas de recolección y distribución de paquetes. Los principales hechos sobre los cuales se ampara esta oportunidad de mejora son:

- En la actualidad no existe ningún tipo de modelo de ruteo estándar para la flota de vehículos de la compañía, pero tienen un modelo de asignación de vehículos que garantizan que los mismos puedan cumplir con la carga de trabajo asignada cada día.
- En la actualidad las rutas se realizan de manera personalizada por un método empírico adoptado por cada operador, debido a esto, se presentan complicaciones cuando esta persona no puede presentarse y/o cuando decide retirarse del cargo que desempeña
- Debido a que las rutas se diseñan a criterio de la persona, en ocasiones se presentan errores que tienen consecuencias económicas a corto plazo como es el consumo de combustible y tiempo de trabajo del auxiliar, y a largo plazo como es el desgaste del vehículo.

1.2.3 Formulación.

En la actualidad la empresa Servientrega no cuenta con un modelo de ruteo estandarizado, realizando el ruteo de manera empírica, se identifica una oportunidad de mejora en el proceso actual.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El ingeniero industrial es un profesional capacitado para el mejoramiento de procesos, dentro de sus competencias se encuentra el diseño y programación de rutas de vehículos, siendo este uno de sus campos de acción fuertes.

En Colombia el transporte de carga terrestre es de gran importancia, ya que a través de este se mueve el 70,99 % de la carga total del país (**ver anexo A**) un mercado que es bastante competido.

Además de lo anteriormente señalado es importante destacar que Servientrega es una empresa de gran importancia en diferentes sectores de la economía, no solo a nivel departamental, sino también nacional y se esperaría con este proyecto contribuir con el desarrollo de la misma.

1.4 DELIMITACIÓN Y ALCANCE

1.4.1 Tiempo.

El tiempo estimado para el desarrollo de este proyecto va a ser de 8 meses, que iniciarían desde septiembre de 2012 y terminarían en junio de 2013.

1.4.2 Espacio.

El proyecto se llevara a cabo en el área de la ciudad de Cali y en las instalaciones de la empresa. Debido a que es necesario para generar las rutas conocer como es el proceso de cargue y descargue de los camiones.

1.4.3 Tipo de Proyecto.

Este proyecto es de tipo industrial aplicado, ya que el trabajo se desarrollara al interior de la empresa Servientrega, además se espera que el proyecto tenga implementación dentro de la compañía.

1.4.4 Tipo de Investigación.

Descriptiva debido a que se requiere describir, documentar, analizar e interpretar la naturaleza de una oportunidad de mejora identificada en el ruteo de los vehículos de distribución de paquetes.

1.4.5 Impacto.

Económico: La programación de rutas efectiva debe contribuir con aumentos en la productividad de la empresa evitando que se generen costos de transporte innecesarios.

Servicio al cliente: Una programación de rutas efectiva tiene un efecto directo en el nivel de satisfacción al cliente, puesto que se puede garantizar una entrega oportuna y fiable de los paquetes al mismo.

Recursos Humanos: La existencia de una metodología de ruteo, permite que el personal que ingresa a desempeñar la labor de realizar la ruta, tenga un proceso más rápido de adaptación, debido a que no depende en su totalidad de la experiencia que posea ni la experiencia de la persona que diseñaba la ruta. Además de esto permite a las personas que tienen experiencia en la ruta evalúen sus decisiones, permitiendo el mejoramiento no solo de los procesos dentro de la empresa sino también a nivel de cada persona.

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo de ruteo para las empresas de logística de distribución de paquetes

2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Realizar una aproximación de un modelo de ruteo para el proceso de distribución de paquetes de la empresa Servientrega.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.3.1** Identificar y analizar los procesos actuales de programación de rutas y zonas de distribución.
- 2.3.2** Seleccionar y diseñar un modelo de ruteo para el cubrimiento de los clientes asignados a los vehículos
- 2.3.3** Desarrollar la metodología aplicada al caso de la empresa estudiada

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 ANTECEDENTES

El costo de transporte es uno de los costos que tiene mayor peso dentro de los costos logísticos. Si analizamos esto dentro del contexto de Colombia observamos que Colombia tiene uno de los combustibles más caros del Latinoamérica. El sitio Dinero.com realizó un ranking con los precios del combustible en Latinoamérica encontrando que Colombia ocupa el quinto lugar del escalafón, siendo uno de los más costosos. Si a esto le sumamos que Cali solo cuenta con el 25% de la totalidad de sus vías en buen estado y que no cuenta con un plan estratégico para la movilidad de la ciudad, los costos de mantenimiento y consumo de combustible son un factor crítico en las operaciones de transporte dentro de la ciudad.

Debido a que los factores anteriormente mencionados son variables que no pueden ser controladas por la empresa, es necesario buscar alternativas para lograr unos costos logísticos aceptables. Una manera de reducir estos costos sería buscar realizar la mayor cantidad de entregas por vehículos minimizando los costos por operación de distribución, sin sacrificar la calidad del servicio y teniendo en cuenta las necesidades de cada cliente. Otra manera sería realizar la ruta eficientemente, haciendo recorridos que generen la menor distancia posible y que logren visitar todos los clientes generando impactos en el nivel de servicio y en los costos totales.

Existen diferentes versiones de software para realizar la programación de rutas, pero demandan muchos recursos financieros, humanos y debido a las condiciones de operación de las empresas del país, es muy poco común encontrar empresas medianas o grandes que cuenten con un software para la gestión de la cadena de suministro, donde el software para el diseño de rutas es aún más extraño de encontrar.

Una manera de hacerlo más accesible es por la implementación de heurísticos en un programa que sea de fácil acceso para las empresas, aunque este no va a tener la potencia de un programa de ruteo que trabaje con sistemas de información geográfica, si permitiría tener un programa que les sirva para hacerse a una idea de cómo diseñar las rutas de una manera más eficiente.

Debido al gran impacto que puede tener el buen diseño y la buena programación de las rutas para cualquier empresa, se han realizado diversos trabajos que están relacionados con este tema. Entre ellos están estudios como “Modelo de ruteo de vehículos de Oscar Mauricio Morales Silva” donde se plantea una alternativa para

la programación de las rutas de paquetes a través de un algoritmo, adicional se proponen soluciones alternativas a través de la combinación de heurísticas. Otro trabajo donde se exponen modelos de ruteo de vehículos para un problema similar es en el artículo “Una metaheurística híbrida aplicada a un problema de planificación de rutas” de Daniel Soto donde se propone un algoritmo híbrido para un problema particular de recolección.

3.2 MARCO TEÓRICO

La programación y el diseño de rutas para los vehículos es una extensión del problema de diseño de rutas para vehículos, en el curso de investigación de operaciones se tuvo un primer acercamiento a este tipo de problemas.

El Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) tiene múltiples variaciones, cada uno con cierto grado de complejidad. A pesar de esto, podemos definir el ruteo básico, se concentra en la determinación de rutas para los vehículos de la flota, con el fin de cubrir todos los puntos dentro de la zona de acción, buscando que el tiempo utilizado por cada vehículo sea el menor. Este problema básico varía según el objetivo que se busque, ya que lo que se puede querer es minimizar los costos fijos asociados a los vehículos o minimizar los costos totales del transporte, así como también balancear los tiempos de viaje.

3.2.1 Ruteo para un único vehículo

En el problema de ruteo de un único vehículo, (SVRTR por sus nombre en inglés Single Vehicle Round Trip Routing) un único vehículo es utilizado para cubrir un grupo de clientes. En este tipo de problema podemos tener dos variaciones, ya que el vehículo viaja en una red subyacente que está compuesto por un número de nodos y arcos o aristas. Cuando los clientes están ubicados en los nodos, se le da el tratamiento como un problema de ruteo en nodos. Este tipo de problema es más comúnmente conocido como Problema del Vendedor Viajero, o TSP (Travel Salesman Problem).

Este problema fue definido en 1985 por Lawler de la siguiente manera “Un vendedor que inicia desde la ciudad donde vive, debe visitar cada una de las ciudades que tiene en una lista y luego retornar a casa. Debe realizar este recorrido haciendo que la distancia recorrida sea la menor posible”.

Una definición alternativa del TSP está basada en la teoría de grafos, en un grafo existen vértices, cuando se sigue una secuencia para visitar cada uno de los puntos exactamente una vez y se regresa al vértice de origen, esto se conoce como ciclo Hamiltoniano, el TSP busca encontrar el ciclo Hamiltoniano con la longitud más corta.

El TSP puede solucionarse con un grafo artificial, donde cada nodo simula un cliente en el problema y donde cada arco representa la distancia más corta entre los correspondientes clientes.

EL ruteo de vehículos se ajusta según las necesidades y las restricciones que se presenten. Entre las alternativas que ofrece el método se encuentran:

- VRPTW: Problema de Transporte con Ventanas de Tiempo,
- VRP with pick up and Deliveries: Problema de Transporte con recolección y entrega.

El VRPTW es un problema donde los se incluyen ventanas de tiempo para realizar las entregas, en este problema pueden presentarse dos tipos de situaciones, la primera donde la ventana de tiempo es estricta o la segunda donde la ventana de tiempo es más suave, pero la entrega fuera de la ventana de tiempo sin importar de que tipo sea implica una penalización.

El VRP with pick up and deliveries (Problema de Rutas de Vehículos con Recolección y Entrega), donde el cliente tiene la posibilidad de devolver determinados bienes, hace que exista limitantes en cuanto a las decisiones relacionadas con la capacidad del camión. Esta limitante hace que la programación de las rutas se vuelva compleja y si se realiza una mala programación pueden generarse problemas de utilización de vehículos, mayor número de vehículos y mayores distancias recorridas.

Para la solución de estos tipos de problemas se han desarrollado métodos exactos, heurísticos y metaheurísticos, los métodos exactos no pueden ser utilizados, ya que la magnitud del problema es grande y realizarlo con métodos exactos demanda una cantidad de tiempo exagerada y recursos computacionales costosos. Por otra parte existen los heurísticos y metaheurísticos que ofrecen precisión, velocidad, simplicidad y flexibilidad, por lo que son la mejor alternativa para solucionar un problema de esa índole.

Los heurísticos son procedimientos con un alto grado de confianza, que brinda una solución accesible en términos de costo tanto monetario como de recursos computacionales. Aunque no es un método exacto y no se garantiza que su resultado es óptimo, puede brindar soluciones aproximadas.

El método de los ahorros de Clarke -Wright. Es uno de los métodos con más flexibilidad a la hora de tener en cuenta una gran cantidad de variables y recursos

de la empresa, por lo general la cantidad de vehículos. En resumen el método inicialmente simula un vehículo que realiza una parada y regresa al depósito, y realiza el mismo procedimiento con todas las paradas, con esto se consigue la distancia máxima recorrida. Luego se combinan las paradas, es decir se eliminan algunos regresos al depósito y se calcula la distancia ahorrada antes y después de la combinación de puntos. Este proceso se realiza para todas las posiciones.

Entre otros heurísticos que se puede encontrar el heurístico del vecino más cercano este es un método sencillo, en este se toma el nodo más cercano al nodo de origen (bodega de acopio por ejemplo) es decir el más cercano en términos de distancia o el más económico en términos del costo. Se realiza un procedimiento similar con los nodos siguientes que aún no hayan sido incluidos dentro de la ruta.

El Método del barrido es un heurístico en el cual en un plano cartesiano, se ubican los nodos destino y el nodo origen, se hace la analogía a las manecillas de un reloj, se traza una línea recta que tenga como medida la distancia al punto más lejano y como punto de partida el nodo de origen. Luego de escoger una posición de las manecillas arbitrariamente se hace girar hacia la derecha o la izquierda y se empiezan a adicionar a la ruta

Otra alternativa para el desarrollo de rutas de vehículos es la implementación de metaheurísticos que, al igual que los heurísticos, son métodos de alta confianza que no garantizan resultados óptimos, pero están diseñados para tener efectividad donde los heurísticos clásicos no tienen esta característica.

Entre los algoritmos metaheurísticos más conocidos hasta el momento para la solución de problemas de ruteo de vehículos están:

Genéticos: Fueron creados a partir de la fusión de las teorías de evolución por selección natural, las leyes de herencia de Mendel y la hipótesis germinal de Weismann.

Estos algoritmos están compuestos por tres etapas fundamentales:

- Selección: Los individuos más aptos son seleccionados para resolver el problema.
- Cruce: tiene como objetivo que el resultado de mezclar la información genética de los padres anteriormente seleccionados, dé como resultado hijos más aptos para la solución del problema.
- Mutación: se busca cambiar aleatoriamente la información genética de un individuo, para tratar de que sea más apto para resolver el problema planteado.

En estos algoritmos hay funciones importantes que se deben tener en cuenta como son:

- Función de evaluación o fines: esta función entrega el indicador de adaptabilidad de cada individuo, es decir cada individuo mostrara la capacidad que tiene de resolver el problema
- Función de diversidad: Con esta se garantiza la unicidad de todos los individuos de una población en una generación determinada.

Algoritmo de Colonia de Hormigas: Están basados en el comportamiento de las hormigas naturales. Según estudios de biólogos, las hormigas tienen la facilidad de encontrar siempre el camino más corto entre el hormiguero y la fuente del alimento, esto se logra gracias a la comunicación indirecta a través de feromonas. Con la feromona las hormigas establecen una ruta y optimizan sus recorridos en la medida en que pase el tiempo.

Los componentes para este algoritmo son:

- Hormigas: Realizan un recorrido dentro del problema dado
- Memoria de feromonas: Se usa para tener el historial de los recorridos hechos por las hormigas.
- Probabilidad de selección de un camino: Toma de decisión de cada hormiga sobre el camino a seguir de un punto a otro. Está dado por una función de probabilidad conocida como la Regla de transición de estados aleatorio o regla de Bonabeau.

Como resultado de la evaluación de la regla se tiene una posibilidad para cada posible camino.

- **Recocido Simulado:** Es una metaheurística basada en el proceso de llevar un metal a un estado de equilibrio térmico utilizando la mínima cantidad de energía posible. En términos del proceso de optimización se busca que dada una regla de aceptación y al perturbar una solución inicial iterativamente se encuentre una solución óptima.

3.3 APORTE INTELECTUAL

Al evaluar los heurísticos anteriormente expuestos se define que el método de ahorros será un heurístico vital para el desarrollo de este proyecto, ya

que propone una manera sencilla pero eficaz de realizar la programación y el diseño de rutas, y debido a las limitantes de tiempo que tenemos es muy buena opción. Con el desarrollo de una herramienta en Excel que permita automatizar el proceso de generación de rutas, haciendo que el desarrollo de la metodología con el método de ahorros sea útil para una implementación a nivel empresarial.

4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

4.1 MATRIZ DE MARCO LÓGICO

OBJETIVO	RESUMEN NARRATIVO	INDICADORES	MÉTODOS DE VERIFICACIÓN
GENERAL	Modelo de ruteo para los procesos de recolección y distribución de las empresas de logística de recolección y entrega de	Cumplimiento del proyecto	Aprobación del tutor de grado, el lector del proyecto de grado y del gerente de la empresa.
DEL PROYECTO	Modelo de ruteo para los procesos de recolección y distribución de paquetes de la empresa	Porcentaje de cumplimiento del proyecto	Entregas realizadas, reunión con el tutor, correcciones, revisión profesor de proyecto de grado retroalimentación, etc.
ESPECIFICO	Identificar y analizar Los procesos actuales de programación de rutas y zonas de distribución.		
ACTIVIDAD	Identificar la demanda y zonas de distribución	Rutas estudiadas / total de rutas	Mapa con rutas;
ACTIVIDAD	Analizar el proceso actual de diseño y programación de rutas		Informe sobre el análisis del modelo actual

OBJETIVO	RESUMEN NARRATIVO	INDICADORES	MÉTODOS DE VERIFICACIÓN
ESPECÍFICO	Seleccionar y diseñar un modelo de ruteo para el cubrimiento de los clientes		Modelo de distribución que cumpla con el objetivo del proyecto
ACTIVIDAD	Selección de el/los modelos a utilizar para el diseño		Verificación del tutor
ACTIVIDAD	Evaluación del diseño para el Ruteo		Informe de evaluación
ACTIVIDAD	Diseño del modelo de ruteo	Porcentaje de desarrollo del modelo	Verificación del tutor
ESPECÍFICO	Desarrollar la metodología aplicada al caso de la empresa de paquetero estudiada		
ACTIVIDAD	Validación por medio de una prueba piloto del modelo		Prueba piloto desarrollada

4.2 ETAPAS DEL PROYECTO

El proyecto se va a dividir en 5 etapas

Número	Etapas del Proyecto	Actividades Críticas	Metodología Específica
1	Investigar sobre el diseño y programación de rutas	Comprender los métodos existentes para el diseño y programación de rutas; comprender los tipos de problemas de ruteo de vehículos para buscar uno que se ajuste al tipo de problema que tenemos.	Consulta de bibliografía existente sobre el tema
2	Recolección de datos y Análisis de situación actual	Recolección de datos como tiempos de rutas, Recolección de información como rutas actuales, zonificación de rutas. Demanda de cada ruta Clasificación y análisis de información. Modelo actual de	Toma de tiempos de camiones en algunas rutas , análisis de datos históricos de demanda por zona, análisis de modelo actual de ruteo

3	Evaluación de métodos para el diseño y programación de las rutas	Selección de los métodos que más se ajusten al problema de ruteo de vehículos. Comparación de métodos, selección de método que de un resultado más aproximado a la realidad.	Contextualizar el problema ajustándolo a modelos existente y comparar con la metodología actual de manera teórica.
4	Desarrollo del modelo de PL	Elección de parámetros, supuestos, variables, identificación de limitantes y ventajas.	
5	Realización de prueba piloto		

5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

5.1 RECURSOS DISPONIBLES

Para la realización del proyecto será necesaria la disposición de algunos recursos que se clasifican de la siguiente manera:

- **Recursos tecnológicos:** Se necesitara de un computador para la documentación del proyecto, también hace parte importante para la investigación y el desarrollo del modelo a proponer.
- **Recursos económicos:** No existirán recursos por partes de terceros, todo será asumido por el investigador. El gasto que debe cubrir es el de los desplazamientos a la sede principal de la empresa.
- **Recursos Humanos:** Este estará comprendido por el investigador, su tutor temático, el gerente de la empresa que estará presente durante toda la investigación. Además de todas las personas que indirectamente van a contribuir para el desarrollo del proyecto, como son los empleados de la empresa, profesores de la Universidad ICESI, entre otros.
- **Recursos Bibliográficos:** Entre estos podemos encontrar libros, papers, proyectos de grado y todo tipo de literatura relacionada con el tema del proyecto

5.2 EQUIPO DE INVESTIGADORES

Las personas encargadas del desarrollo del proyecto son:

- Juan Sebastián Echeverry Soto, Estudiante de Ingeniería Industrial de la universidad ICESI, quien actualmente cursa octavo semestre y será el autor del proyecto
- Andrés Felipe Osorio; Magíster en ingeniería, Universidad del Valle. Especialista en Logística. Ingeniero Industrial, Universidad del Valle, tutor temático.

5.3 CRONOGRAMA

Para la realización del cronograma , se tuvieron en cuenta además de las actividades primarias de ejecución como tal del proyecto y otras excepciones relacionadas con compromisos de sus autores diferentes a los de la realización del proyecto. Ver anexo B.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 SERVIENTREGA S.A

SERVIENTREGA S.A. es una empresa que integra la cadena de abastecimiento, brindando soluciones en logística y comunicaciones, líder en el sector dentro del mercado colombiano.

Tipos de soluciones

Servientrega ofrece tres canales para ofrecer sus soluciones:

- Soluciones retail
- Soluciones in company
- Soluciones corporativas

Guías

Las guías son el contrato de transporte que regula la relación comercial que existe entre el cliente y Servientrega. La guía cumple la función de contrato de transporte para las soluciones in company y corporativas; pero para las soluciones retail cumple una doble función, ya que además de ser un contrato de transporte, tiene la función de factura de venta

Existen diferentes tipos de guías

- Guía premier
- guía remesa carga terrestre
- guía sticker
- guía sticker remesa Carga terrestre
- Guía personalizada

Mercancías

Se manejan distintos tipos de mercancía

- **Mercancía Premier:** Dirigido a empresas con ventas multinivel, por catálogo, tele ventas o por Internet; y también a clientes naturales, donde cada envío este amparado con una guía.
- **Mercancía Industrial:** Empresas con despachos constantes y ventas a mayoristas, almacenes de cadena, distribuidores, etc.; en donde, con una sola guía se amparan todas las piezas para un mismo destinatario.
- **Mercancía Carga Masiva:** Empresas con despachos constantes y masivos,

ventas a mayoristas, almacenes de cadena, distribuidores, etc.; en donde, la mercancía se carga directamente en la bodega del remitente y no se le realiza procesamiento en ninguno de los centros logísticos llegando a las bodegas del destinatario.

Envíos

Para realizar un envío el primer proceso por el cual debe pasar es el proceso de Ventas, este proceso se realiza por cualquiera de los canales que la empresa ofrece, ya sea en un Centro de Soluciones Retail, o en un Centro de Soluciones In Company, Al realizar la venta se hace la solicitud del servicio, en este paso es donde se registra toda la información del paquete, incluye tipo de producto, peso, volumen, cantidad, destino, valor declarado entre otra información necesaria para poder realizar la programación.

La programación es el proceso con el cual se programan los envíos, teniendo en cuenta la información registrada en la solicitud del servicio, esta información es validada, y luego de esto se genera las rutas, para su posterior recolección o distribución según sea el caso.

Zonas de distribución y recolección

Son zonas que demarcan el cubrimiento de un vehículo según la operación que se encuentre realizando el vehículo, es decir puede encontrarse realizando el proceso de recolección o el proceso de distribución, en algunos casos estas zonas son las mismas, pero varían para casos específicos.

Proceso de Recolección

El proceso de recolección es como su nombre lo indica el proceso por el cual la empresa recibe los envíos de sus clientes en unas ventanas de tiempo, para que posteriormente esta sea entregada. Este proceso se realiza por separado del proceso de distribución, es decir se destina un único vehículo para que realice el proceso y solo en casos especiales realiza entregas mientras realiza el proceso de recolección. El proceso inicia en la mañana se realiza sobre la marcha, es decir las solicitudes de recolección se reciben hasta una determinada hora de la tarde, pero las solicitudes se pasan al técnico casi en tiempo real para que el realice la recolección en el transcurso del día según su criterio.

Proceso de distribución

Es el proceso mediante el cual se asigna un vehículo para que realice las entregas de los paquetes que los clientes envían. Para este proceso también existe un único vehículo destinado por zona para realizar dicho proceso. En el proceso actual se realizan dos operaciones por día, una en la mañana y otra en la tarde, con esto se

entregan los paquetes que llegaron desde la tarde del día anterior(después de la salida del camión que realiza la operación en la tarde) hasta las seis de la mañana del día actual y en la tarde las entregas que se realizan en el tiempo en que el camión se encuentra realizando entregas.

6.2 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO ACTUAL DE PROGRAMACIÓN DE RUTAS Y ZONAS DE DISTRIBUCIÓN.

El proceso de asignación de clientes a los camiones que realizan las rutas de distribución y recolección se realiza con un camión asignado a una zona de distribución o recolección según sea el caso.

Las zonas de distribución son zonas limitadas espacialmente donde se realizan las entregas de mercancía, y las zonas de recolección,, son aquellas donde se recoge la misma. Se supone que ambos tipos de zona están diseñadas para garantizar que la demanda de cada proceso y en la movilidad que podían tener los vehículos dentro de la ciudad, que es un factor crítico debido a que el diseño de Cali tiende a ser complejo, esto puede evidenciarse en el hecho de que la ciudad tiene calles, avenidas, carreras, transversales, lo que hace que desplazarse y ubicarse dentro de la ciudad sea más complicado. Teniendo en cuenta esta complejidad y la dificultad que puede presentarse al intentar trasladarse de un lugar a otro, así como el tráfico de la misma, se diseñaron 16 zonas de recolección y 23 zonas de distribuciones, es decir el vehículo puede encontrarse realizando el proceso de recolección o el proceso de distribución, en algunos casos estas zonas están demarcadas con los mismos límites pero varían para casos específicos. En la actualidad las rutas se programan por zona, basándose en la experiencia del operario, quien verifica todos los puntos a visitar y diseña la ruta.

Se realiza un análisis de demanda de paquetes que los técnicos deben entregar por día y por operación. . Las guías comprenden la cantidad de paquetes que deben entregar mas no necesariamente los puntos a visitar, ya que pueden haber varias guías asignadas a un solo destino. Este análisis se enfoca en la capacidad del vehículo, A pesar de que no se tiene la contabilización del peso de los paquetes, se puede asumir un peso promedio de 20kg que compensaría el exceso y el defecto por peso de cada paquete asignado a cada guía.

En este se van a evaluar dos de las zonas para observar alguna tendencia, es decir para no sesgar el resultado a una única zona y realizar una generalización apresurada. Se toman dos de las zonas con mayor demanda ya que la hipótesis es que la zona garantiza que la capacidad del camión no se va a sobrepasar y si no se excede en las zonas de alta demanda seguramente en las zonas de baja demanda no se va a exceder.

Se observa la tabla siguiente para ver el valor promedio de entregas por día para cada

mes durante un periodo de un año

Tabla 1- Tabla zona Y

ZONA Y			
MES	PROMEDIO DIA	PROMEDIO OPERACIÓN	TONELADAS POR DIA
Enero	101.4	50.7	1.014
Febrero	110.1	55.1	1.101
Marzo	122.8	61.4	1.228
Abril	112.9	56.4	1.129
Mayo	116.9	58.5	1.169
Junio	109.0	54.5	1.090
Julio	109.4	54.7	1.094
Agosto	96.4	48.2	0.964
Septiembre	98.0	49.0	0.980
Octubre	98.7	49.4	0.987
Noviembre	105.7	52.8	1.057
Diciembre	112.8	56.4	1.128

Se realiza el análisis para otra zona de alta demanda, con esta medición se espera poder aceptar o refutar la hipótesis de que las zonas garantizan que las capacidades de los vehículos no se sobrepasan. (Tabla 2-Tabla zona)

Tabla 2-Tabla zona Z

ZONA Z			
MES	PROMEDIO DIA	PROMEDIO OPERACIÓN	TONELAJE
Enero	114.7	57.3	1.720
Febrero	110.1	55.1	1.652
Marzo	122.8	61.4	1.843
Abril	125.1	62.6	1.877
Mayo	124.0	62.0	1.860
Junio	121.3	60.7	1.820
Julio	127.4	63.7	1.911
Agosto	111.1	55.5	1.666
Septiembre	105.0	52.5	1.576
Octubre	118.2	59.1	1.773
Noviembre	120.0	60.0	1.801
Diciembre	118.0	59.0	1.770

Las rutas de la zona se realiza con un camión Chevrolet NHR con una capacidad de

2.065 toneladas según las especificaciones de la ficha técnica del vehículo.(ver anexo I)
Al revisar el tonelaje por mes contra la capacidad del camión para ambos casos se deduce que las zonas garantizan que las capacidades no se exceden , teniendo en cuenta que este el peso asumido para cada paquete es alto. Además de esto históricamente la capacidad del camión no se ha excedido ni en términos de peso ni en términos de volumen.

Las otras condiciones que las zonas garantizan con ese diseño es la fácil movilización dentro de la zona, teniendo en cuenta factores como ríos, en el caso de Cali, carriles del Mio, separadores viales, entre otros y que el tiempo en el proceso de recolección y o distribución no va a exceder el tiempo que se dispone para ello. Algunas variables como el tráfico, las reparaciones en las vías son incontrolables por la empresa pero en esencia la delimitación de las zonas permite que la asignación de los clientes no exceda la capacidad del vehículo y que los desplazamientos sean cortos y que tengan facilidad para ello, concluyendo que el proceso de asignación cumple con los requisitos suficientes para ser efectivo. Ya que en una ciudad con tanta complejidad en su estructura vial, se diseñaron zonas para evitar desplazamientos largos y complejos, que implicarían un mayor consumo de combustible, llantas, lubricantes y que garantizan que no se exceda la capacidad significativamente.

Ahora se evalúa el proceso de diseño de rutas para distribución, al diseñar la ruta el técnico debe tener en cuenta algunos factores que pueden aumentar el tiempo utilizado para la misma. Entre esos factores podemos encontrar:

- Estado de las vías(estructura vial)
- Volumen de tráfico
- Horas pico
- Ventanas de tiempo

En general las personas encargadas de generar la ruta, que para el caso de la empresa son los auxiliares, tienen en cuenta los factores anteriormente mencionados. En lo que todos no concuerdan es en la manera de generar la ruta . Para evidenciar esto se realizaron entrevistas a las personas con mayor experiencia en realizar las rutas en dos zonas

La primera persona entrevistada (Anexo C) encargada de una zona de recolección en el norte de Cali (**ver figura 1**), explico que lo primero que hacía era generar un cuadrante en el cual demarcaba la zona en la cual se encontraban todos los puntos donde debía realizar entregas, por lo general iniciaba en lado derecho de ese cuadrante y empezaba a recorrer la zona por calles, sin seguir un orden cíclico, la selección de las calles y de las avenidas y el orden de distribución era determinado por el orden en que se hayan organizado los paquetes dentro del furgón.



Figura 1- Zona Norte (Hoyos, 2009)

La segunda persona entrevistada (Anexo D) es la encargada de una de distribución del Sur (ver figura 2). Expone un método diferente al utilizado por su compañero. La primera actividad que realiza es establecer por donde va a comenzar la ruta, por lo general comienza en el mismo punto, luego la persona divide la zona en sub zonas, a la cuales les asigna un orden de visita, ya dentro de cada sub zona realiza un recorrido en Zigzag, hasta que termina de entregar los paquetes.

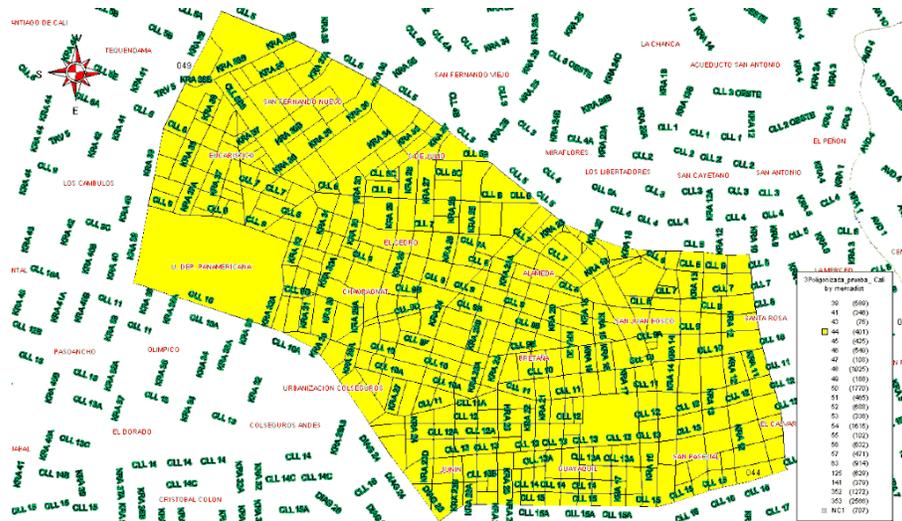


Figura 2-Zona Sur (Hoyos, 2009)

De las entrevistas se puede deducir que existe una falta de estandarización en el proceso de recolección en los métodos para realizar los recorridos, esta ausencia de procedimientos estándar genera que cuando el volumen de entregas es alto, se presenten errores que generan ineficiencias en el proceso, es decir, en la medida que aumenta la carga y aumenta la cantidad de guías, para la persona resulta más tedioso poder generar una ruta eficiente. Debido a esto y a otros factores como el cansancio, el estrés, entre otros; en algunas ocasiones se hace un mal diseño de ruta, y eventualmente se ve reflejado en los costos de transporte como son combustible, desgaste del vehículo y mayor tiempo del operador en ruta. .

Entre las ventajas del método actual (empírico) se encuentra que mientras la persona está realizando el proceso de ruteo ,debido a que se realiza sobre la marcha puede realizar modificaciones según se comporte el entorno, también puede tener en cuenta más factores además de los ya mencionados, que pueden influir en que en el desempeño de la ruta. Desde este punto de vista, el ruteo por experiencia ofrece una gran ventaja debido a lo adaptable que resulta ser a los cambios del entorno.

Otro punto a favor en el modelo por experiencia encontramos que en la medida que una persona realiza la ruta un mayor número de veces, perfecciona su ruta, realizando los cambios que considere necesarios para realizar la misma. El inconveniente que esto conlleva es que cuando la persona que adopta la zona no puede realizar la ruta por cualquier motivo, encontrar quien realice la ruta de manera igual o más eficiente es complicado, ya que cada persona se especializa en la zona que le corresponde. Cuando la persona que era la encargada de la zona deja el puesto permanentemente y no se realiza un empalme adecuado con la persona que toma dicho cargo; el proceso de reconocimiento y adaptación de la ruta implica incurrir en costos de transporte adicionales a los que ya se tenían establecidos y seguramente cambiaran debido a que la persona que ingresa tiene un modelo lógico diferente para realizar la ruta.

La falta de estandarización, se genera gracias a que los métodos actuales de ruteo son empíricos, es decir, estos métodos de ruteo se basan en la experiencia de los operadores, por lo cual es muy difícil llegar a estandarizar el proceso.

Debido a esto se requiere generar un método de ruteo que permita estandarizar el proceso de programación de rutas para disminuir la cantidad de errores que se presentan por el alto volumen de puntos a visitar y disminuir la dependencia que tiene el proceso de distribución de los técnicos que se especializan en las zonas dando la oportunidad de tener mejor respuesta ante la ausencia de alguno de los mismos.

6.3 SELECCIÓN Y DISEÑO DEL MODELO DE RUTEO

6.3.1 Selección

Para realizar el proceso de selección del modelo de ruteo, se tuvieron en cuenta unos factores que son de alta relevancia al momento de determinar qué modelo se iba a adoptar para el caso.

Como se mencionó anteriormente, la empresa tiene unas zonas de distribución y de recolección pre-establecidas, ya que estas zonas están diseñadas para que los vehículos realicen las entregas sin exceder el tiempo disponible para ello ni la capacidad del vehículo, se decidió que se tomaría como modelo de asignación de clientes, haciendo que las rutas se programan dentro de cada zona, respetando el modelo que ya tienen establecido para ello.

Para la construcción del modelo de ruteo, vamos a tomar como modelo de asignación de clientes la zonificación establecida por la empresa; de esta manera se tiene se asegura que las rutas que el programa va a generar logran ser cubiertas en el periodo de tiempo establecido.

Para la construcción del modelo de ruteo como tal se evaluaron diferentes algoritmos heurísticos, pero se determinó el uso del método de ahorros de Clark - Wright, ya que como lo explica Ballou en su libro "Logística: administración de la cadena de suministro" el algoritmo tiene una gran flexibilidad para manejar las restricciones y no demanda muchos recursos computacionales, llegando a una solución bastante cercana al óptimo. Lo que se busca con este método es minimizar la distancia total viajada, en este caso por el camión de la empresa.

6.3.2 Diseño

El método inicia generando los recorridos de la forma "ir-volver" para cada destino, cada uno de estos recorridos se va a denominar Tour, es decir, cuando visita un destino y regresa al depósito, este es el Tour 1, luego visitara otro destino y regresara al depósito, completando el Tour 2 y así para todos los destinos (**Ver figura 4**). De cada tour se consigue la distancia que existe desde el depósito a cada nodo. De esta unión se tiene como resultado un total de N menos uno tours, siendo N la cantidad de puntos a visitar.

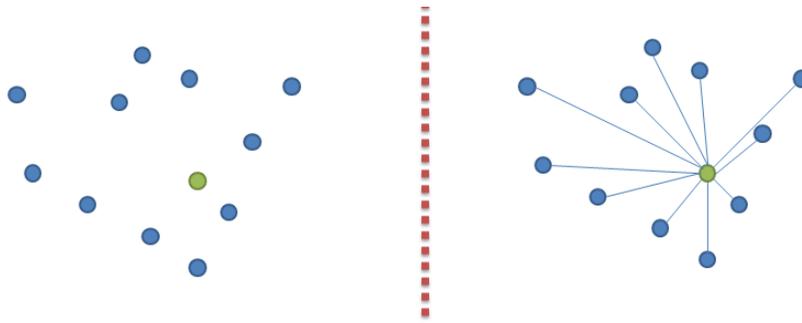


Figura 3-Método Ir-volver (Osorio, 2012)

La unión de tours se hace tomando como criterio las uniones que generen el mayor ahorro en distancia, es decir que al conectar un punto de un tour con otro debe recorrer una menor distancia comparada con el recorrido si se realizara de la forma "ir-volver. La primera iteración uno dos tours sin importar como se conecten, ya que de cualquier manera va a generar ahorro, lo mismo sucede con el segundo par de tours, puede ser cualquier combinación, exceptuando los que ya se utilizaron, van a generar ahorro. Para las siguientes iteraciones es necesario saber además de cuales tours se conectan, como se conectan, porque en las siguientes iteraciones, cuentan los dos tour que se generaron en las primeras iteraciones. Para determinar cuál es la mejor manera de conectar los tours restantes, se realizan 4 tipos de conexión, cada una de ellas genera un ahorro en distancia y la que genere el mayor ahorro será la manera como se deberá conectar el siguiente tour. A continuación se expone cada uno de los tipos de ahorro según la manera como se conecta

Tenemos una condición inicial, ya se tienen dos tours (a y b) con 4 puntos(figura 5), que fueron el resultado de unir dos tours del método "ir-volver" en cada uno, luego de esto se requiere unir un tour más, es necesario asumir que el problema solo tiene 4 tours , por ende no hay más combinaciones posibles.

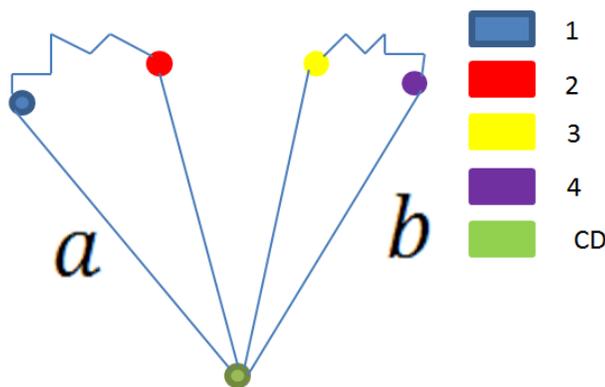


Figura 4-Condición inicial (Osorio, 2012)

El primer tipo de ahorro que se evalúa se consigue cuando se unen el último nodo del tour a con el primer nodo del tour b, de esta manera se elimina la distancia consumida al regresar una vez hasta la bodega y la distancia del recorrido desde la bodega hasta uno de los destinos. (Ver Figura 6).

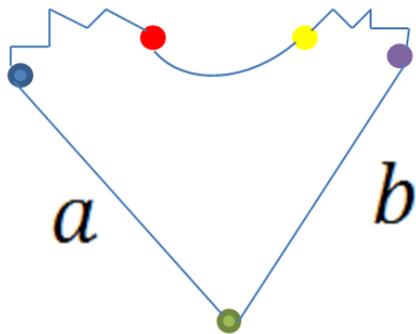


Figura 5-Primer tipo de ahorro (Osorio, 2012)

Al unir los tours de esta manera el ahorro generado será equivalente a lo expresado en la ecuación del primer tipo de ahorro (ver ecuación 1) Donde el cero corresponde al bodega y/o centro de distribución, el PFA denota el último punto del tour a PIB el punto inicial de B.

$$\text{Primer tipo de ahorro} = \text{Distancia}(0, PFA) + \text{Distancia}(0, PIB) - \text{Distancia}(PFA, PIB)$$

Ecuación 1-Primer tipo de ahorro (Osorio, 2012)

Luego se evalúa la siguiente forma de conectar los tours, lo que generaría el segundo tipo de ahorro. El segundo tipo de ahorro se da cuando se conectan el tour "a" desde su punto inicial con el "b" en su punto final (ver figura 7)

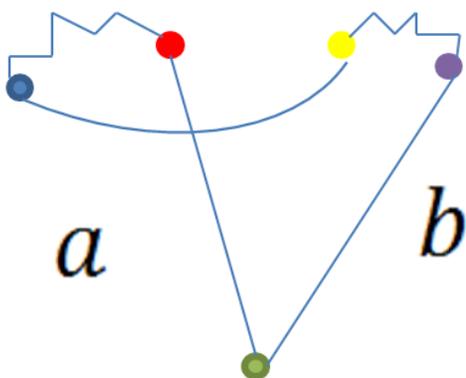


Figura 6- Segundo tipo de ahorro (Osorio, 2012)

Cuando los tours se unen de esta manera el ahorro generado será equivalente

sumar las distancia desde el punto cero hasta el PIA(Punto Inicial de “a”) más la distancia desde cero hasta el PIB, menos la distancia entre los puntos PIA y PIB.La ecuación sería la siguiente:.

$$\text{Segundo tipo de ahorro} = \text{Distancia}(0, PIA) + \text{Distancia}(0, PIB) - \text{Distancia}(PIA, PIB)$$

Ecuación 2-Segundo tipo de ahorro (Osorio, 2012)

Otra alternativa es conectar el primer nodo de uno de los tours con el ultimo nodo del otro, lo que para este caso se conectarían el PIA con el PFB(Punto Final de “b”),. (Ver figura 8),

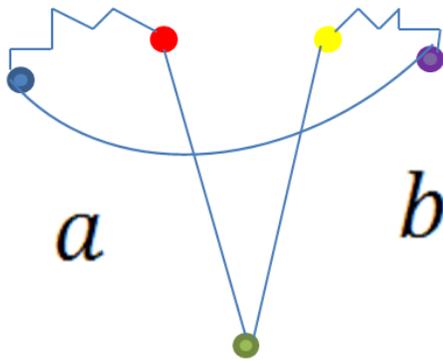


Figura 7-Tercer tipo de ahorro (Osorio, 2012)

$$\text{Tercer tipo de ahorro} = \text{Distancia}(0, PIA) + \text{Distancia}(0, PFB) - \text{Distancia}(PIA, PIB)$$

Ecuación 3-Tercer tipo de ahorro (Osorio, 2012)

Teniendo en cuenta lo anterior, El tercer tipo de ahorro equivaldría a la suma de la distancia entre el PIA y el punto cero y el PFB y el punto cero, sustrayendo la distancia entre el PIA y el PFB.(ver ecuación 3)

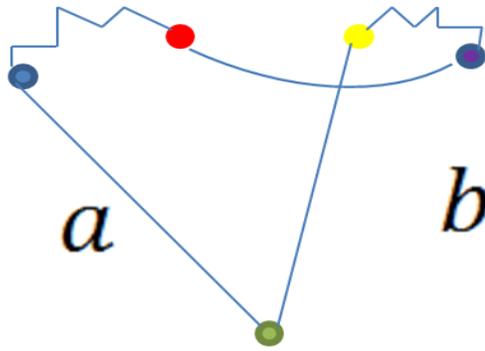


Figura 8-Cuarto tipo de ahorro (Osorio, 2012)

La última manera de unir los tours es uniendo el último punto del tour a con el último punto del tour b, (PFA, PFB) **(ver figura 9)**

El ahorro que genera esta unión se cuantifica en la ecuación del ahorro tipo 4 (ver ecuación 4)

$$\text{Cuarto tipo de ahorro} = \text{Distancia}(0, PFA) + \text{Distancia}(0, PFB) - \text{Distancia}(PFA, PIB)$$

Ecuación 4-Cuarto tipo de ahorro

Como el panorama que acabamos de presentar es limitado a un número muy pequeño de puntos por visitar, cuando la cantidad es mayor y se forman tours de más de 3 nodos, es necesario aclarar que no existen más maneras de conectar los tours, solamente se realizan estos 4 tipos de conexiones, independientemente de la cantidad de nodos que haya por tour, los nodos dentro del tour diferentes al de inicio y fin no se tienen en cuenta, ya que el método ya los contempló y encontró que en el momento en que lo evaluó por primera vez, la posición en la que se encuentra ubicado es la que mayor ahorro genera, recordando que por ser un método heurístico, encuentra una solución óptima entre un grupo de ellas, no contempla todas las posibilidades, por ello los únicos nodos que serán evaluados como candidatos para calcular el ahorro van a ser los nodos de los extremos, sin contar el punto cero o bodega.

De cada tipo de ahorro, se busca cuál es el que genera el mayor ahorro en distancia recorrida. Cuando encuentra que combinación de tour generan el mayor ahorro, los une de la manera correspondiente. Al realizar todas las iteraciones necesarias, el método va a terminar con un único tour que va a ser la ruta a seguir, en este caso por el vehículo de la empresa.

6.3.3 Notación Algebraica

Para explicar la lógica que sigue el método se hace necesario explicar el razonamiento matemático que este sigue. Comenzaremos por definir

la terminología

$$\begin{aligned}
 i &= \text{Identificador de nodo} \\
 j &= \text{identificador del tour} \\
 N_j &= \text{Cantidad de nodos en el tour } j \\
 \sigma_{ij} &= \text{Nodo } i \text{ del tour } j
 \end{aligned}$$

Ecuación 5-Terminología (Osorio, 2012)

Es necesario definir la función que calcule la distancia recorrida, esta función es la que se va a tratar de minimizar (ver ecuación 6)

$$\text{Distancia } j = D(d, \sigma_{1,j}) + \sum_{i=1}^{N_j} \{D(\sigma_{i,j}, \sigma_{i+1,j})\} + D(\sigma(N_j, j), d)$$

Ecuación 6-Función Objetivo (Osorio, 2012)

Una vez definido donde se encuentra el depósito y los puntos a ser visitados, se crean los tours iniciales, que simulan el trayecto “ir-volver”. Posteriormente debo unir los tours, como se explicó anteriormente existen 4 maneras posibles de conectar dos tours, en cada iteración se evalúan las 4 maneras de conectar los tours, y se escoge según se genere el mayor ahorro en distancia. Los ahorros descritos anteriormente se relacionan con las siguientes ecuaciones

$$S1(a, b) = D(\sigma(N_a, a), d) + D(d, \sigma(1, b)) - D(\sigma(N_a, a), \sigma(1, b))$$

$$S2(a, b) = D(\sigma(1, a), d) + D(d, \sigma(1, b)) - D(\sigma(1, a), \sigma(1, b))$$

$$S3(a, b) = D(\sigma(N_b, b), d) + D(d, \sigma(1, a)) - D(\sigma(N_b, b), \sigma(1, a))$$

$$S4(a, b) = D(\sigma(N_a, a), d) + D(d, \sigma(N_b, b)) - D(\sigma(N_a, a), \sigma(N_b, b))$$

Ecuación 7-Notaciones algebraicas de los 4 tipos de ahorro (Osorio, 2012)

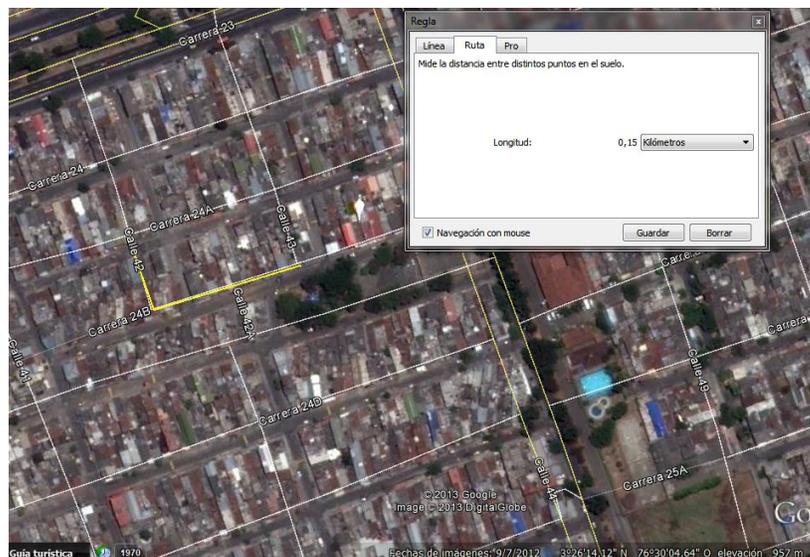
Con estos ahorros se genera una matriz de ahorros, y en base a esta se determinará de qué manera se van a unir los tours en cada iteración, hasta que ya se hayan unido todos.

6.4 METODOLOGÍA

Tomando como base las zonas delimitadas por la empresa, para la desarrollar la metodología aplicada al caso, se seleccionó una de las zonas más importantes para la operación de la empresa para utilizar el método de ruteo dentro de la misma, con el fin de realizar un comparativo entre el método de ruteo actual y el método propuesto.

Un elemento clave para el diseño de rutas con el método propuesto, eran las distancias que existían entre los puntos que se iban a visitar. Debido a que no se lleva un registro de la distancia que se recorre, se utilizó como estrategia para determinar las distancias entre los puntos, utilizar las distancias lineales entre ellos. Debido a que el diseño de las calles en la ciudad no es similar a un cuadrado, se hace necesario comprobar que exista una relación entre la distancia recorrida real y la distancia lineal, para verificar que al asumir distancias lineales, no se está realizando un supuesto incorrecto.

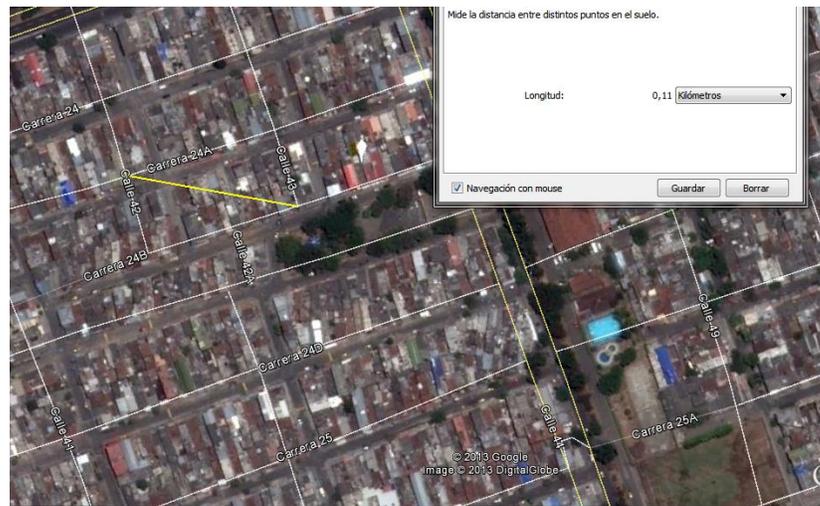
Se seleccionó la zona de distribución norteFigura 1- Zona , esta zona va a ser el piloto para demostrar que las distancias lineales pueden utilizarse para realizar el estudio, sin tergiversar los resultados. Se ubicaron 30 puntos de manera aleatoria, para estos 30 puntos se realizaron las mediciones reales (Anexo E) de las distancias que existían entre ellos recorriendo las calles, utilizando para ello un software similar a un sistema de información geográfica denominado Google Earth, en busca de que las distancias calculadas en este programa fueran lo más exactas posibles, se siguieron las recomendaciones del proveedor del software. Una vez teniendo estas distancias, en el mismo software se calcularon las distancias lineales que existían entre los puntos, para tener (Anexo F).



Se realizó un análisis de correlación para determinar el grado de asociación que existía entre las distancias reales y las distancias lineales. Figura 11

Figura 9-Distancias reales con G.Earth

Figura 10-Distancias lineales con G. Earth



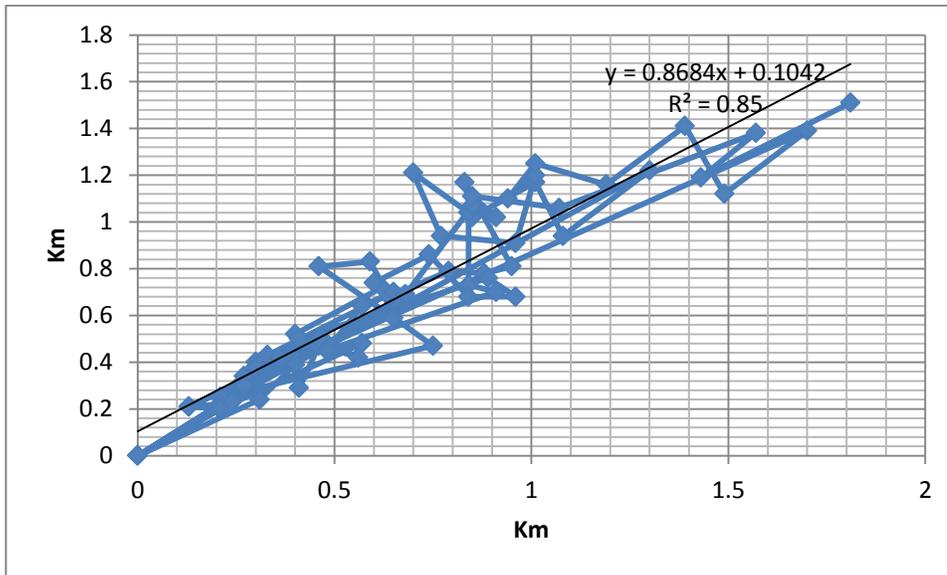


Figura 11-Gráfico de correlación

Se encontró un coeficiente de determinación de 0,85, lo que nos permite concluir que existe un alto grado de correlación y por ende se pueden utilizar distancias lineales para realizar los cálculos correspondientes al modelo, con la seguridad de que las distancias van a ser muy aproximadas a las reales.

Teniendo esto claro procederemos a explicar el diseño y el funcionamiento de la herramienta que utilizando el método de los ahorros, genera la ruta para que la persona encargada visite los puntos en el orden estipulado, cambiando la metodología actual, buscando disminuir la cantidad de distancia recorrida, impactando en los costos de transporte actuales. El modelo se diseñó completamente en Excel, ya que lo que se buscaba era generar una metodología que pudiera ser utilizada por la empresa fácilmente, sin necesidad de adquirir licencias. El desarrollo como tal se realizó en Visual Basic de Excel.

Inicialmente al abrir el archivo de Excel, se despliega un formulario Figura 12 en el cual se dan tres opciones, ingresar destinos que es el botón que me permite agregar los puntos a ser visitados, el botón calcular ruta con el cual, una vez agregados los puntos a visitar, defina cuál es recorrido que debe hacer recorriendo la menor distancia y por último el botón reiniciar que es con el que se borra la ruta creada y deja el programa listo para una nueva ruta

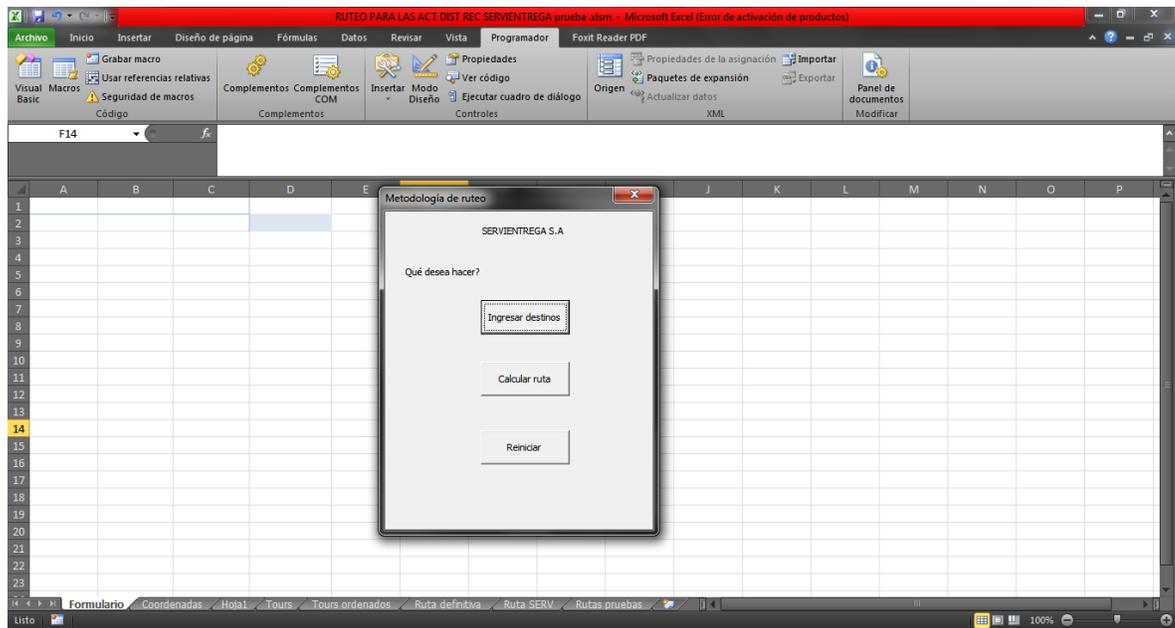


Figura 12-Formulario inicial

Uno de los botones de control se llama “ingresar destinos” al presionar este botón de comando se abrirá otro formulario. El formulario ingresar destino Figura 13 consta de cuatro listas desplegables y 3 botones. Debido a que para la zona que estamos estudiando las zonas se componen de avenidas y calles, la lista desplegable muestra la posible composición de una dirección, para nombrar un ejemplo la dirección es CALLE 24 5 AN 30 se descompone como Calle 25N y AVD 5A, los últimos números de la dirección no tienen relevancia para efectos del ruteo.

Todas las direcciones de la zona se encuentran en una base de datos, al oprimir el botón ingresar, Toma los valores seleccionados en la lista, posteriormente recorre la base de datos y cuando encuentra la combinación que coincide con la información ingresada, toma las coordenadas “X, Y” que corresponden a esa dirección y las guarda en la hoja “Coordenadas”, asignándole también un número de nodo que representara el destino a visitar. Además de colocar las coordenadas del punto que acaba de ingresar coloca como primer nodo la bodega o centro de distribución, para efectos de comparación con el método de ruteo actual, el punto se ubicó en el lugar donde la persona comienza a hacer el recorrido por donde está definido el punto de ingreso a la zona que en este caso sería en la coordenada (52; 2). Para ingresar otro dato lo único que debe hacer es cambiar los datos en las listas desplegables y volver a pulsar el botón ingresar.

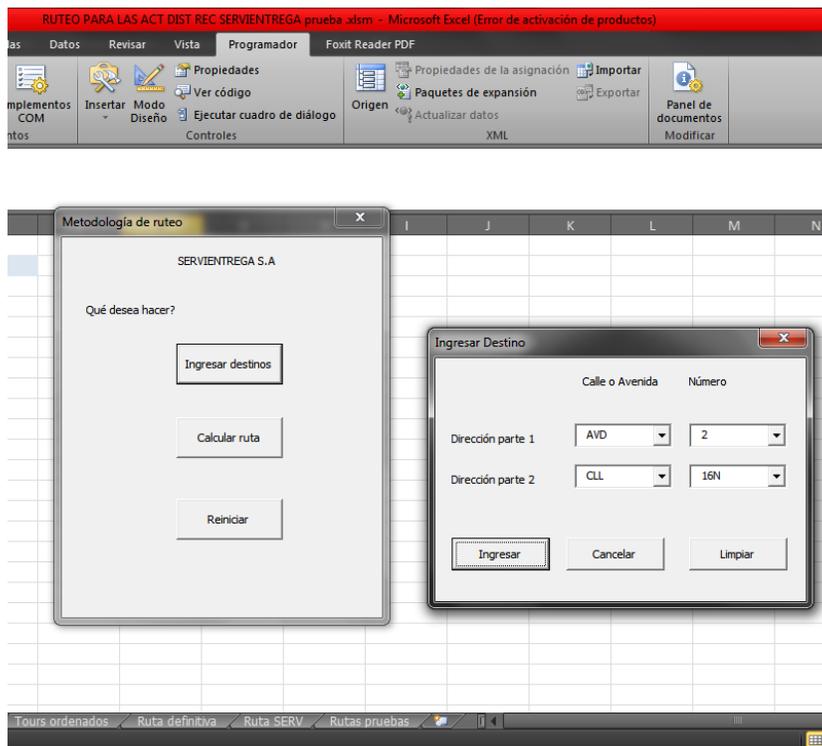


Figura 13-Formulario para ingresar destinos

En esencia cuando se selecciona el botón “Ingresar” se inicializan 4 listas desplegadas Figura 14 con todas las posibles combinaciones de destinos, para efectos del proyecto solo se han ingresado las combinaciones que se han ingresado en las pruebas, pero cuando se presenta la situación de que el destino requerido no se ha ingresado, solo se debe agregar el complemento de dirección que no se haya tenido en cuenta. En las listas desplegadas 1 y 2, se dan las opciones de Calle (CLL) y avenida (AVD), en las cajas 3 y 4, van los complementos de la dirección es decir en caso de que sea AVD, el complemento posiblemente sería 2A, 3ª, y lo mismo cuando es CLL, algunas opciones serían 18N,19N, 20N.

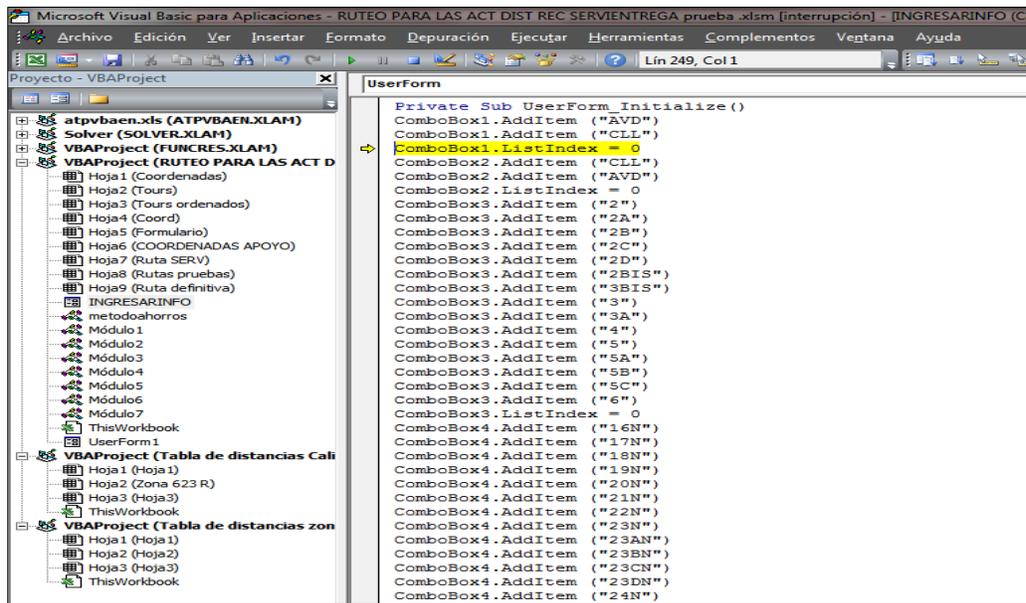


Figura 14-Listas desplegables en Visual Basic de Excel

Cuando se ingresa la primera dirección a visitar, automáticamente se crea una matriz con las coordenadas asignadas a cada combinación de direcciones posible. Cuando la persona a través del formulario ingresa una dirección. El modelo busca dentro de la matriz la dirección, le asigna las coordenadas correspondientes y las ingresa en la hoja del libro denominada "Coordenadas", además de esto genera una lista de las direcciones que fueron ingresadas, para utilizarlas más adelante. Figura 15

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	NODO	x	y						
2	0	52	2						
3	2	46	6.5		2	CLL	35N	AVD	2BIS
4	3	41	7		3	AVD	2A	CLL	28N
5	4	38	4		4	AVD	2BIS	CLL	26N
6	5	38	4		5	AVD	2BIS	CLL	26N
7	6	10	14		6	AVD		2	CLL
8	7	34	12		7	AVD		4	CLL
9	8	31.5	10		8	AVD	3A	CLL	24N
10	9	19	0.00000025		9	AVD		2	CLL
11	10	35.5	7.5		10	CLL	25N	AVD	2B
12	11	35	10		11	AVD	25N	AVD	3A
13	12	31.5	10		12	AVD	3A	CLL	24N
14	13	25	6.5		13	CLL	24N	AVD	3BIS
15	14	26	8		14	AVD	3A	CLL	23CN
16	15	27	14.5		15	AVD	5B	CLL	23DN
17	16	27	17		16	CLL	23DN	AVD	5A
18	17	19.5	5		17	CLL	24N	AVD	
19	18	21	15		18	AVD		5	CLL
20	19	30	15		19	CLL	24N	AVD	5A
21	20	30	15		20	CLL	24N	AVD	5A
22	21	30	15		21	CLL	24N	AVD	5A
23	22	31.5	12.5		22	CLL	24N	AVD	5
24	23	31.5	12.5		23	CLL	24N	AVD	5
25	24	29	29.5		24	AVD	5C	CLL	24N

Figura 15-Hoja de Coordenadas

A pesar de que cuando se ingresan direcciones que no existen, el programa muestra un mensaje y anula la acción, Figura 16 si se ingresa la dirección mal, es necesario utilizar el botón limpiar, el cual borraría las coordenadas de los destinos ingresados hasta el momento. Este botón también es utilizado cuando se desean ingresar los destinos de una nueva ruta. Cuando ya se hayan ingresado todos los destinos se puede utilizar el botón cancelar o el botón cerrar de la esquina superior para terminar. Al terminar de ingresar los destinos quedara en Excel en la hoja "Coordenadas" con las coordenadas necesarias para generar la matriz de distancias.

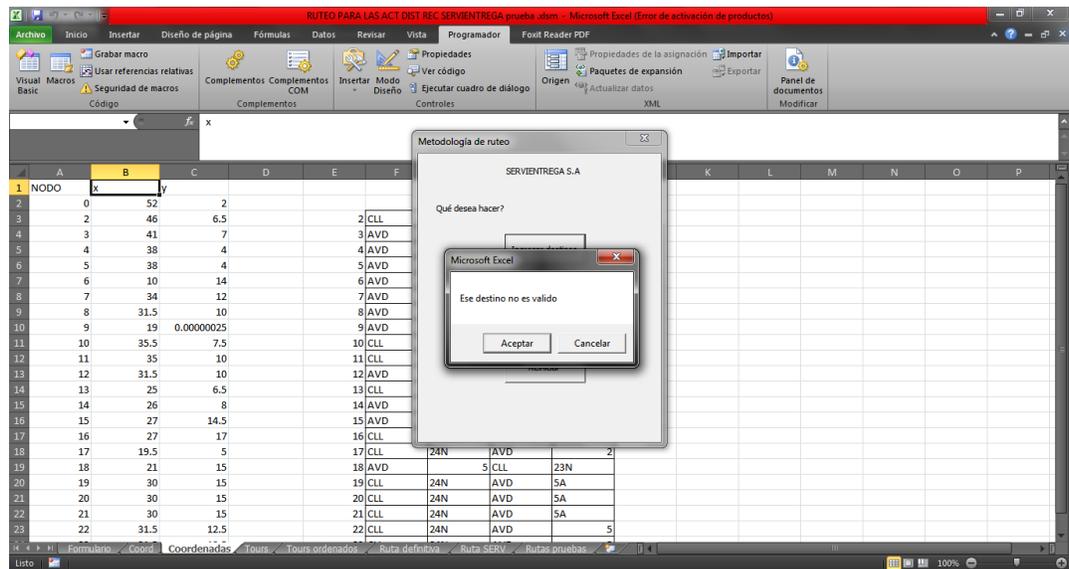


Figura 16-Mensaje de error

Cuando se encuentran disponibles las coordenadas se puede calcular la ruta, para ello es necesario regresar al formulario "Metodología de ruteo" y pulsar el botón "Calcular ruta". En este momento se empieza a generar una matriz de distancias. Inmediatamente después se genera la distribución inicial con el método "ir-volver", la cual se denomina "Spider" para este caso.

<ul style="list-style-type: none"> • Módulo2 • Módulo3 • Módulo4 • Módulo5 • Módulo6 • Módulo7 • ThisWorkbook • UserForm1 	<pre> Dim Spider() ReDim Spider(N - 1, 1) For sp = 2 To N Spider(sp - 1, 1) = Coord(sp, 1) Worksheets("Tours").Activate ActiveSheet.Range("A" & sp - 1).Value = sp Next sp </pre>
---	---

Figura 17-Distribución Spider en Visual Basic

Spider se visualiza como una columna con la denominación que se da a los tours iniciales, iniciando con el tour 2 y finalizando con N-1; que es la cantidad de puntos a visitar menos uno. Esta distribución es el punto de partida para que el método defina la ruta.

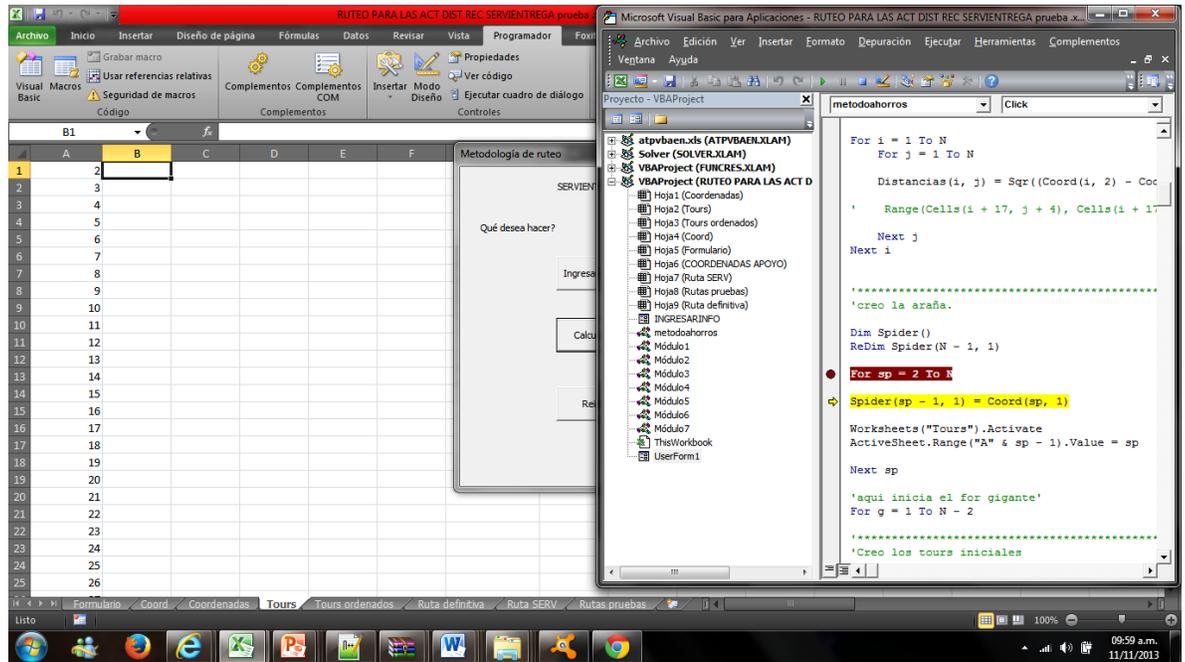


Figura 18-Spider en hoja de cálculo Excel

A continuación se crean las matrices de ahorro, inicializadas en un número entero negativo de gran valor, luego se cuentan la cantidad de tours que y las coordenadas de los mismo con base a esta información construye las 4 matrices de ahorro, en cada matriz se busca el máximo valor de ahorro, luego se escoge el máximo ahorro entre estos, eso determina la manera como conectar los tours la decisión de qué manera conectar el tour.

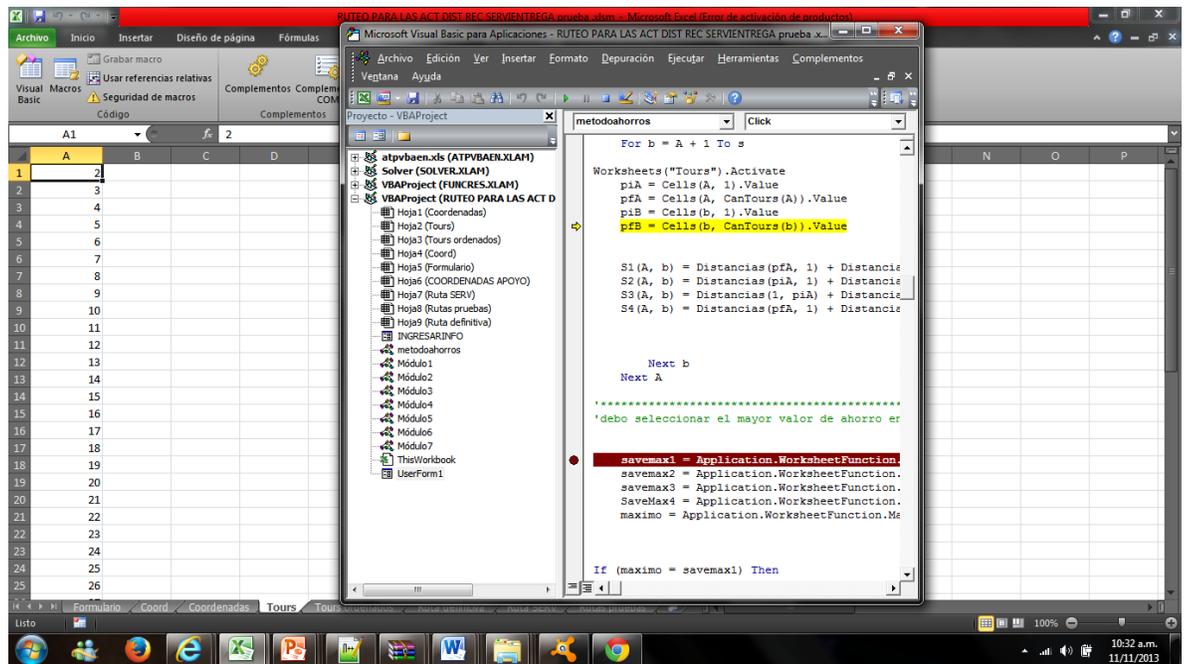


Figura 19-definición parámetros para ahorro

Luego de que determina cuales son los tour a unir, crea un nuevo tour, donde quedan consignados los tours unidos y borra del listado los tours que fueron unidos. Esta operación se realiza con la intención de que sólo sean tenidos en cuenta el primer y ultimo tour que han sido conectados. En el caso de la figura xx, el software realizo 4 iteraciones, de las cuales resultaron 2 tours, donde podemos observar que al no encontrar que el máximo ahorro se daba con el tour que venía trabajando, conecta otros dos tours, de la distribución inicial. Un detalle que vale la pena mencionar es que aunque la distribución inicial (Spider) es vertical, los tours y la distribución final es horizontal.

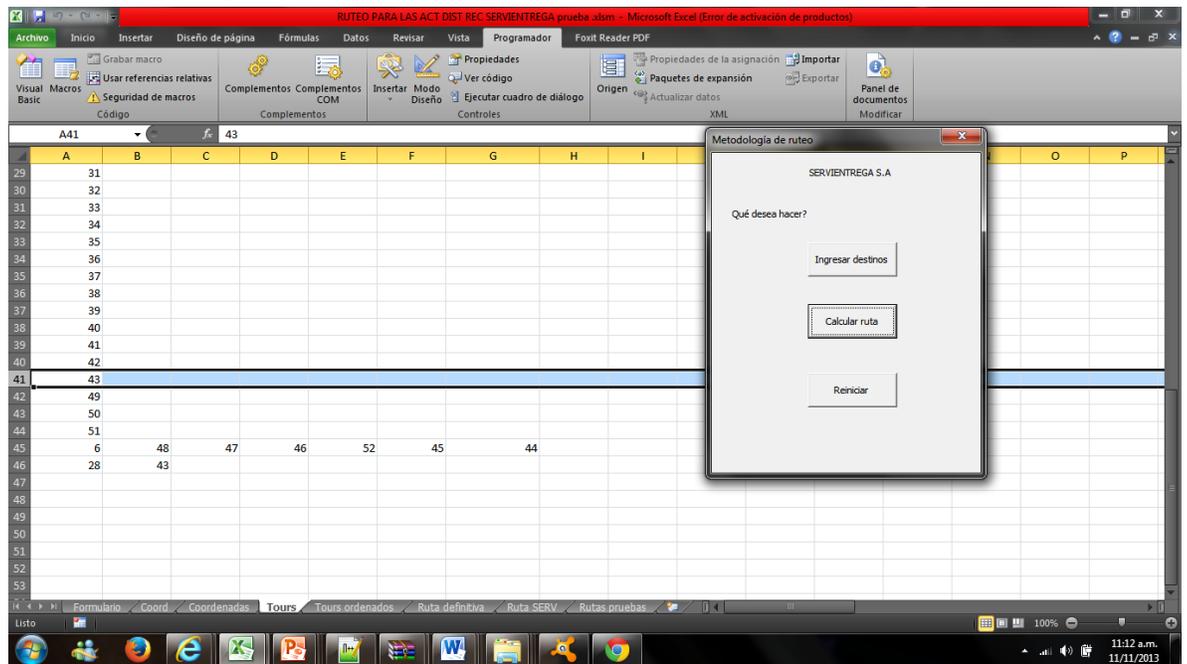


Figura 20-Iteraciones para cálculo de ruta

Al finalizar todas las iteraciones, el tour final; que es el orden como debe seguir la ruta el camión, queda en la primera fila de la hoja tours, este será el insumo para convertir ese orden en una lista de direcciones. Como ya se había mencionado la ruta se muestra de manera horizontal, para efectos de facilidad a la hora de revisar la ruta, la ruta se transpone en la hoja "Tours ordenados".

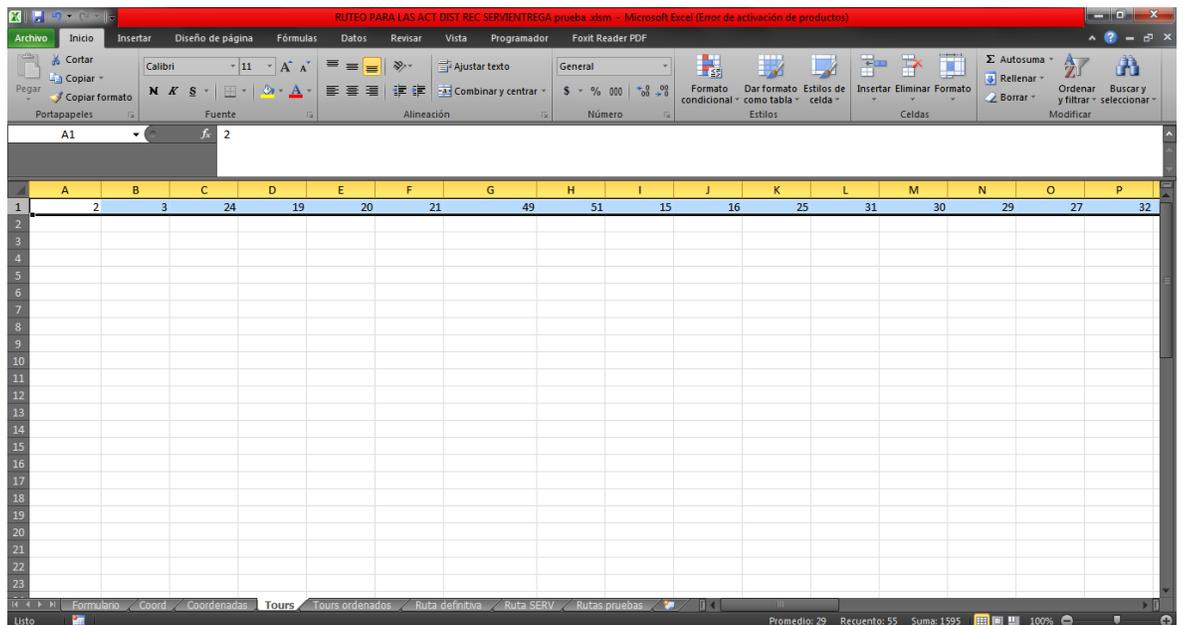


Figura 21-Ruta Horizontal

Luego de que la información pase a la hoja "tours ordenados", con la ayuda de la función BUSCARV de Excel, toma el nodo y le asigna la dirección correspondiente para así generar la ruta en términos de direcciones reales no de nodos, que es lo conveniente para que sea una herramienta útil.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	1	CLL	35N	AVD	2BIS											
2	2	AVD	2A	CLL	28N											
3	3	AVD	5C	CLL	24N											
4	4	CLL	24N	AVD	5A											
5	5	CLL	24N	AVD	5A											
6	6	CLL	24N	AVD	5A											
7	7	AVD	4	CLL	23DN											
8	8	AVD	5	CLL	23DN											
9	9	AVD	5B	CLL	23DN											
10	10	CLL	23DN	AVD	5A											
11	11	CLL	23N	AVD	5B											
12	12	AVD	5B	CLL	22N											
13	13	AVD	5B	CLL	22N											
14	14	CLL	22N	AVD	5B											
15	15	AVD	5A	CLL	22N											
16	16	AVD	5A	CLL	20N											
17	17	AVD	5	CLL	20N											
18	18	AVD	5	CLL	20N											
19	19	CLL	19N	AVD	5											
20	20	CLL	17N	AVD	4											
21	21	CLL	16N	AVD	3											
22	22	AVD	3	CLL	18N											
23	23	AVD	3	CLL	18N											

Figura 22-Ruta Ordenada

6.5 PRUEBAS

6.5.1 Prueba inicial

La primera prueba consiste en ubicar 12 puntos, de los 12 puntos 3 van a estar alejados de los demás, el resto serán puntos consecutivos, que se ubican cerca del punto de partida (52,2). Estos puntos se ubican en el mapa con coordenadas, (Figura 23) marcado con una estrella de color roja los puntos a visitar y con un círculo rojo el punto de inicio, el cual siempre será el mismo. Inicialmente los datos se ingresan el orden de la tabla 3

NODO	AVD o CLL	NÚMERO1	AVD o CLL2	NÚMERO2
2	CLL	19N	AVD	2
3	CLL	20N	AVD	2
4	CLL	21N	AVD	2
5	CLL	22N	AVD	2
6	CLL	23N	AVD	2
7	CLL	23AN	AVD	2
8	CLL	24N	AVD	2
9	CLL	25N	AVD	2
10	CLL	25N	AVD	5
11	CLL	26N	AVD	5
12	CLL	28N	AVD	5

Tabla 3-Puntos para prueba básica

Luego se plantean dos rutas, una que inicia con los puntos 10, 11 y 12; y continua con el punto 10 hasta llegar al punto 2. Este método se denomina empírico ya que se basa en el conocimiento y experiencia de la zona de estudio.



Figura 23-Mapa con puntos para prueba básica

NODO	AVD o CLL	NÚMERO1	AVD o CLL2	NÚMERO2	X	Y	DISTANCIA
0	PUNTO DE ENTRADA				52	2	21.0950231
10	CLL	25N	AVD	5	34	13	1.80277564
11	CLL	26N	AVD	5	35.5	14	0.70710678
12	CLL	28N	AVD	5	36	14.5	21.7082933
9	CLL	25N	AVD	2	19	1	4.03112887
8	CLL	24N	AVD	2	19.5	5	1.41421356
7	CLL	23AN	AVD	2	18.5	6	2.3430749
6	CLL	23N	AVD	2	16.7	7.5	3.02324329
5	CLL	22N	AVD	2	15	10	4.24264069
4	CLL	21N	AVD	2	12	13	2.23606798
3	CLL	20N	AVD	2	10	14	3.60555128
2	CLL	19N	AVD	2	8	17	46.4865572
0	PUNTO DE SALIDA				52	2	
						DISTANCIA TOTAL	112.695677

Tabla 4-Distancias lineales método empírico

La otra es la solución que el método encuentra como solución óptima, que propone realizar la ruta iniciando con los puntos que se encuentran sobre la avenida 2 y terminando con los puntos que se encuentran en la avenida 5.

NODO	AVD o CLL	NÚMERO1	AVD o CLL2	NÚMERO2	X	Y	DISTANCIA
0	PUNTO DE ENTRADA				52	2	33.015148
1	CLL	25N	AVD	2	19	1	4.03112887
2	CLL	24N	AVD	2	19.5	5	1.41421356
3	CLL	23AN	AVD	2	18.5	6	2.3430749
4	CLL	23N	AVD	2	16.7	7.5	3.02324329
5	CLL	22N	AVD	2	15	10	4.24264069
6	CLL	21N	AVD	2	12	13	2.23606798
7	CLL	20N	AVD	2	10	14	3.60555128
8	CLL	19N	AVD	2	8	17	26.3058929
9	CLL	25N	AVD	5	34	13	1.80277564
10	CLL	26N	AVD	5	35.5	14	0.70710678
11	CLL	28N	AVD	5	36	14.5	20.3039405
13	PUNTO DE SALIDA				52	2	
						DISTANCIA TOTAL	103.030784

Tabla 5-Distancias lineales método de ahorros

Cabe anotar que las distancias que calcula el método se basan en las coordenadas “x” y “y”, que se calculan de manera euclidiana, es decir las distancias utilizadas para realizar el comparativo se encuentran en términos de pixeles de la cuadrícula de donde se tomaron las coordenadas. Para ratificar que el cálculo de las distancias sea consecuente con las distancias lineales en kilómetros, en la tabla xx se observan los resultados de la medición lineal realizada en google Earth.

NODO	AVD o CLL	NÚMERO1	AVD o CLL2	NÚMERO2	DISTANCIA EARTH
0	PUNTO DE ENTRADA				3.09
10	CLL	25N	AVD	5	0.08
11	CLL	26N	AVD	5	0.12
12	CLL	28N	AVD	5	0.42
9	CLL	25N	AVD	2	0.24
8	CLL	24N	AVD	2	0.96
7	CLL	23AN	AVD	2	0.23
6	CLL	23N	AVD	2	0.26
5	CLL	22N	AVD	2	0.16
4	CLL	21N	AVD	2	0.08
3	CLL	20N	AVD	2	0.18
2	CLL	19N	AVD	2	4.02
0	PUNTO DE SALIDA				
Distancia total					9.84

Tabla 6-Distancias reales Método empirico

NODO	AVD o CLL	NÚMERO1	AVD o CLL2	NÚMERO2	DISTANCIA EARTH
0	PUNTO DE ENTRADA				3.3
1	CLL	25N	AVD	2	0.22
2	CLL	24N	AVD	2	0.07
3	CLL	23AN	AVD	2	0.09
4	CLL	23N	AVD	2	0.12
5	CLL	22N	AVD	2	0.16
6	CLL	21N	AVD	2	0.07
7	CLL	20N	AVD	2	0.17
8	CLL	19N	AVD	2	1.05
9	CLL	25N	AVD	5	0.09
10	CLL	26N	AVD	5	0.11
11	CLL	28N	AVD	5	2.9
13	PUNTO DE SALIDA				
Distancia total					8.35

Tabla 7-Distancias reales Método de ahorros

En ambas mediciones se encuentra que el algoritmo del método de ahorros, ha encontrado una ruta que reduce la distancia recorrida por el vehículo que deba realizar la ruta de entrega de los paquetes en las direcciones especificadas.

6.5.2 Prueba compleja

La segunda prueba tiene un poco más de complejidad, ubica algunos puntos en diferentes partes la zona, concentrado grupos de puntos de entrega en diferentes partes de la zona. El punto de inicio sigue ubicado en las mismas coordenadas La distribución se puede observar en la

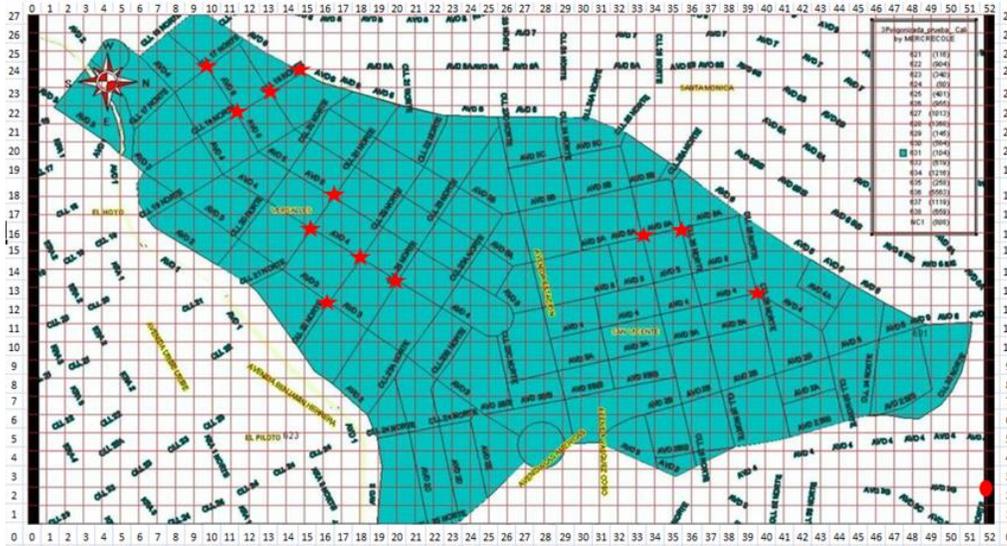


Figura 24-Puntos a visitar para prueba compleja

Para realizar el comparativo se consulta a una persona con conocimiento en la zona sobre en qué orden realizaría las entregas de un determinado número de paquetes, si las direcciones de entrega fueran las demarcadas en el mapa y el punto de partida fuera el ya mencionado anteriormente. Después de pensarlo por un tiempo la persona consultada (que no tiene ningún tipo de relación con el proceso actual de ruteo de la empresa) propuso la siguiente distribución. Este método empírico de ruteo es el que se requiere comparar con el método de los ahorros, ya que en la actualidad este es el modelo de ruteo que la empresa posee.

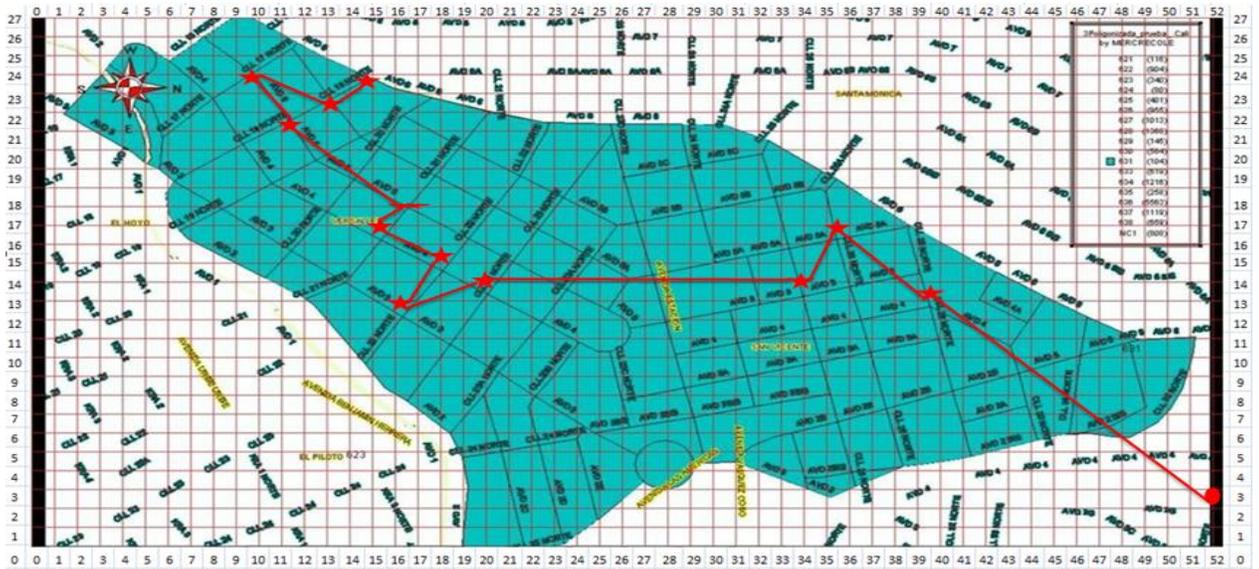


Figura 25-Orden de visita Método empírico

Se realiza el mismo procedimiento que en la ruta de prueba inicial, se realiza la ruta siguiendo el orden de los puntos especificado y se determina la distancia que recorre en toda la ruta.

NODO	AVD o CLL	NÚMERO1	AVD o CLL2	NÚMERO2	X	Y	DISTANCIA
	PUNTO DE ENTRADA				52	2	16.6508258
1	CLL	28N	AVD	4	39.5	13	4.12310563
2	CLL	26N	AVD	5	35.5	14	1.80277564
3	CLL	25N	AVD	5	34	13	14
4	CLL	23N	AVD	4	20	13	4.12310563
5	CLL	22N	AVD	3	16	12	3.20156212
6	CLL	22N	AVD	4	18	14.5	3.20156212
7	CLL	21N	AVD	4	15.5	16.5	1.80277564
8	CLL	21N	AVD	5	16.5	18	5.83095189
9	CLL	18N	AVD	5	11.5	21	3.60555128
1	CLL	17N	AVD	5	9.5	24	3.64005494
11	CLL	18N	AVD	5A	13	23	2.23606798
12	CLL	18N	AVD	6	15	24	43.0464865
	PUNTO DE SALIDA				52	2	
						DISTANCIA TOTAL	107.264825

Tabla 8- Distancia lineal Método Empírico

Se realiza la prueba con el método de ahorros que realiza el software, encontramos que al realizar la ruta ambos métodos inician visitando el mismo punto, pero luego del tercer punto el software cambia de rumbo hacia el punto más alejado de todo el conjunto de puntos que debe visitar el vehículo, continuando la ruta por los puntos aledaños para ver estas diferencias de una manera más detallada se presenta el

gráfico con el orden de visita de los puntos.

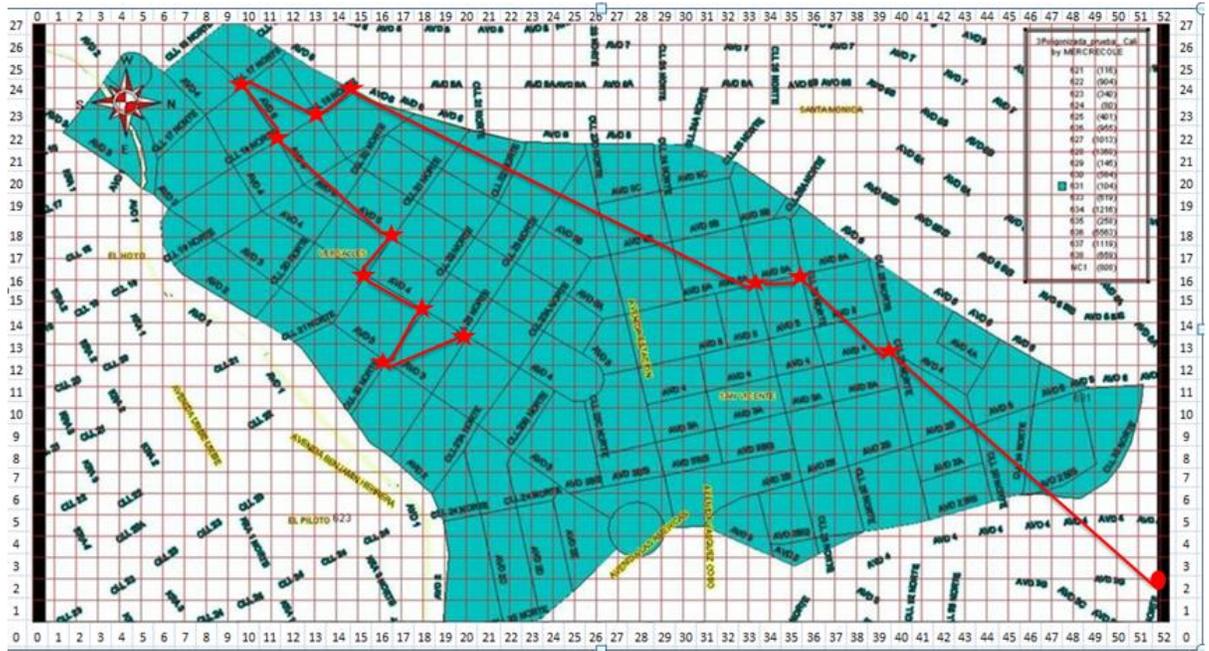


Figura 26--Ruta propuesta método de ahorros

Se realiza la revisión de la distancia total recorrida (Ver Tabla 9)

NODO	AVD o CLL	NÚMERO1	AVD o CLL2	NÚMERO2	X	Y	DISTANCIA
	PUNTO DE ENTRADA				52	2	16.6508258
1	CLL	28N	AVD	4	39.5	13	4.12310563
2	CLL	26N	AVD	5	35.5	14	1.80277564
3	CLL	25N	AVD	5	34	13	21.9544984
4	CLL	18N	AVD	6	15	24	2.23606798
5	CLL	18N	AVD	5A	13	23	3.64005494
6	CLL	17N	AVD	5	9.5	24	3.60555128
7	CLL	18N	AVD	5	11.5	21	6.02079729
8	CLL	21N	AVD	4	15.5	16.5	1.80277564
9	CLL	21N	AVD	5	16.5	18	3.80788655
10	CLL	22N	AVD	4	18	14.5	3.20156212
11	CLL	22N	AVD	3	16	12	4.12310563
12	CLL	23N	AVD	4	20	13	33.8378486
	PUNTO DE ENTRADA				52	2	
DISTANCIA TOTAL							106.806856

Tabla 9-Distancias lineales método de ahorros

No se encuentra una diferencia significativa, pero para que la prueba sea más ajustada a la realidad, se realiza el comparativo de la distancia recorrida calculada con Google

Earth. Iniciamos con la tabla de distancias para el método empírico (tabla 10). La distancia total recorrida si se realizara con este método sería aproximadamente de 8,9 kilómetros.

NODO	AVD o CLL	NÚMERO1	AVD o CLL2	NÚMERO2	DISTANCIA EARTH
PUNTO DE ENTRADA					
1	CLL	28N	AVD	4	2.9
2	CLL	26N	AVD	5	0.13
3	CLL	25N	AVD	5	0.08
4	CLL	23N	AVD	4	0.52
5	CLL	22N	AVD	3	0.13
6	CLL	22N	AVD	4	0.1
7	CLL	21N	AVD	4	0.13
8	CLL	21N	AVD	5	0.08
9	CLL	18N	AVD	5	0.27
1	CLL	17N	AVD	5	0.11
11	CLL	18N	AVD	5A	0.14
12	CLL	18N	AVD	6	0.09
PUNTO DE SALIDA					4.25
DISTANCIA TOTAL					8.93

Tabla 10-Distancias reales método empírico prueba compleja

Al realizar la revisión del orden establecido por el método de los ahorros con las distancias calculadas con Google Earth (tabla 11), encontramos que como se esperaba la distancia recorrida es menor que la que se recorre con el método empírico.

NODO	AVD o CLL	NÚMERO1	AVD o CLL2	NÚMERO2	DISTANCIA EARTH
PUNTO DE ENTRADA					
1	CLL	28N	AVD	4	2.9
2	CLL	26N	AVD	5	0.13
3	CLL	25N	AVD	5	0.08
4	CLL	18N	AVD	6	0.85
5	CLL	18N	AVD	5A	0.09
6	CLL	17N	AVD	5	0.09
7	CLL	18N	AVD	5	0.09
8	CLL	21N	AVD	4	0.2
9	CLL	21N	AVD	5	0.08
10	CLL	22N	AVD	4	0.12
11	CLL	22N	AVD	3	0.12
12	CLL	23N	AVD	4	0.1
PUNTO DE SALIDA					3.87
DISTANCIA TOTAL					8.72

Tabla 11-Distancias reales método ahorros prueba compleja

6.5.3 Prueba con datos reales

Para verificar la eficacia del método, se realizó una prueba con el fin de comparar el método de ruteo actual con el propuesto. Para ello se pidió a la persona encargada del ruteo, que registrara el orden de visita de los puntos en el manifiesto, que es el documento donde se registran todos los paquetes que deben entregar (Anexo G). Se registraron 50 puntos a visitar, Este proceso fue realizado mientras se realizaba la ruta, es decir, la ruta se realizó sobre la marcha y no antes de iniciar el proceso de entregas.

La información consignada en el manifiesto se ingresó en el software propuesto, utilizando un tiempo de 15 minutos para el registro total de la información. Posteriormente se calculó la ruta, proceso que tardó alrededor de 28 segundos.(Anexo H)

6.6.3.1 Supuestos

La condición inicial que se dio al software, fue que el modelo comenzara desde donde inicia siempre el encargado del proceso de distribución, es decir que tuvieran el mismo punto de ingreso a la zona, que es el mismo punto con el que se han trabajado todas las pruebas.

Se omiten otros factores importantes como son trafico, hora del día, estado actual de las vías (vías cerradas) etc.

Se asume que las distancias recorridas por el vehículo se pueden calcular con distancias lineales, ya que como se observó anteriormente el coeficiente de determinación es del 0,85; que es muy aproximado a 1, lo que nos permite realizar el supuesto.

6.5.4 Análisis de resultados

En las prueba básica y en la prueba compleja no se observa una diferencia significativa en el ahorro en distancia que se genera. El fin de estas pruebas era revisar si la lógica de la metodología de ahorros era coherente y proponía soluciones que se ajustaran a la reducción de distancia recorrida. De estas dos pruebas se puede concluir que cuando la cantidad de puntos a visitar por el camión son pocos, el método empírico se aproxima bastante a la propuesta del método de ahorros. Además de esto realizar la ruta con ambos métodos para pocos puntos, no demanda mayor cantidad de tiempo tanto para la persona que piensa como realizar la ruta ni para el método mientras la información se ingresa y el modelo la procesa.

Al realizar un análisis mas profundo del método evaluando una situación real, que tiene una cantidad de puntos que se asemeja más a la realidad de la empresa se observa que el orden en el que el operador del vehículo realiza la ruta de entrega de paquetes difiere considerablemente de el orden en que el modelo propone realizar la ruta.

La distancia total recorrida con la unidad de medida del modelo para el método empírico fue de 376.32 pixeles y la distancia total recorrida con la ruta generada por el método de ahorros es de 178.51 pixeles. Se observa que la diferencia es del 53% lo que es un porcentaje bastante significativo

Para realizar un comparativo que ofrezca un panorama en términos de costos, se calcula la distancia real estimada recorrida por ambos métodos, y se asignaran los costos de combustible y mantenimiento del vehículo relacionados con la distancia recorrida.

Según el cálculo de la distancia recorrida realizado en Google Earth, la distancia recorrida por el técnico realizando la ruta con el método empírico, es de 21.48 km si inicia y termina en el mismo punto. Y con la metodología de ahorros es de 12.94 Km.

En la actualidad el precio promedio del combustible diésel se encuentra en 8.200 pesos colombianos. La ruta se realiza en un camión NKR modelo 2008 el consumo medio de combustible es de 28-30 kilometros por galón. Además de esto cada 5000 km se debe realizar el cambio de aceite; que tiene un costo aproximado de 100.000

pesos colombianos y cada 50.000 se realiza un cambio de llantas, las cuales tiene un costo aproximado de 150.000 cada una. Todos estos costos a excepción del consumo de combustible, están relacionados únicamente con la distancia que recorre el camión.

En esta única ruta se realizara un comparativo de costos que se observa en la tabla siguiente.

METODO EMPIRICO				METODO DE AHORROS		
Concepto	Consumo estimado	UM	Costo estimado	Consumo estimado	UM	Costo estimado
Diesel	0.767	Galón	6291	0.462	Galón	3790
Llantas	21.48	Km	257.76	12.94	Km	155.28
Aceite	21.48	Km	429.6	12.94	Km	258.8
Costo total			6978	Costo total		4204

Tabla 12-Comparativo de costo entre ruteo actual y ruteo propuesto

En una sola ruta posiblemente no sea evidente el impacto económico total que tiene esta metodología, pero en el largo plazo es posible que reduzca la cantidad de cambios de aceite y llantas por año lo que significaría un ahorro significativo para la compañía.

7. CONCLUSIONES

El método actual de ruteo tiene como ventaja que las zonas establecidas permiten desplazamientos relativamente cortos y que se cumplan con los tiempos pactados con los clientes, la metodología actual es buena en la manera en que permite tener en cuenta muchas variables, que un modelo lineal no podría contemplar, la desventaja es que no tienen herramientas para poder medir la efectividad de la programación, además de que el criterio del operador no siempre va a ser acertado.

El método de los ahorros seleccionado para el desarrollo de la metodología fue la mejor elección, ya que debido a su flexibilidad para admitir mayor número de variables como ventanas de tiempo de entrega, capacidad, horas pico, complejidad de la zona de ruteo, en un futuro será posible modificar el método para tener en cuenta más factores, ya que la metodología desarrollada sólo tiene en cuenta la distancia. Es importante aclarar que aunque el método presento resultados en la prueba real que daban un ahorro aproximadamente del 50%, no necesariamente cuando se realice la ruta en realidad, el ahorro sea tan alto, ya que el coeficiente de determinación de las distancias no es 1 y existe un porcentaje de error de 15% que puede impactar negativamente.

Se desarrolló una aplicación que permite calcular la ruta para una de las zonas que la empresa tiene establecida, este desarrollo permite a las personas encargadas de realizar la ruta, realizar este proceso de una manera más fácil y que puede generar un recorrido bastante cercano al óptimo. Además de que a un futuro les permitirá adaptar esta metodología a otras zonas. Además de esto la aplicación cumplió con el objetivo de ser accesible para la empresa sin contar con un gran recurso computacional y tampoco la necesidad de adquirir un módulo de la ERP actual de la empresa.

La metodología de ruteo que se implementó permitirá a futuro generar controles sobre los tiempos promedio por zona, lo que les permitiría un aprovechamiento de los recursos involucrados como son la flota propia, la flota tercerizada y los costos involucrados al transporte, como son la utilización de los vehículos, combustible, el tiempo del colaborador (auxiliar) y por último les permitirá tener un mayor grado de confianza para realizar las promesas de entrega a los clientes.

8. RECOMENDACIONES

Servientrega debe continuar con el proceso de estandarización de sus procesos de ruteo de vehículos, complementando el trabajo adelantado hasta el momento contemplando más variables, y ampliar este trabajo hacia otras zonas de la ciudad. Con esto se da apoyo al objetivo de sustentabilidad que andas buscando, ya que al mejorar sus procesos de ruteo consumirán menos combustible, disminuyendo la contaminación generada durante su proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ZABALA PAULA. Problemas de Ruteo de Vehículos. Buenos Aires, 2006, 91h. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires. Departamento de Computación.

MORALES SILVA Oscar Mauricio. Modelo de ruteo de vehículos. Bogotá, 2012, 45h. Trabajo de grado (Especialización en gerencia logística).Universidad EAN. Diseño y gestión de sistemas logísticos.

SOTO. Daniel, Una meta heurística híbrida aplicada a un problema de planificación de rutas .En: Revista avances en sistemas e informática. Vol.5, n° 3, diciembre de 2008; 5h. ISSN 1657-7663

BALLOU. Ronald. Logística: administración de la cadena de suministro. 5 ed. México: PEARSON EDUCACIÓN, 2004. 816 pág. ISBN 970-26-0540-7

DANE. (2011). DANE. Recuperado el 25 de 10 de 2013, de <http://www.dane.gov.co/>

Dinero, R. (07 de 06 de 2012). Dinero.com. Recuperado el 21 de 10 de 2012, de <http://www.dinero.com/negocios/articulo/colombia-quinta-gasolina-mas-cara-region/152901>

Hoyos, J. (2009). Mercancia Recolección. Cali.

Osorio, A. F. (2012). The Savings Method. Cali.

Servientrega. (2011). Nuestra empresa: Servientrega S.A. Recuperado el 12 de 08 de 2012, de <http://www.servientrega.com/wps/portal/inicio>

ANEXOS

ANEXO A-MOVIMIENTO DE CARGA NACIONAL POR MEDIO DE TRANSPORTE

AÑO	TERRESTRE	FERROVIARIO			FLUVIAL	AÉREO	CABOTAJE	TOTAL
		Concesiones (sin incluir carbón)	Carbón	Total				
1994	82.841	812	12.833	13.645	2.890	140	3.700	103.216
1995	86.741	882	13.734	14.616	2.634	140	4.000	108.131
1996	71.168	981	15.354	16.335	3.062	142	4.324	95.031
1997	89.399	836	16.370	17.206	2.755	139	3.997	113.496
1998	84.350	779	21.842	22.621	3.049	119	4.009	114.148
1999	77.674	367	25.035	25.402	3.735	134	1.385	108.330
2000	73.034	ND	31.170	31.170	3.802	100	797	108.903
2001	100.284	ND	33.457	33.457	3.069	104	720	137.634
2002	84.019	ND	31.032	31.032	3.480	122	532	119.185
2003	99.782	37	42.744	42.781	3.725	132	928	147.348
2004	117.597	317	45.865	46.182	4.211	129	588	168.707
2005	139.646	308	48.919	49.227	4.863	135	400	194.271
2006	155.196	314	49.394	49.708	4.025	138	509	209.576
2007	183.126	375	52.829	53.204	4.563	137	454	241.484
2008	169.714	236	58.236	58.472	4.953	123	372	233.634
2009	173.558	254	59.144	59.398	4.070	109	364	237.499
2010	181.021	366	66.659	67.025	3.691	119	353	252.209
2011	191.701	204	74.350	74.554	3.650	124	ND	270.029
2012	199.369	20	76.780	76.800	3.474	127	388	280.158

Fuente: Ministerio de Transporte, Agencia Nacional de Infraestructura, Aeronáutica Civil, Superintendencia de Puertos y Transporte

ND: No Disponible

NOTA: La carga por carretera está estimada a partir del año 2009 con la tasa de crecimiento del PIB.

El modo aéreo incluye carga y correo

Técnico: no no el parque que está detrás de chipichape, del parquecito por ahí empiezo yo entonces empezamos de la 35 hacia arriba por la Vásquez cobo haciendo todo lo que son pares e impares porque la vía tiene 2 carriles, entonces uno para que le rinda y no tener que estar volteando con el carro entonces se ubica en la avenida Vásquez cobo comenzando a hacer, si empezamos de la 35, sigue la 34, de la 34 como no hay ni 32 ni 33 ni 31 sigue a la 30 en orden escalonado, entonces buscas la manera de ubicarse de una manera para entregar en las esquinas para que para evitar tanto volteo y entregar más fácil como el carro es muy grande no se pueden estar volteando cada ratico y además Hay vías que son de un solo carril entonces como va girar y subir de manera que. Sea lo más rápido posible y eso es dependiendo también del tiempo que exigen porque hay unos clientes que exigen entregas rápidas entonces hay que también uno darles prioridad y a veces hay que también que jugar con la zona tratando de entregar lo más pronto posible los envíos

J.S.E: ¿Cuándo usted va a hacer la ruta tiene en cuenta el factor de tráfico?

Técnico: Si claro yo lo tengo en cuenta para hacer la ruta lo mejor posible y que No volteo tanto

J.S.E: Entonces venga por favor entrégueme en este manifiesto las direcciones de visita.

Técnico: Si pero yo no me guio por el manifiesto yo me guío así osea en el manifiesto aparecen las direcciones si bien pero ya es muy complicado estar mirando este manifiesto bueno tal vez se pueda rotar el manifiesto pero tocaría que saliera en cada guía en orden eso queda muy complicado en este sistema y para usted viajar no vamos para tal parte.

J.S.E: Ahh bueno como usted ya me explico cómo hacer la ruta entonces por ejemplo usted está en la 34 hace toda la 34 y se sube por la Vásquez cobo y entonces hace la que sigue la 30

Técnico: hago la 30 lo que haya en la 30 ese pedazo. Lo que pasa es que la ruta se hace prácticamente mental y el carro se debe cargar de la forma que lo que va entregar primero se deje en la punta del carro y lo que se va a entregar de último se deje en la parte última del carro

y lo que se va a entregar más o menos en la mitad se deje en la mitad del carro pero en una distribución que usted pueda observar los envíos como por lo menos hay gente pues que para poderse guiar tiene que sacar las guías amarillas

Yo no hago eso porque no pues ya eso es un encarte para mí porque estarlo mirando en esa guía entonces como los clientes de acá son o sea como el área mía es comercial los clientes son fijos y queda más fácil ubicarlos más rápidamente que en

Un área comercial porque en el área residencial varían los clientes porque no todos los días llegas a la misma casa sino que todos los días varía de residencia Entonces la ventaja de esto es que son clientes la mayoría fijos entonces la ruta casi siempre es la misma, se puede decir que el 98% de la ruta se hace del a misma forma

Todos los días entonces usted ya sabe que de la esquina tal... y hay dos zonas que manejan guías entonces manejan guías queda más fácil, en el manifiesto aparecen

Todas las direcciones pero ya tocaría que ubicarse cual está en el primero cual está en el segundo

J.S.E: si no pero entonces el manifiesto a mi ahora me sirve porque usted ya me explico cómo hace su ruta, sino que la otra persona me lleno fue como el orden de como el arranco por donde siguió no todas las zonas pero si digamos en la parte de la 34 luego me pase a la Vásquez cobo, es decir, unos puntos no muchos. Es por ejemplo el más importante por donde arrancaría porque yo necesito eso, porque yo cojo eso en una ventana del satélite de Google

Técnico: Lo que pasa es que hay veces que me arroja esta dirección pero esto es un error porque yo manejo carrera, avenidas y luego calles.

J.S.E: Sabiendo que usted tiene unos clientes que son "fijos" y conoce casi siempre donde tiene que ir no se le presenta en ocasiones que se pase por ejemplo

Técnico: Si me pasa por ejemplo que usted cargue mal el vehiculó, ya que si carga mal el vehículo queda complicado.

J.S.E: ya más o menos con esos puntos ya tengo un criterio para comparar.

Técnico: o sea que ya con esto le puedo ayudar.

J.S.E: Listo muchas gracias que este muy bien.

ANEXO D-ENTREVISTA TÉCNICO SUR

J.S.E: Buenos días venía a pedirle un favorcito lo que pasa es que para yo poder comparar el modelo que estoy haciendo necesito saber más o menos usted como hace su zona y bajo qué criterio usted determina bueno aquí voy primero luego me voy para esta parte

Técnico: venga le digo como comprendo la zona, la zona empieza en las acacias abarca todo lo que es la autopista sur desde las acacias o sea que es como la 23 en Santa Elena hasta la 56 lado... y va desde la 10 o sea la autopista hasta la 23 eso viene siendo

Prácticamente la veinticinco, si ese es el cuadrante y tiene los siguientes barrios las acacias, Cristóbal Colon, la Libertad, Santa Elena, Colseguros, Santa Clara, Departamental y Panamericano hago 1ro de mayo, ve Santa Anita, Primero de Mayo, los Cañaverales,

san judas 1 y san judas 2, santo domingo y el Guabal, yo voy por barrios, yo empiezo en las acacias, de las acacias hago colon la libertad y Santa Elena o sea Santa Elena la libertad y colon en ese orden, paso a un barrio que se llama el dorado del dorado me

paso al frente de lo que es Colseguros y el Olímpico del Olímpico paso al departamental, al panamericano, y del panamericano paso a Santa Anita, de Santa Anita paso al primero de mayo, del primero de mayo paso a los cañaverales

y de los cañaverales hago san judas 1 y 2 que es caliente para que me coja la luz del día ahí y no por la noche san judas 1 y 2va desde la 50 hasta la 44 entre la 23 y la 16, y este va de la 44 a la 39 entre la 23 y la 16, que este es el pedazo más caliente de ahí me devuelvo

a un barrio que se llama las granjas entre la 16 y la 14 y de aquí agarro de aquí pa arriba entre la 39 y la 44 hago un pedazo después hago entre la 44 y la 50 para hacer el otro pedazo luego paso a santo domingo y de santo domingo termino en un rabio que se llama el Guabal ... como quien dice termino al frente de colon a ver vamos a ver si aquí tienen más o menos las direcciones, es que esta como revuelto eso.

J.S.E: Venga yo cojo algunos, el primero si es fundamental

Técnico: Si vea por lo menos ayer empecé aquí que esto es del barrio Colseguros hice primero este cliente en especial porque maneja un horario que si lo hago como hago la ruta normalmente llego a las 11:30 ya no me recibe, de ahí me baje por toda la Autopista haciendo lo que me quedara por ahí entonces para meterme a las acacias y empezarla como le dije

Entonces las Acacias tenia por ejemplo una que iba para la 19 con Cra 23 67 de ahí pase a colon y ahí las voy haciendo en orden consecutivo y si no me equivoco después fue esta, yo las voy haciendo por orden consecutivo voy subiendo casi haciendo una secuencia pasando de barrio en barrio como a nosotros nos llevan a la zona de recargue o sea la segunda parte de la mercancía por la tarde, yo ya no me devuelvo desde acá desde el principio sino que al revés sigo por donde haya quedado porque se supone que queda mercancía por la mañana entonces sigo por ahí y entonces la voy haciendo al revés, ya voy subiendo y termino ya en las acacias para que me quede más cerca para salir que más necesitaría

J.S.E: Pues usted ya me dijo lo del factor seguridad ninguno me lo había mencionado, de pronto respecto al trafico usted lo tiene en cuenta en horario?

J.S.E: O sea por ejemplo lo que me conto del cliente que exigía la rapidez de la entrega, pero si digamos otro cliente también hay que entregarle temprano, como maneja esto de la ventana horaria de la entrega?

Técnico: Me voy por el que está más cerca, digamos un banco de la 44 tengo 2 opciones si me cierra a las 11:30 paso derecho, como yo tengo que pasar cuando venga bajando paso ese banco queda en toda la esquina de la 43 con 13 del barrio departamental, pero cuando yo me vengo devolviendo paso por un barrio que se llama santo domingo por ahí estoy más o menos a las 3:30 entonces que hago yo desde aquí me paso, porque si yo hago toda la serie y luego me devuelvo ya me han cerrado el banco por la tarde entonces esas ya son cositas que van

J.S.E: Pues si es que lo que estamos tratando ver, digamos usted tiene su ruta pero digamos usted se enferma mañana y le tienen que poner un reemplazo y es una persona que esta nueva en la zona de pronto no va a tener la capacidad de decir yo voy a arrancar por aquí, y de tomar esas decisiones entonces lo que el modelo hace es calcular una ruta que es una "buena ruta" y con la información que usted me acaba de dar vamos a comparar para ver si usted y yo tenemos el mismo pensamiento, para ver si de pronto se ajusta un poquito, y obviamente su experiencia sigue contando, pero es ver por ejemplo que

usted no tenga que llegar y ponerse a mirar, bueno como voy a irme sino que esto le da un orden.

Técnico: Es que eso va por ejemplo en la cuestión de como usted carga el carro porque? porque yo llego, aquí se trabaja con las guías hay compañeros que las quitan y enrutan en base a las guías, yo no se las quito yo se las deajo pegadas en las cajas pero el secreto mío es que yo se para donde va la primera y de ahí en adelante las ordeno en orden secuencial por barrios, y los voy sectorizando en el carro aquí quedan las puertas aquí queda la primera en ese caso sería la que le mostré ahorita acomodo sencillito lo que es el barrio las acacias aquí atrasito lo que es de santa Elena, cuando paso acá al lado de acá pongo lo que es el barrio el dorado o sea yo voy desocupando para que el carro me vaya desocupando parejo no de un lado y luego el otro no, pongo el dorado, Colseguros y el Olímpico, y acá ya pongo lo que es santa Anita primero de mayo y cañaverales y voy bajando así uno quite guías si uno acomoda bien gana tiempo, pero si acomoda mal el carro el tiempo lo pierde buscando una caja dentro del carro.

J.S.E: eso es todo muchas gracias que este bien.

ANEXO E-DISTANCIAS REALES

DISTANCIAS REALES CALCULADAS CON GOOGLE EARTH						
Punto Inicial	Coordenadas		Punto Final	Coordenadas		Distancia Real (Km)
	X	Y		X	Y	
1	15	13	1	15	13	0
1	15	13	2	11	15	0.22
1	15	13	3	14	17	0.21
1	15	13	4	9.2	21.2	0.48
1	15	13	5	9	24.5	0.66
1	15	13	6	12.2	25	0.72
1	15	13	7	16	23	0.52
1	15	13	8	19	19	0.42
1	15	13	9	18.7	15.5	0.2
1	15	13	10	22.3	21	0.48
1	15	13	11	23	13	0.4
1	15	13	12	17	8.3	0.25
1	15	13	13	22.5	4	0.47
1	15	13	14	26	8	0.59
1	15	13	15	28	11.4	0.81
1	15	13	16	29	15	0.83
1	15	13	17	29	17.5	0.68
1	15	13	18	33	21	0.79
1	15	13	19	35	17	0.78

1	15	13	20	34.5	16	0.81
1	15	13	21	34	12.5	1.17
1	15	13	22	36	10	1.02
1	15	13	23	42	10	1.17
1	15	13	24	34	3	0.94
1	15	13	25	43	5	1.22
2	11	15	1	15	13	0.22
2	11	15	2	11	15	0
2	11	15	3	14	17	0.2
2	11	15	4	9.2	21.2	0.34
2	11	15	5	9	24.5	0.48
2	11	15	6	12.2	25	0.43
2	11	15	7	16	23	0.29
2	11	15	8	19	19	0.47
2	11	15	9	18.7	15.5	0.43
2	11	15	10	22.3	21	0.7
2	11	15	11	23	13	0.64
2	11	15	12	17	8.3	0.45
2	11	15	13	22.5	4	0.7
2	11	15	14	26	8	0.73
2	11	15	15	28	11.4	1.04
2	11	15	16	29	15	1.21
2	11	15	17	29	17.5	0.94
2	11	15	18	33	21	0.91
2	11	15	19	35	17	1.2
2	11	15	20	34.5	16	1.1
2	11	15	21	34	12.5	1.25
2	11	15	22	36	10	1.16
2	11	15	23	42	10	1.41
2	11	15	24	34	3	1.12
2	11	15	25	43	5	1.39
3	14	17	1	15	13	0.21
3	14	17	2	11	15	0.2
3	14	17	3	14	17	0
3	14	17	4	9.2	21.2	0.24
3	14	17	5	9	24.5	0.39
3	14	17	6	12.2	25	0.38
3	14	17	7	16	23	0.42
3	14	17	8	19	19	0.3
3	14	17	9	18.7	15.5	0.23

3	14	17	10	22.3	21	0.5
3	14	17	11	23	13	0.42
3	14	17	12	17	8.3	0.5
3	14	17	13	22.5	4	0.76
3	14	17	14	26	8	0.68
3	14	17	15	28	11.4	0.68
3	14	17	16	29	15	0.86
3	14	17	17	29	17.5	0.74
3	14	17	18	33	21	0.69
3	14	17	19	35	17	1.07
3	14	17	20	34.5	16	1.02
3	14	17	21	34	12.5	1.11
3	14	17	22	36	10	1.06
3	14	17	23	42	10	1.38
3	14	17	24	34	3	1.19
3	14	17	25	43	5	1.51

ANEXO F- DISTANCIAS LINEALES

DISTANCIAS LINEALES CALCULADAS CON GOOGLE EARTH						
Punto Inicial	Coordenadas		Punto Final	Coordenadas		Distancia Lineal
	X	Y		X	Y	
1	15	13	1	15	13	0
1	15	13	2	11	15	0.21
1	15	13	3	14	17	0.13
1	15	13	4	9.2	21.2	0.48
1	15	13	5	9	24.5	0.65
1	15	13	6	12.2	25	0.62
1	15	13	7	16	23	0.4
1	15	13	8	19	19	0.39
1	15	13	9	18.7	15.5	0.21
1	15	13	10	22.3	21	0.57
1	15	13	11	23	13	0.3
1	15	13	12	17	8.3	0.21
1	15	13	13	22.5	4	0.75
1	15	13	14	26	8	0.65
1	15	13	15	28	11.4	0.46
1	15	13	16	29	15	0.59
1	15	13	17	29	17.5	0.64
1	15	13	18	33	21	0.79
1	15	13	19	35	17	0.88
1	15	13	20	34.5	16	0.95
1	15	13	21	34	12.5	0.83
1	15	13	22	36	10	0.85
1	15	13	23	42	10	1.01
1	15	13	24	34	3	1.08
1	15	13	25	43	5	1.3
2	11	15	1	15	13	0.21
2	11	15	2	11	15	0
2	11	15	3	14	17	0.21
2	11	15	4	9.2	21.2	0.27
2	11	15	5	9	24.5	0.42
2	11	15	6	12.2	25	0.39
2	11	15	7	16	23	0.41
2	11	15	8	19	19	0.46

2	11	15	9	18.7	15.5	0.33
2	11	15	10	22.3	21	0.65
2	11	15	11	23	13	0.57
2	11	15	12	17	8.3	0.48
2	11	15	13	22.5	4	0.91
2	11	15	14	26	8	0.84
2	11	15	15	28	11.4	0.84
2	11	15	16	29	15	0.7
2	11	15	17	29	17.5	0.77
2	11	15	18	33	21	0.96
2	11	15	19	35	17	1.01
2	11	15	20	34.5	16	0.94
2	11	15	21	34	12.5	1.01
2	11	15	22	36	10	1.19
2	11	15	23	42	10	1.39
2	11	15	24	34	3	1.49
2	11	15	25	43	5	1.7
3	14	17	1	15	13	0.13
3	14	17	2	11	15	0.21
3	14	17	3	14	17	0
3	14	17	4	9.2	21.2	0.31
3	14	17	5	9	24.5	0.4
3	14	17	6	12.2	25	0.3
3	14	17	7	16	23	0.36
3	14	17	8	19	19	0.27
3	14	17	9	18.7	15.5	0.24
3	14	17	10	22.3	21	0.46
3	14	17	11	23	13	0.56
3	14	17	12	17	8.3	0.41
3	14	17	13	22.5	4	0.89
3	14	17	14	26	8	0.96
3	14	17	15	28	11.4	0.84
3	14	17	16	29	15	0.74
3	14	17	17	29	17.5	0.6
3	14	17	18	33	21	0.68
3	14	17	19	35	17	0.85
3	14	17	20	34.5	16	0.91
3	14	17	21	34	12.5	0.85
3	14	17	22	36	10	1.07
3	14	17	23	42	10	1.57

3	14	17	24	34	3	1.43
3	14	17	25	43	5	1.81

ANEXO G- ORDEN DE VISITA DETERMINADO POR EL OPERADOR

PRUEBA SERVIENTREGA				
NODO	CLL o AVD	#	CLL o AVD	#
1	CLL	35N	AVD	2BIS
2	AVD	2A	CLL	28N
3	AVD	2BIS	CLL	26N
4	AVD	2BIS	CLL	26N
5	AVD	2	CLL	20N
6	AVD	4	CLL	26N
7	AVD	3A	CLL	24N
8	AVD	2	CLL	26N
9	CLL	25N	AVD	2B
10	CLL	25N	AVD	3A
11	AVD	3A	CLL	24N
12	CLL	24N	AVD	3BIS
13	AVD	3A	CLL	23CN
14	AVD	5B	CLL	23DN
15	CLL	23DN	AVD	5A
16	CLL	24N	AVD	2
17	AVD	5	CLL	23N
18	CLL	24N	AVD	5A
19	CLL	24N	AVD	5A
20	CLL	24N	AVD	5A
21	CLL	24N	AVD	5
22	CLL	24N	AVD	5
23	AVD	5C	CLL	24N
24	CLL	23N	AVD	5B
25	CLL	21N	AVD	2
26	AVD	5A	CLL	22N
27	AVD	5	CLL	20N
28	CLL	22N	AVD	5B
29	AVD	5B	CLL	22N
30	AVD	5B	CLL	22N
31	AVD	5A	CLL	20N
32	AVD	5	CLL	23AN

33	AVD	3	CLL	23N
34	AVD	3	CLL	23AN
35	AVD	3	CLL	23AN
36	CLL	25N	AVD	2D
37	CLL	25N	AVD	2C
38	AVD	2	CLL	24N
39	AVD	2C	CLL	24N
40	CLL	23N	AVD	4
41	AVD	5	CLL	24N
42	AVD	5	CLL	20N
43	CLL	19N	AVD	5
44	CLL	17N	AVD	4
45	AVD	3	CLL	18N
46	AVD	3	CLL	18N
47	CLL	19N	AVD	3
48	AVD	4	CLL	23DN
49	AVD	5	CLL	24N
50	AVD	5	CLL	23DN
51	CLL	16N	AVD	3

ANEXO H- ORDEN DE VISITA DETERMINADO POR EL MODELO

PRUEBA SERVIENTREGA(METODO AHORROS)				
NODO	CLL o AVD	#	CLL o AVD	#
1	CLL	70	AVD	2
2	CLL	35N	AVD	2BIS
3	AVD	2A	CLL	28N
24	AVD	5C	CLL	24N
19	CLL	24N	AVD	5A
20	CLL	24N	AVD	5A
21	CLL	24N	AVD	5A
49	AVD	4	CLL	23DN
51	AVD	5	CLL	23DN
15	AVD	5B	CLL	23DN
16	CLL	23DN	AVD	5A
25	CLL	23N	AVD	5B
31	AVD	5B	CLL	22N
30	AVD	5B	CLL	22N
29	CLL	22N	AVD	5B
27	AVD	5A	CLL	22N
32	AVD	5A	CLL	20N
43	AVD	5	CLL	20N
28	AVD	5	CLL	20N
44	CLL	19N	AVD	5
45	CLL	17N	AVD	4
52	CLL	16N	AVD	3
46	AVD	3	CLL	18N
47	AVD	3	CLL	18N
48	CLL	19N	AVD	3
6	AVD	2	CLL	20N
26	CLL	21N	AVD	2
34	AVD	3	CLL	23N
41	CLL	23N	AVD	4
18	AVD	5	CLL	23N
33	AVD	5	CLL	23AN
36	AVD	3	CLL	23AN
35	AVD	3	CLL	23AN
39	AVD	2	CLL	24N

17	CLL	24N	AVD	2
40	AVD	2C	CLL	24N
9	AVD	2	CLL	26N
38	CLL	25N	AVD	2C
37	CLL	25N	AVD	2D
13	CLL	24N	AVD	3BIS
14	AVD	3A	CLL	23CN
8	AVD	3A	CLL	24N
12	AVD	3A	CLL	24N
22	CLL	24N	AVD	5
23	CLL	24N	AVD	5
42	AVD	5	CLL	24N
50	AVD	5	CLL	24N
7	AVD	4	CLL	26N
11	CLL	25N	AVD	3A
10	CLL	25N	AVD	2B
4	AVD	2BIS	CLL	26N
5	AVD	2BIS	CLL	26N

ANEXO I-CAPACIDADES CAMIONES NHR

Versiones

Especificaciones Técnicas

Especificaciones Técnicas

Motor

Tipo

Transmisión

Chasis

Pesos Y Capacidades

Sistema Eléctrico

Panel De Instrumentos - Controles Y Medidores

Panel De Instrumentos - Luces Indicadoras

Equipo Todos

Standard Disponible Estándar

Pesos y Capacidades

NHR

Peso Vacío (kg)	1,435
Peso Bruto Vehicular (kg)	3,500
Peso Bruto Vehicular combinado (kg)	—
Capacidad de arrastre (kg)	—
Capacidad de Carga (Incluyendo Plataforma) (kg)	2,065
Tanque de combustible (Lts)	75

