

Modelo de ruteo de vehículos para la distribución de producto terminado en el área metropolitana de Bucaramanga, caso: Espumas Santander S.A.S.

Miguel Ángel Toloza Angulo

Trabajo de grado para optar el título de:

Ingeniero Industrial

Director

Ma. Javier Eduardo Arias Osorio

Magister en Administración

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2017

Dedicatoria

El camino al éxito inevitablemente se encuentra acompañado de dificultades, obstáculos, percances y situaciones que cada uno como persona debe en el transcurso de su vida aprender a sortear, y cuando no es posible sortearlas, enfrentarlas y superarlas. En las palabras de un guerrero: “No se trata de que tan duro puedas golpear, se trata de cuantos golpes eres capaz de recibir y seguir adelante”. Muchos me acompañaron hasta hoy, esta meta alcanzada está dedicada a todos ustedes.

“Para mis papás, MIGUEL ANGEL y NOLVIS CECILIA, razón de mi existencia y mis esfuerzos. Gracias por todo su amor, comprensión y cariño, este triunfo es el fruto de sus esfuerzos y dedicación, los amo con todo mi ser.”

“Para mi hermano IVAN ANDRES, ejemplo a seguir, por ser modelo de profesional íntegro y persona de bien. Pocas palabras siempre han bastado entre nosotros, aquí no es la excepción: Gracias.”

“A la familia DIAZ CACERES por su apoyo incondicional desde hace casi 15 años, siempre estaré agradecido por la solidaridad y hospitalidad que me han brindado. Doña Flor, Margarita, María: Las considero mi segunda familia.”

“A MARIA FERNANDA, gracias por estar presente cuando necesité ese impulso para seguir adelante, tu cariño y comprensión fueron baluartes de mi motivación para conseguir este logro.”

A todos aquellos amigos y familiares que estuvieron presentes durante mi desarrollo como profesional y persona, agradezco profundamente su colaboración y apoyo.

Gracias a todos.

MIGUEL ANGEL TOLOZA ANGULO

Agradecimientos

- A mis padres, por creer en mí siempre y apoyarme sin falta. Todo lo que soy es gracias a ellos.
- A la Universidad Industrial de Santander, por ser el centro de mi crecimiento personal y profesional durante este proceso.
- A mi director de proyecto Javier Arias Osorio, por ser un excelente mentor y guía con sus consejos concretos y efectivos durante el desarrollo del proyecto.
- A la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales por ser el recinto en donde pude formarme como profesional de Ingeniería Industrial.
- A la Empresa Espumas Santander S.A.S. por abrirme sus puertas y permitirme crecer como profesional mediante la realización de este proyecto.
- A mi tutora Carol Liliana Ramírez Moreno por su apoyo, aportes y colaboración necesarias para completar los objetivos de este proyecto.
- A toda la familia Espumas Santander S.A.S. por la colaboración ofrecida durante el desarrollo de mi proyecto.

Tabla de Contenido

Introducción.....	14
1. Generalidades de la empresa	16
1.1 Historia	16
1.2 Misión.....	16
1.3 Visión	17
1.4 Política de calidad.....	17
1.5 RRHH.....	17
2. Planteamiento del problema.	18
2.1. Metodología para el diagnostico	18
2.2 Diagnostico de la situación actual de la sección despachos en Espumas Santander S.A.S.	19
2.3 Diagnostico del proceso de distribución de mercancía.	24
2.4 Análisis de entregas urbanas en el mes de octubre 2016.....	31
2.5 Análisis de actividades de los vehículos	34
2.6 Condiciones generales del proceso de distribución en Espumas Santander.....	39
3. Alcance y justificación	39
3.1 Justificación.....	40
4. Objetivos.....	41
4.1 Objetivo General	41
4.2 Objetivos Específicos	41
5. Resultados esperados.....	42
6. Marco referencial.....	43
6.1 Marco teórico.....	43

6.2 Marco de antecedentes 56

7. Revisión literaria – distribución urbana de mercancía 57

7.1. Ecuación de Búsqueda..... 57

7.2 Resultados de la Búsqueda. 59

7.3 Revisión de literatura de problemas de ruteo HFVRP y FSMVRP..... 61

8. Caracterización del modelo de ruteo HFVRPTW de Espumas Santander..... 63

8.1 Prioridad en la programación de la demanda actual..... 63

8.2 Definición del modelo de ruteo 64

8.3 Criterio de función objetivo..... 66

8.4 Restricciones..... 67

9. Desarrollo de la herramienta de solución del problema de ruteo en Espumas Santander S.A.S 69

9.1 Metodología para el desarrollo de la herramienta VRP 69

9.2 Variables de entrada del modelo. 70

9.3 Algoritmo de solución 78

9.4 Lenguaje de programación, Software y Hardware utilizado 79

9.5 Programación en VBA 79

9.6 Programación en HTML/CSS/JavaScript..... 85

9.7 Herramienta de ruteo. 86

10. Resultados..... 90

11. Conclusiones..... 96

12. Recomendaciones 98

Referencias bibliográficas 100

Lista de Figuras

Figura 1. Vista Satelital simulada de la ubicación de la empresa 20

Figura 2. Disposición Externa de la fábrica..... 20

Figura 3. Formato para orden de pedido de mercancía..... 25

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de programación de rutas. 28

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de cargue y despacho de vehículos. 29

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de distribución de mercancía urbana..... 30

Figura 7. Formato de entrega de pedidos E.S. 33

Figura 8. No conformidades en el transporte de mercancía. 33

Figura 9. Cadena de Logística.. 45

Figura 10. Ejemplos de mala y buena secuencia de paradas para un mismo punto de origen y destino..... 48

Figura 11. Ejemplo de metodología de los ahorros. 53

Figura 12. Extracción de pareja Lat/Lng de Google Maps..... 71

Figura 13. Solución inicial programada por área despachos. 93

Figura 14. Solución final calculada por la herramienta de solución..... 95

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Tabla de cumplimiento de objetivos.</i>	15
Tabla 2. <i>Flota vehicular de Espumas Santander.</i>	22
Tabla 3. <i>Personal adscrito a la sección despachos.</i>	23
Tabla 4. <i>Entregas realizadas por la flota Espumas Santander en el A.M.B., octubre 2016</i>	32
Tabla 5. <i>Calculo del valor monetario perdido por no conformidades en el transporte.</i>	34
Tabla 6. <i>Resumen de estado vehículo TTT 609</i>	36
Tabla 7. <i>Resumen de estado vehículo SSY 003</i>	36
Tabla 8. <i>Resumen de estado vehículo SUD 719</i>	37
Tabla 9. <i>Resumen de estado vehículo XMD 156</i>	37
Tabla 10. <i>Resumen de estado vehículo FLN 089.</i>	38
Tabla 11. <i>Resumen de utilización (EN HORAS) del tiempo de la flota Espumas Santander.</i> ...	38
Tabla 12. <i>Algoritmo LNS.</i>	55
Tabla 13. <i>Cuadro de sinonimos de busqueda.</i>	58
Tabla 14. <i>Matriz origen destino de nodo Espumas Santander S.A.S.</i>	72
Tabla 15. <i>Toma de tiempos de descargue de un colchón estandar.</i>	74
Tabla 16. <i>Calculo del tiempo de servicio.</i>	75
Tabla 17. <i>Toma de tiempos de descargue en campo.</i>	76
Tabla 18. <i>Costos de activación.</i>	78
Tabla 19. <i>Inicialización de variables.</i>	80
Tabla 20. <i>Propiedades de la solución.</i>	80
Tabla 21. <i>Inicialización de las rutas.</i>	81
Tabla 22. <i>Fase de construcción.</i>	82
Tabla 23. <i>Algoritmo de destrucción de la solución.</i>	84
Tabla 24. <i>Información de ruta de un vehículo.</i>	86
Tabla 25. <i>Especificaciones de los clientes.</i>	87
Tabla 26. <i>Especificaciones de los vehículos.</i>	89
Tabla 27. <i>Programación de ruta para vehículo SSY 003 según área de despachos.</i>	91
Tabla 28. <i>Programación de ruta para vehículo SUD 619 según área de despachos.</i>	92
Tabla 29. <i>Programación de ruta para vehículo TTT 609 según área de despachos.</i>	92

Tabla 30. <i>Programación de ruta para vehículo TTT 609 según herramienta de ruteo.</i>	93
Tabla 31. <i>Programación de ruta para vehículo TTT 609 según herramienta de ruteo.</i>	94

Lista de apéndices

- Apéndice A. Descripción de la empresa (ver en CD adjunto)
- Apéndice B. Organigrama de la empresa (ver en CD adjunto)
- Apéndice C. Mapa de procesos de Espumas Santander S.A.S. (ver en CD adjunto)
- Apéndice D. Clientes Pareto Espumas Santander (ver en CD adjunto)
- Apéndice E. Informe de ventas – cuarto trimestre 2016 (ver en CD adjunto)
- Apéndice F. Manual de usuario - herramienta de solución VRP (ver en CD adjunto)

Los apéndices pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca UIS.

Resumen

Título: Modelo de ruteo de vehículos para la distribución de producto terminado en el área metropolitana de Bucaramanga, caso: Espumas Santander S.A.S.

Autor: Miguel Ángel Toloza Angulo**

Palabras clave: Modelo, Ruteo, Distribución, Mercancía.

Descripción:

Espumas Santander S.A.S. es una empresa colombiana dedicada a la fabricación y comercialización de colchones y espuma laminada, que cuenta con su propio sistema de distribución de mercancía para el área metropolitana de Bucaramanga. El presente proyecto propone la caracterización del proceso de distribución de mercancía en la empresa para realizar una búsqueda de un modelo de ruteo que se ajustase a la operación actual de la sección, con lo cual se inicia una revisión literaria en bases de datos electrónicas acerca de modelos de ruteo y técnicas de solución para resolverlo. Se define un modelo HFVRPTW enfocado hacia la disminución de la distancia total de recorrido en los vehículos. Se desarrollan algoritmos de solución para el modelo en lenguaje VBA basados en la heurística de ahorros y la técnica de solución metaheurística de búsqueda grande de vecindario adaptable ALNS. La solución obtenida de esos algoritmos es alimentada a una interfaz gráfica escrita en lenguaje HTML/CSS/JavaScript, que accede al servicio de Google Maps para realizar la representación gráfica de las rutas obtenidas. Para evaluar el funcionamiento y eficacia de la herramienta generada, se realiza una comparación entre una solución obtenida a partir de un ruteo programado previamente y su versión procesada mediante el aplicativo; los resultados muestran una disminución considerable en la distancia recorrida por los vehículos, lo que implica ahorro en gastos operativos de la sección.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: MA. Javier Arias Osorio, Ingeniero Industrial.

Abstract

Title: Vehicle routing model for finished goods urban distribution in the metropolitan area of Bucaramanga, case of study: Espumas Santander S.A.S.

Author: Miguel Angel Toloza Angulo**

Keywords: Model, Routing, Distribution, Goods.

Description:

Espumas Santander S.A.S. is a Colombian company that makes and sells mattresses and laminated foam, it has its own distribution process for the metropolitan area of Bucaramanga. This project proposes the characterization of the current operation's goods distribution process, to do a search of a model that adjusts itself to the department's current operation scheme; therefore, a literary revision is started, searching in electronic databases about routing models and solution techniques. A HFVRPTW model with distance-reduction objective function is then defined. Algorithms in Visual Basic for Applications (VBA) programming language are written based on the savings heuristics and adaptive large neighborhood search (ALNS) as the solution and improvement techniques. The obtained solution is then fed as input to a graphic interface written in HTML/CSS/JavaScript programming languages, that takes the solution and displays it in map form, showing each individual route obtained. To evaluate the good functioning and efficacy of the application built, a comparison is made between a past routing schedule and its processed solution that has been through the application; results show improvement on the past solution, as the total distance travelled is reduced considerably, implying operative costs savings can be possible if proper routes programming strategies are revised and undertaken.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: MA. Javier Arias Osorio, Ingeniero Industrial.

Introducción

Para una empresa que cuenta con proceso de distribución de mercancía, formular estrategias que ayuden a organizar la asignación de rutas es de vital importancia si se tiene en cuenta que el transporte [...] “generalmente representa el elemento individual más importante en los costos de logística para la mayoría de las empresas” (Ballou, 2004), por lo tanto, es necesario hallar soluciones que permitan reducir este costo. ESPUMAS SANTANDER S.A.S. es una empresa líder en la región así que sabe que debe buscar herramientas que faciliten el desempeño de sus procesos y reduzcan el gasto operativo en la ejecución de las mismas, es por eso que nace la necesidad de realizar este trabajo de grado. El siguiente trabajo de grado muestra el proceso de caracterización, selección, y aplicación de un modelo de ruteo por medio de una herramienta informática para el mejoramiento de las rutas en Espumas Santander S.A.S., haciendo uso del lenguaje de programación VBA y mostrando el resultado en un ambiente gráfico de Google Maps. Inicialmente se realiza la caracterización del proceso de distribución urbana de mercancía de la empresa, posteriormente se realiza una revisión de la literatura para encontrar un modelo de ruteo que se ajuste al proceso manejado en la compañía, luego se utilizan algoritmos de solución para obtener una solución del problema de ruteo y se elabora la interfaz gráfica donde se ilustran las rutas planteadas por la solución hallada. Por último, se realiza un análisis de sensibilidad entre los métodos previo y actual, se ofrecen conclusiones y sugerencias para trabajos posteriores.

Tabla de cumplimiento de objetivos

Tabla 1.

Tabla de cumplimiento de objetivos.

OBJETIVO	CUMPLIMIENTO
Caracterizar el sistema actual de distribución de productos terminados de la empresa para los clientes en el área metropolitana de Bucaramanga.	2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6.
Realizar una revisión de literatura sobre distribución urbana de mercancías.	7
Definir un modelo que permita representar el sistema actual de distribución de producto terminado de la empresa para los clientes en el área metropolitana de Bucaramanga.	8
Desarrollar algoritmos para solucionar el modelo de ruteo definido.	9
Evaluar el modelo con datos de la operación de la empresa y evaluar variación en los parámetros del modelo.	10

1. Generalidades de la empresa

1.1 Historia

El 16 de marzo de 1.990 nace Espumas Santander para ofrecerle a los departamentos de Santander, Norte de Santander, Sur de Bolívar, Sur del Cesar, Sur del Magdalena, Arauca y Casanare, productos para la comodidad y el descanso diseñados y producidos con la más alta tecnología. Esta compañía surge como respuesta a la necesidad de atender el mercado de esta región relacionado con la fabricación de Espuma Flexible de Poliuretano y posteriormente Colchones, muebles y sus Derivados. A la fecha miles de hogares de estos departamentos son testigos de la calidad y servicio que día a día prestan a sus clientes.

Con capital 100% santandereano y con el esfuerzo y la dirección del Dr. Isnardo Guarín Gómez, la Compañía ha logrado mejoras sustanciales en la infraestructura física y tecnológica, generando empleo e impuestos para la región. El 6 de noviembre del año 2003 la Compañía sufre un siniestro en el cual se destruye el 50% de la planta de producción, recobrando capacidad operacional en menos de un año. Luego de iniciar operaciones con 20 empleados el 16 de marzo de 1990, cuenta hoy con 180 empleados directos y creando 600 empleos indirectos.

1.2 Misión

Espumas Santander S.A.S. produce artículos de alta calidad para el descanso y la salud de todos nuestros clientes, involucrando alta tecnología e insumos con estándares de categoría mundial y

recurso humano calificado, estable y motivado al logro para ofrecer a todos los consumidores de nuestros productos la sensación de bienestar necesario para vivir cómodamente”.

1.3 Visión

En el año 2019 Espumas Santander S.A.S. será un modelo de empresa, líder en la producción de espuma flexible de poliuretano y productos derivados de alta calidad e innovación, para el hogar y la industria, con presencia nacional y latinoamericana y cobertura en las grandes cadenas comerciales nacionales.

1.4 Política de calidad

Estamos comprometidos con la satisfacción permanente de las necesidades y expectativas de nuestros clientes a través de una adecuada planificación de los procesos e inventarios, personal idóneo y comprometido con el mejoramiento continuo de la organización y la fabricación de productos, como, cuando y donde el cliente lo requiera.

1.5 RRHH

Equipo humano de Espumas Santander S.A.S, integrado por 180 empleados directos. Con este gran grupo de trabajo empeñado en buscar la excelencia en los productos y en la atención al cliente se logra la expansión y el crecimiento de la empresa posicionándola como la más importante del oriente colombiano en su ramo.

2. Planteamiento del problema.

2.1. Metodología para el diagnóstico

ESPUMAS SANTANDER cuenta con un proceso de distribución de mercancía para el Área Metropolitana de Bucaramanga, mediante el cual entrega sus productos a los clientes y realiza otras funciones que serán explicadas en detalle en el diagnóstico. Inicialmente se recabó información general del área, como el número de personal, equipos e instalaciones a la disposición del proceso, y la forma en la cual se desempeñaban para cumplir diariamente su labor. Gracias a este sondeo preliminar del estado actual del proceso de distribución y planeación de rutas, se pudo observar que existe una metodología principalmente empírica, cimentada en la experiencia del personal más que en un análisis detallado de las entregas realizadas o de las condiciones de entrega; Además no se tiene una política definida para cuando se suceden novedades al momento de realizar las entregas, por lo cual toda la información acerca de devoluciones se torna difusa y dispendiosa de obtener.

En este apartado se pretende identificar los elementos que componen la sección de Despachos de ESPUMAS SANTANDER S.A.S., que es la cual se encarga de realizar el proceso de distribución de mercancía; esto con el objetivo de tener una visión clara y panorámica de los puntos donde es posible realizar una mejora en el modelo de distribución actual de transporte. Este diagnóstico utiliza métodos cualitativos y cuantitativos para obtener conclusiones concretas y sobre las cuales se pueda proponer o actuar.

Dentro de los métodos de diagnóstico realizados, se utilizaron los siguientes:

- **Visita general de la planta:** Para poder entender el proceso desde el inicio, se realizó una visita a cada una de las secciones de la planta de producción (Producción, Corte, Confección, Despachos, Administración, Sala de Ventas). Se realizaron entrevistas para poder conocer el proceso que sigue un colchón desde el momento que se crea la orden de pedido por un vendedor hasta que es entregado en la puerta de la casa o negocio del cliente.
- **Visitas a la sección de Despachos:** Durante series de visitas y entrevistas a la sección se obtuvo el concepto inicial de los operarios y la Jefe de Sección acerca de cómo se encontraba el proceso de distribución actualmente.
- **Trabajo de campo:** Para conseguir información acerca de los tiempos y sucesos que acontecen durante el proceso de distribución urbana de mercancía, se hizo acompañamiento a los conductores a efectuar las entregas durante el mes de octubre de 2016, logrando obtener información acerca de los tiempos de cargue, descargue, viaje, y otros sucesos que surjan durante la operación normal de este proceso.
- **Recopilación de información:** La mayor parte de la información se obtuvo del jefe de sección de Despachos, con ayuda de los operarios, y también registros del SGC* de la empresa para conseguir información de ventas y clientes.

2.2 Diagnostico de la situación actual de la sección despachos en Espumas Santander S.A.S.

2.2.1 Características geográficas. Espumas Santander se ubica en el norte de Bucaramanga, cerca al barrio Colseguros Norte, en una zona que es altamente montañosa y característica por su irregularidad en el terreno, por lo cual la empresa cuenta con 5 niveles.

* Sistema de Gestión de Calidad.



Figura 1. Vista Satelital simulada de la ubicación de la empresa. Modificado de: Google Maps.



Figura 2. Disposición Externa de la fábrica. Modificado de: Google Maps.

La planta de producción alberga al centro de distribución en el nivel inferior de la estructura. Consecuentemente, la logística de la distribución se organiza tomando la planta como punto de partida.

2.2.2 Descripción de las metodologías usadas actualmente en la sección despachos.

Actualmente se planean las rutas y se asignan vehículos empíricamente, según la experiencia de la jefa de sección y los conductores, quienes en conjunto definen como sería la mejor ruta para distribuir el pedido ese día en cuestión. Además, si de la mercancía que se debe entregar no hay disponibles en bodega, y no están en Programación de producción, debe aplazarse el despacho de un pedido hasta que todo el mismo se encuentre completo.*

No existe una caracterización de los pedidos, ni reportes de frecuencias de pedidos de los clientes de la ciudad. No se tiene un registro consolidado de las direcciones de todos los clientes, o un análisis de sitios de entrega frecuentes, ni estudios de las necesidades de aplicativos y/o herramientas para simplificar el proceso de recepción de los clientes.

2.2.3 Recursos físicos de la sección de despachos. La sección de despachos se encuentra en el nivel inferior de la planta, y la bodega cuenta con una capacidad aproximada de 1228 metros cúbicos, calculada por estudios previos (Espumas Santander, 2016). Se cuenta con una flota propia de 5 vehículos y contrata de forma semi-regular a 4 vehículos externos, de múltiples dimensiones y volúmenes, que son rotados con frecuencia.

* Entrevistas con Jefe de Despachos y Operarios de la sección.

Tabla 2.
Flota Vehicular de Espumas Santander.

Vehiculo	Cubicaje (m ³)
TTT 609	57,63
SSY 003	44,28
SUD 719	37,74
FLN 089	34,48
XMD 156	11,54

Nota: Cubicaje obtenido de la medición de los compartimentos de carga de la flota interna de Espumas Santander.

Los vehículos son utilizados para una variedad de funciones, dependiendo de las necesidades de la compañía en cada momento, como hacer devoluciones, recoger productos por garantía, entre otros.

Actualmente existen 3 jaulas de cargue de vehículos, sin embargo, generalmente se encuentran solo 2 disponibles debido a que una se cierra para mantener inventario o pedidos completos que no se despacharán ese día.

2.2.4 Recurso Humano. El personal disponible en el área de despachos totaliza 15 personas sin contar los externos, dispuestas según los siguientes cargos:

Tabla 3.

Personal adscrito a la sección despachos.

Cantidad	Cargo
1	Jefe de sección
1	Auxiliar de facturación
4	Auxiliar de bodega
4	Auxiliar de ruta
5	Conductor
15	Total

Nota: Información obtenida de las entrevistas con la jefa de despachos.

La **jefe de sección** es el elemento administrativo del proceso; es quien gestiona las rutas y organiza las paradas para la entrega de los pedidos que llegan a la sección despachos, coordina a los operarios para realizar el cargue de los vehículos y verifica que se realice correctamente este proceso; Debe prestar gran atención a sus niveles de inventario de producto terminado para solicitar oportunamente y cumplir con una demanda esperada (la cual no se encuentra al día, se tiene un indicador desactualizado), y cuando estos niveles bajen a un punto crítico o inexistente, solicitar se envíen a producir a la sección de confección y por último, se encarga de cumplir con el presupuesto de facturación diario de la compañía, el cual consigue realizando cargues y entregas exitosas de producto.

El **auxiliar de facturación** genera y registra las planillas de cargue que la jefa de sección y los conductores firman luego de realizar el cargue de un vehículo y las facturas firmadas por los clientes una vez recibidos los productos; es la persona que se encarga de organizar y archivar la información para posterior acceso, y también el encargado de transportar la información y los documentos desde la sección de despachos hacia otras secciones.

El **auxiliar de bodega** es la persona que se encarga de transportar los colchones desde su punto de almacenamiento en la bodega hasta el vehículo, cargarlo y ubicarlo correctamente según las indicaciones del jefe de sección y/o el conductor encargado de la ruta; también deben abastecer la bodega con los productos que bajan por el ascensor de la sección de confección y los que son entregados por la sección de tapicería, ubicándolos en sus respectivos arrumes.

El **auxiliar de ruta** apoya al conductor durante el trayecto y es quien realiza principalmente el descargue de los productos en cada una de las paradas; su tarea es transportar los productos desde el camión hasta el domicilio o bodega del cliente con cuidado de no deteriorar el producto o empaque. En casos especiales, tanto conductor como auxiliar hacen el descargue, pero generalmente el auxiliar lo hace de manera individual para permitir al conductor vigilar el vehículo.

Los **conductores** son los empleados que manejan los vehículos encargados de entregar la mercancía, pero no se limitan a esta función; también pueden realizar cargue y descargue de los productos si la situación así lo requiere, sin embargo, generalmente se quedan al lado del vehículo para prevenir hurtos, supervisar el descargue de la mercancía y verificar la entrega de la misma con el cliente.

2.3 Diagnostico del proceso de distribución de mercancía.

ESPUMAS SANTANDER es una empresa dedicada a la elaboración y distribución de productos de espuma de poliuretano flexible (EPF), y cuenta con una flota de 5 vehículos propios destinados al transporte de mercancías para el área metropolitana de Bucaramanga, y las zonas de Norte de Santander, el bajo Magdalena y el Cesar. Actualmente la empresa Espumas Santander factura un promedio mensual de ventas por un valor de 2280 millones de pesos. El proceso de distribución se realiza de la siguiente forma:

La sección de despachos es en donde se inicia el proceso de distribución de mercancía, pues es donde llegan los vehículos para realizar el cargue de los productos terminados a despachar. Esta sección depende enteramente de los pedidos que lleguen a ella por medio de la sección de Servicio al Cliente, la cual entrega las ordenes de pedido que ha sido vendido. Una vez recibidas estas órdenes de pedido de mercancía (ver Figura 1), la Jefe de Sección cruza lo requerido con el stock que se encuentre disponible en la bodega y va completando pedidos uno por uno. Si no tiene el producto en stock, se elabora la orden de producción a la sección de confección para que produzca las unidades que se necesiten, esta a su vez verifica si tiene láminas de espuma disponibles para elaborar los productos solicitados, y si la respuesta es negativa, el supervisor de confección manda una solicitud de espuma a la sección de Corte para que este le envíe la espuma laminada necesaria para la elaboración; si Corte no tiene disponibilidad de espuma, el supervisor de Corte envía orden de pedido de bloques de espuma para cortar a la sección de Producción.

Espumas® Santander S.A.S.
 No. 2 Via a la Unión No. 1-95 - Teléfono: 648028
 21002 - www.espumas.com.co

Nº 215844

CLIENTE REGISTRO
 FECHA: 29-12-16
 POST FECHADO
 FECHA:

PROGRAMADO

DA DA DA DA
 MES MES MES MES
 AÑO AÑO AÑO AÑO

FACTURA No. No. No. No.

STOCK

CONTINUA	DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
350	sofa de 3 Puestos con brava color Prana Capuchino	1		
108-3	Puff Kandy color Prana Capuchino	1		
109-13	Mesa S Color Prana Capuchino	1		
18-10	Colchon Navarra D-23			
18-10	120 x 190 x 18			
106-20	Somier Sixto Real B 2 120x140x12	1		
101-1	Almohada Renas flex obliqua	1		
101-23	Almohada Dormi Suave	2		
102-2	Cajón T.V	2		

COMPRADOR: [Firma]

REVISAR CARTERA FLETES
 EMPRESA CLIENTE IVA Y 5%

Figura 3. Formato para orden de pedido de mercancía. Nota: Formato de orden de pedido de Espumas Santander S.A.S.

Es gracias a esta dinámica productiva que el tiempo de entrega a Despachos de un producto de espuma laminada recién solicitado es de 2 días en promedio*, lo que puede ocasionar inconvenientes si un pedido se encuentra incompleto y necesita que se produzca una unidad de baja rotación. Una vez el pedido se encuentra completo, La jefa de despachos organiza los pedidos según una metodología FIFO y los remite al conductor del vehículo destinado a llevar el pedido, el cual es escogido empíricamente por la jefa de despachos según su pericia en la zona a la cual se encuentren los pedidos a entregar; el conductor recibe los pedidos y revisa con la jefe de despachos si puede llevarlos todos, descarta según su experiencia los que cree que no puede llevar, y reorganiza el orden de visita de los pedidos para preparar el orden de cargue del vehículo.

Con los pedidos depurados y organizados, el auxiliar de despachos recibe la información y genera una planilla de cargue, la cual se utiliza para realizar el cargue del vehículo; una vez cargado el camión, el conductor y la jefe de despachos revisan si el cargue fue completo, si no se pudieron cargar todas las unidades de la planilla, se firma y se realiza una nueva planilla, y adicionalmente las facturas de lo que fue cargado al camión; estas facturas y la planilla de cargue son entregadas al conductor para que salga a entregar los pedidos. Los vehículos van tripulados por el conductor y un auxiliar que ayuda a realizar los cargues y descargues de producto.

El camión realiza su ruta designada conforme a lo posible y a las novedades que encuentre en el desarrollo de su recorrido; si hay restricciones viales o inconvenientes de otra índole, el conductor sorteja estos obstáculos tan bien como puede. Se llega a la primera (o siguiente) dirección a visitar y se parquea el vehículo lo más cerca posible; en algunas ocasiones, por la disposición de la vía o por normas de tránsito, el vehículo se ve forzado a parquear a una distancia sustancial de la dirección del cliente. Generalmente ambos operarios hacen el despacho y entrega del producto,

* Entrevista con Supervisores de Confección y Despachos.

pero cuando el vehículo queda muy lejos del punto de entrega, uno de ellos se queda vigilando el carro para evitar hurtos u otros eventos, dificultando la entrega de producto. La mercancía descargada se va revisando mediante la planilla y cuando acaban, el cliente firma y recibe su factura, y el vehículo parte hacia una nueva dirección, en caso de que aún tenga producto por entregar; si ese no es el caso, se devuelve a la planta o a la zona de parqueo si no se encuentra en horario de trabajo. Una vez llegue a la planta, el conductor entrega la planilla firmada por los clientes y las novedades que puedan haber sucedido en un documento llamado remisión.

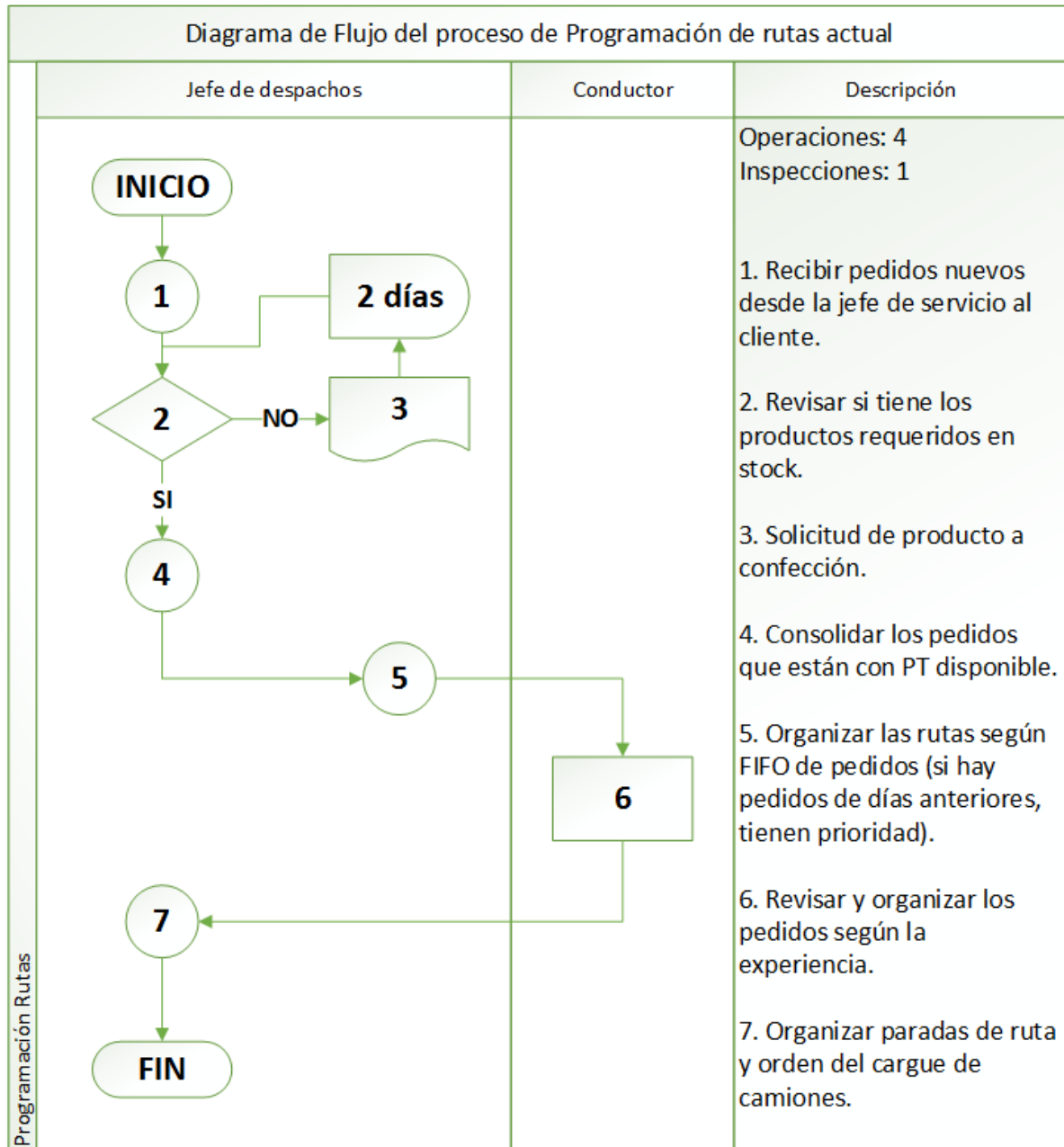


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de programación de rutas.

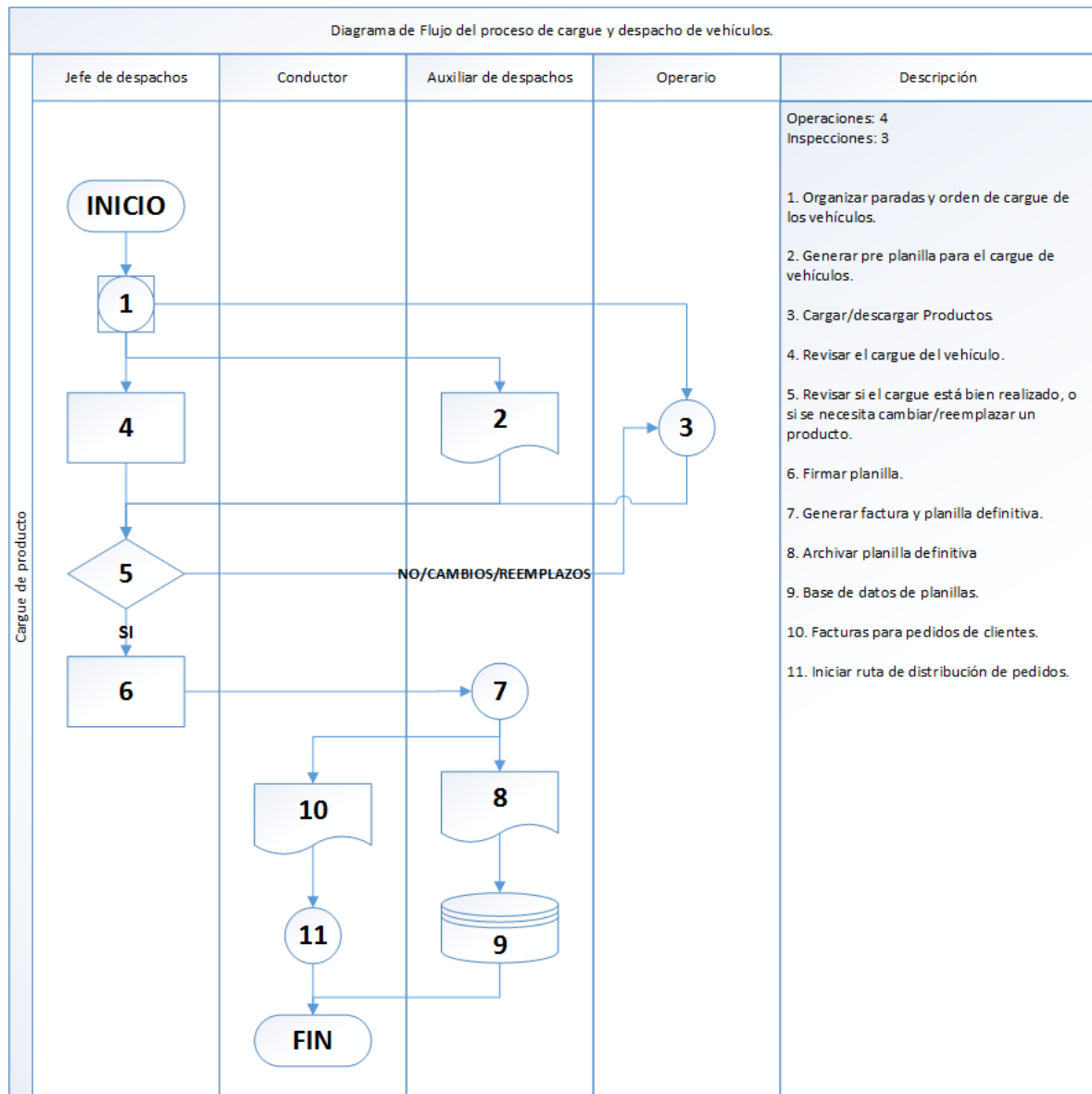


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de cargue y despacho de vehículos.

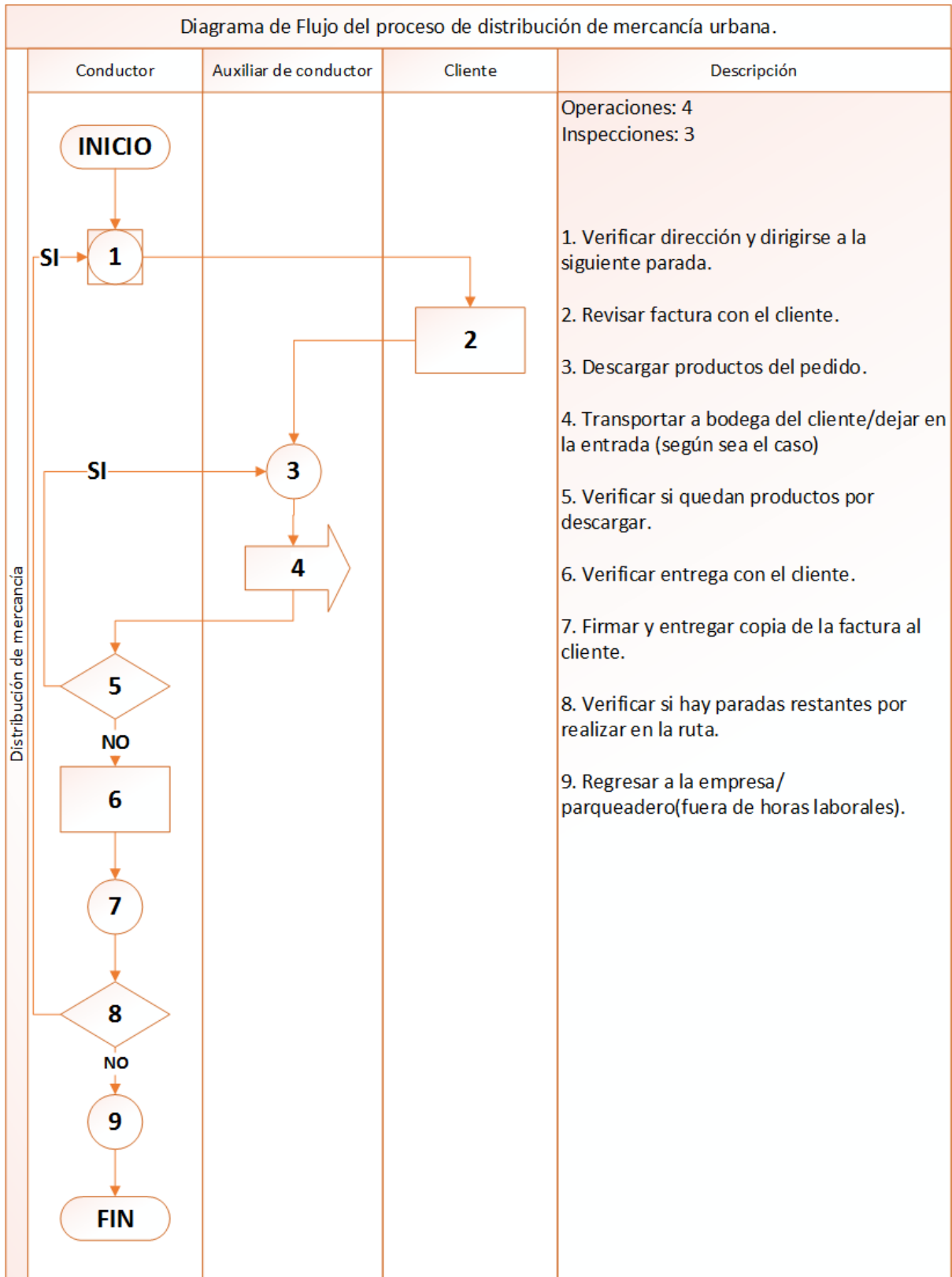


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de distribución de mercancía urbana.

2.4 Análisis de entregas urbanas en el mes de octubre 2016

Para medir el desempeño de un proceso de distribución de mercancía, existe un parámetro llamado nivel de servicio al cliente o CSL (por sus siglas en Inglés), que se define como el conjunto de indicadores de desempeño del transporte ofrecido a los clientes, cuya “meta principal es entregar los productos a sus clientes en las cantidades que ellos solicitaron, en el tiempo y lugar que solicitaron la entrega y que se envíen solo productos que cumplan con las especificaciones de calidad establecidas y cumpliendo con los procedimientos de entrega acordados.”(Flores, 2016) Según esta definición, tener un alto nivel de servicio al cliente impacta positivamente en la percepción del cliente para con la empresa y, teniendo en cuenta lo anterior se puede determinar que implementar una adecuada planeación y gestión del transporte de la mercancía es un paso adelante en el direccionamiento estratégico de la organización.

Actualmente Espumas Santander cuenta con un porcentaje de entregas urbanas perfectas* del 94,9% para el mes de octubre 2016, lo cual indica que en el 5,1% de las entregas del mes pasado se encontraron productos que fueron devueltos por algún tipo de no conformidad o novedad durante el transporte.

Este 5,1% representa los transportes de mercancía en donde se presentó algún problema o inconveniente con el cargue o entrega del producto, y cuando el conductor vuelve al centro de distribución, devuelve el producto junto con la planilla de entregas firmada por quienes recibieron el producto satisfactoriamente, y con una nota en la parte del producto donde ocurrió alguna

* El autor establece que para este trabajo de grado una “entrega urbana perfecta” es aquel viaje individual en el cual todos los pedidos son entregados satisfactoriamente y no ocurren devoluciones del producto por razones propias del transporte.

novedad, como se puede observar en la Figura 7, y después de realizar un análisis de las planillas de entrega de pedido, se encontraron 5 tipos distintos de no conformidades:

Tabla 4.

Entregas realizadas por la flota Espumas Santander en el A.M.B., octubre 2016.

Planilla	Número de viajes urbanos	Número de entregas 100% efectivas	% rutas perfectas / total
Despachos	96	89	92,7
Espuma	26	26	100
Envíos	15	15	100
PV1	20	19	95
MCCON	1	1	100
Total	158	150	94,9

Nota: Relación entre el número de entregas realizadas y entregas 100% efectivas, en los distintos centros de facturación para el área metropolitana de Bucaramanga durante el mes de octubre 2016.

- Devuelto por daños o manchas en el producto.
- El punto de entrega estaba cerrado.
- Volumen no se había cargado en el vehículo.
- El volumen no alcanzó a entregarse.
- Devuelto por recepción doble, el cliente ya había recibido su producto.



Figura 7. Formato de entrega de pedidos E.S. Nota: Adaptado de sección despachos Espumas Santander, 2016.

Al analizar el volumen de producto devuelto por estas no conformidades, se obtiene el siguiente gráfico:



Figura 8. No conformidades en el transporte de mercancía.

En Espumas Santander el costo promedio de un flete urbano para un camión sencillo de 43 metros cúbicos de capacidad se encuentra en el orden de los 200.000 pesos (2016). Teniendo en cuenta esta cantidad se puede calcular el valor estimado de la perdida por no conformidades en el transporte, sin contar el producto terminado:

Tabla 5.
Calculo del valor monetario perdido por no conformidades en el transporte.

Periodo de cálculo	Tarifa por flete promedio (cop)	Número de entregas con no conformidad	Valor total perdido
Mensual	200.000	8	1'600.000
Anual	200.000	96	19'200.000

Nota: Calculo del valor monetario perdido por no conformidades en el transporte mensual y anual.

2.5 Análisis de actividades de los vehículos

Gracias a las herramientas ya disponibles en Espumas Santander para el rastreo de vehículos en tiempo semi-real, se puede obtener este análisis que fue realizado con la ayuda del ingeniero encargado del rastreo satelital de los vehículos. Por medio del software Trackersantander* se hizo un seguimiento satelital a los vehículos propiedad de la compañía durante el mes de octubre. Se caracterizaron los tipos de estados que presentaban estos vehículos y se determinó que éstos podrían estar realizando las siguientes actividades:

* Trackersantander es un software de seguimiento satelital contratado por Espumas Santander para controlar sus vehículos.

- Cargando: el vehículo se encuentra en las instalaciones de la compañía detenido a la espera de ser cargado.
- Descargando: el vehículo se encuentra en el área metropolitana de Bucaramanga entregando productos a los clientes.
- Tanqueo: el vehículo se encuentra en la bomba “Santa Marta” en la carrera 15 con calle 10°
- Intermunicipal: el vehículo se encuentra entregando productos fuera del área metropolitana de Bucaramanga.
- Recorrido: el vehículo se moviliza hacia algún lugar.

En software genera reportes de la posición y estado del vehículo cada 30 segundos, en el cual indica la coordenada GPS y la hora del registro. En el momento en que el vehículo se detiene por más de 10 minutos, el software reporta una parada y el tiempo en que estuvo detenido.

Estableciendo estos parámetros se programó un algoritmo que analizara los cerca de 150.000 registros de todos los vehículos y generara un reporte donde se especifique el tiempo que el vehículo estuvo en cada uno de los estados, el tiempo que cada vehículo utilizó para transportarse de un sitio a otro a ejecutar una actividad y los kilómetros recorridos en total. A continuación, los resultados:

Tabla 6.

Resumen de estado vehículo TTT 609

PLACA	TIPO DE PARADA	TIEMPO DE PARADA		TIEMPO DE DISTANCIA RECORRIDA (HORAS)		TOTALTIEMPO DEDICADO (HORAS)		KILOMETROS RECORRIDOS
		DE PARADA	%	%	%	%		
TTT 609	CARGUE	127,0	27	4,30	5	131	23	119
	DESCARGUE	231	49	6,12	7	238	42	143
	TANQUEO	3,9	1	1,10	1	5	1	18
	INTER MUNICIPAL	114,6	24	80,61	87	195	34	3305
	TOTAL	476,9	100	92,1	100	569	100	3585,9

Nota: Datos obtenidos de reporte de sistema Trackersantander.

Tabla 7.

Resumen de estado de vehículo SSY 003

PLACA	TIPO DE PARADA	TIEMPO DE PARADA		TIEMPO DE DISTANCIA RECORRIDA (HORAS)		TOTALTIEMPO DEDICADO (HORAS)		KILOMETROS RECORRIDOS
		DE PARADA	%	%	%	%		
SSY 003	CARGUE	165,5	40	11,52	12	177	34	150
	DESCARGUE	131,0	32	26,36	26	157	31	286
	TANQUEO	5,9	1	1,36	1	7	1	17
	INTER MUNICIPAL	112,1	27	60,55	61	73	34	1890
	TOTAL	414,5	100	99,8	100	514	100	2342,5

Nota: Datos obtenidos de reporte de sistema Trackersantander

Tabla 8.

Resumen de estado de vehículo SUD 719

PLACA	TIPO DE PARADA	TIEMPO DE PARADA		TIEMPO DE DISTANCIA RECORRIDA (HORAS)		TOTALTIEMPO DEDICADO (HORAS)		KILOMETROS RECORRIDOS
			%		%		%	
SUD 719	CARGUE	172,2	42	18,72	18	191	38	166
	DESCARGUE	152,1	38	25,76	25	178	35	264
	TANQUEO	3,1	1	0,90	1	4	1	11
	INTER MUNICIPAL	78,1	19	56,40	55	135	27	1298
	TOTAL	405,5	100	101,8	100	507	100	1739

Nota: Datos obtenidos de reporte de sistema Trackersantander

Tabla 9.

Resumen de estado de vehículo XMD 156

PLACA	TIPO DE PARADA	TIEMPO DE PARADA		TIEMPO DE DISTANCIA RECORRIDA (HORAS)		TOTALTIEMPO DEDICADO (HORAS)		KILOMETROS RECORRIDOS
			%		%		%	
XMD 156	CARGUE	76,6	40	37,34	34	114	38	629
	DESCARGUE	11,8	58	66,50	61	178	59	906
	TANQUEO	4,2	2	4,71	4	9	3	64
	INTER MUNICIPAL	0,3	0	0,17	0	0	0	7
	TOTAL	192,9	100	108,7	100	302	100	1605,5

Nota: Datos obtenidos de reporte de sistema Trackersantander

Tabla 10.

Resumen de estado de vehículo FLN 089

PLACA	TIPO DE PARADA	TIEMPO DE PARADA		TIEMPO DE DISTANCIA RECORRIDA (HORAS)		TOTAL TIEMPO DEDICADO (HORAS)		KILOMETROS RECORRIDOS
			%		%		%	
FLN 089	CARGUE	124,2	56	13,55	16	138	45	216
	DESCARGUE	78,4	36	31,90	37	110	36	483
	TANQUEO	0,8	0	0,71	1	1	0	12
	INTER MUNICIPAL	17,3	8	39,95	46	57	19	1740
	TOTAL	220,6	100	86,1	100	307	100	2450,8

Nota: Datos obtenidos de reporte de sistema Trackersantander

Tabla 11.

Resumen de utilización (EN HORAS) del tiempo de la flota Espumas Santander

TIPO DE PARADA	SSY 003	SUD 719	TT609	XMD 156	FLN 089	TOTAL	%
CARGUE	177	191	131	114	138	751	34
DESCARGUE	157	18	238	178	110	861	39
TANQUEO	7	4	5	9	1	27	1
INTER MUNICIPAL	173	135	195	0	57	560	25
TOTAL	514	507	569	302	307	2199	100

Nota: Datos obtenidos de reporte de sistema Trackersantander

A nivel general, el 39 por ciento del tiempo de los vehículos es utilizado para la operación de entrega de productos en el área metropolitana de Bucaramanga, el 34 por ciento a la operación de cargue en las instalaciones de la compañía y el 25 por ciento a las entregas a nivel intermunicipal.

Podemos observar que los vehículos SSY 003 y TTT 609 realizan viajes intermunicipales en un 34 por ciento del tiempo. En menor medida, los hace el vehículo SUD 719 con un 27 por ciento,

seguido por el vehículo FLN 089 con un 19 por ciento y, por último, el vehículo XMD 156 con un 0.5 por ciento aproximadamente.

Se resalta que el vehículo XMD 156 dispone del 59 por ciento de su tiempo para entregas a nivel municipal y que presenta un mayor tiempo de recorrido con un 61 por ciento. Este comportamiento es explicado por las características de las entregas de este vehículo, ya que se dedica a la entrega de pedidos pequeños o unitarios a las viviendas de los usuarios finales de los productos.

2.6 Condiciones generales del proceso de distribución en Espumas Santander

Los transportes se realizan 6 días a la semana, entre semana de 7 AM a 7 PM (8 PM para noviembre y diciembre), y los sábados de 7 AM hasta que se terminen las mercancías por entregar, generalmente de 2 PM a 5 PM. Actualmente la empresa divide el Área Metropolitana de Bucaramanga en dos secciones: CENTRO, que representa la ciudad de Bucaramanga hasta la Puerta del Sol, y SUR que representa desde Provenza e incluye Cañaveral, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. El vehículo propio de menor tamaño se utiliza para realizar recolección de los productos en servicio de garantía los días martes y jueves, por lo cual se inhabilita para transporte de mercancías esos días.

3. Alcance y justificación

Este trabajo de grado busca aportar una herramienta informática de ruteo que permita a Espumas Santander mejorar su operación de distribución urbana de mercancía para los clientes del Área Metropolitana de Bucaramanga.

3.1 Justificación

La realización de este trabajo de grado se da debido a la necesidad planteada por la dirección de la compañía de obtener un medio por el cual la sección de despachos pueda organizar su volumen y flujo de entrega de producto terminado de una manera más ingenieril, puesto que actualmente las operaciones de despachos se realizan empíricamente, basados en la experiencia del conductor y sin un análisis detallado de las rutas a tomar, lo que desenvuelve en una cantidad considerable de novedades en el proceso de distribución, como devoluciones, esperas y demoras en el despacho de los productos. Este proyecto de grado se ve enmarcado en un trabajo de maestría titulado “MODELO DE GESTIÓN DE TRANSPORTE URBANO DE MERCANCÍA DE EMPRESA MANUFACTURERA EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA. CASO ESTUDIO: ESPUMAS SANTANDER”, por lo cual es parte integral del proceso de mejoramiento continuo de la compañía.

Siendo el proceso de distribución de mercancía un factor determinante de la calidad del servicio, es necesario reducir el número de no conformidades en la entrega de producto, pues en lo corrido del año 2016, el 57% de las no conformidades reportadas están relacionadas con la distribución no oportuna del producto, en el 33% de los casos el local se encontraba cerrado y en el otro 24% restante la ruta no alcanzó a pasar por la dirección de entrega.

El desarrollo de este proyecto se justifica en la resolución del problema planteado, respecto a la necesidad expresada por los directivos a cargo del área de despachos de diseñar un proceso estándar para todas las rutas de distribución de mercancía, en aras de mejorar la ejecución global del mismo en términos de nivel de servicio, costos de transporte y tiempo de realización. Adicionalmente contribuirá a la aplicación de los conceptos aprendidos durante la carrera de ingeniería industrial, brindando un conocimiento en el desarrollo de una metodología para el diseño e implementación de una herramienta para ruteo de vehículos en una empresa industrial.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Diseñar un modelo que permita obtener un plan de rutas que contribuya a minimizar la distancia total de recorrido en la distribución de producto terminado para los clientes del área metropolitana de Bucaramanga, de la empresa Espumas Santander S.A.S.

4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el sistema actual de distribución de productos terminados de la empresa para los clientes en el área metropolitana de Bucaramanga.
- Realizar una revisión de literatura sobre distribución urbana de mercancías.
- Definir un modelo que permita representar el sistema actual de distribución de producto terminado de la empresa para los clientes en el área metropolitana de Bucaramanga.
- Desarrollar algoritmos para solucionar el modelo de ruteo definido.
- Evaluar el modelo con datos de la operación de la empresa y evaluar variación en los parámetros del modelo.

5. Resultados esperados

Al finalizar el desarrollo de este proyecto, se espera dejar como producto:

- Modelo de distribución para el ruteo de vehículos en el Área Metropolitana de Bucaramanga en Espumas Santander.
- Herramienta de diseño de rutas para la distribución urbana de producto terminado en el Área Metropolitana de Bucaramanga para Espumas Santander.
- Manual de usuario de la herramienta de diseño de rutas.

6. Marco referencial

6.1 Marco teórico

6.1.1 Logística. Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, se le llama logística al “conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribución” (RAE, 2017). Existen múltiples definiciones para el concepto de la logística; Para Ferrel, Hirt, Adriaenséns, Flores y Ramos (2004), la logística es "una función operativa importante que comprende todas las actividades necesarias para la obtención y administración de materias primas y componentes, así como el manejo de los productos terminados, su empaque y su distribución a los clientes". Según Lamb, Hair y McDaniel (2002), la logística es "el proceso de administrar estratégicamente el flujo y almacenamiento eficiente de las materias primas, de las existencias en proceso y de los bienes terminados del punto de origen al de consumo". Para Enrique B. Franklin (2004), la logística es "el movimiento de los bienes correctos en la cantidad adecuada hacia el lugar correcto en el momento apropiado". Estas definiciones proponen que la logística se centra en obtener un “flujo” adecuado del material a través de la cadena de suministro, desde un punto de obtención inicial hasta su disposición final, sea ya como materia prima para usarse en un proceso o un producto terminado destinado a un consumidor final. La logística parte de un ámbito militar, en el que una disposición eficiente de los recursos y efectivos militares suponía una victoria táctica ante el adversario, y fue popularizada por el general francés Antoine-Henri Jomini (Bassford, 1993).

6.1.2 Logística de transporte. El transporte es la forma en la cual los elementos de un sistema son relocalizados de un lugar a otro, físico o virtual; en el ámbito empresarial, es el medio por el

cual se envían las personas, bienes o servicios desde la empresa hasta sus clientes, proveedores u otras empresas. El transporte, y por consiguiente su logística, depende de tres factores: el modo en el que se realiza, los elementos que requiere para su ejecución y la función que va a cumplir el transporte.

El modo de transporte es el método por el cual se llevará a cabo la movilización de los elementos a transportar: Terrestre, aéreo, marítimo, son los tres modos principales, y cada uno tiene sus propias características técnicas, comerciales y operativas. (Rodríguez, 2017)

Los elementos son los recursos que el transporte necesita para su funcionamiento, y son tres: Infraestructura, vehículo y operación. La infraestructura es el conjunto de instalaciones inmuebles que necesita el transporte para poder acarrear su carga, como carreteras, puentes, vías fluviales, aeropuertos, entre otras. Un vehículo es un aparato inerte que se utiliza para desplazar personas y bienes. A menos que sea propulsado por cables o por fuerza muscular, el vehículo debe poder propulsarse por sí mismo. Generalmente un vehículo es pilotado por uno o más conductores, pero el avance de la tecnología ha permitido remover físicamente al conductor e inclusive instalar sistemas de pilotaje controlado por computadora y automatizados. Las operaciones, o entes operacionales son quienes controlan la infraestructura y los vehículos necesarios para lograr el transporte de la carga; estos pueden pertenecer a operadores públicos o privados, lo que trae implicaciones de precio y tributarias, dependiendo del país y su situación política y económica actual.

6.1.3 Distribución urbana de mercancía. Es la parte de la logística de transporte que se enfoca en el transporte terrestre dentro de un casco urbano, y, según Antun (2013), se define como:

“La distribución urbana de mercancías o la logística de la última milla engloba esencialmente los movimientos relacionados con la actividad comercial. Incluye el transporte de mercancías, con

sus operaciones asociadas: entrega, recolección, transferencias, carga/descarga, colocación en puntos de venta, cross- docking con o sin almacenamiento transitorio para abastecimiento múltiple durante la jornada en centros de carga de pedidos, y retornos en logística inversa en el tejido urbano.”

Esta clase de distribución tiene tres aspectos principales que la caracterizan:

- La influencia de la infraestructura, como se encuentra dispuesto el entramado y el sentido de las vías, semáforos y problemas de tráfico en general.
- La estrategia de distribución, como son los destinos por cubrir, los tiempos de espera y descarga y los horarios de recepción de mercancía
- Las características del vehículo, que deben adaptarse a las condiciones de infraestructura y distribución; por ejemplo, el tamaño del vehículo limita su paso a través de ciertas calles o las zonas de descarga que deben tener un fácil acceso para los vehículos.

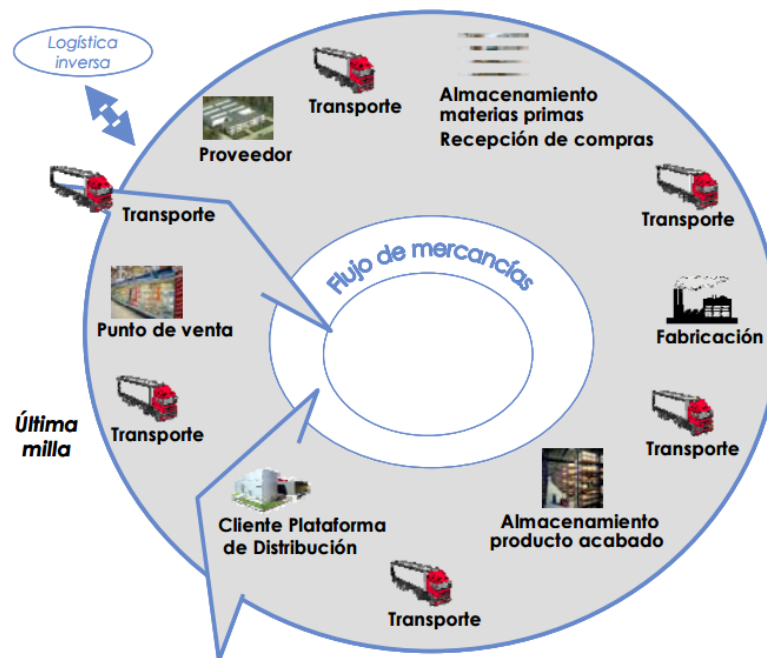


Figura 9. Cadena de Logística. Adaptado de: Antun, 2013.

6.1.4 Programación Matemática. Una programación matemática es un problema de optimización de la forma:

$$\max\{f(x) : x \in X, g(x) \leq 0, h(x) = 0\}$$

donde X es un subconjunto de \mathbb{R}^n y se encuentra en el dominio de f , g and h , que pertenecen a un espacio real. Las relaciones, $x \in X$, $g(x) \leq 0$, y $h(x) = 0$ son llamadas restricciones, y f se conoce como función objetivo.

Una solución x es viable si se encuentra en X y satisface las restricciones: $g(x) \leq 0$, y $h(x) = 0$. Una solución x^* es óptima si además de ser viable, el valor de la función objetivo es mayor que el de cualquier otra solución viable: $f(x^*) \geq f(x)$ para todas las x viables. La optimización puede ser tanto maximizar como minimizar, en el caso posterior se debe cambiar la condición de la solución óptima se invierte: $f(x^*) \leq f(x)$ para toda x viable (Peressini, 1988).

6.1.5 Optimización combinatoria. En matemática aplicada y en ciencias de la computación, se conoce como optimización combinatoria al ejercicio de encontrar un elemento óptimo dentro de un conjunto finito de elementos (Schrijver, 2006). Es sabido que en muchos problemas de optimización combinatoria se torna tedioso e incluso impráctico hacer una búsqueda exhaustiva de este elemento óptimo. La optimización combinatoria se utiliza en problemas de programación matemática con un número discreto de soluciones candidatas y su meta es hallar la mejor solución. Los ejemplos más famosos de optimización combinatoria son el problema del agente viajero (TSM) y el problema del árbol recubridor mínimo (MST). En este trabajo de grado se usará una

metodología que es una generalización del problema del agente viajero: El problema de ruteo de vehículos (VRP).

6.1.6 Decisiones sobre el transporte y Problemas de Ruteo de Vehículos (VRP). Ballou en su texto de “Logística – Administración de la cadena de suministro”, argumenta que “[...] la transportación absorbe, en promedio, un porcentaje más alto de los costos de logística que cualquier otra actividad logística. Aunque las decisiones sobre el transporte se expresan en una variedad de formas, las principales son la selección del modo, el diseño de la ruta, la programación de los vehículos y la consolidación del envío” (Ballou, 2004). De estas decisiones, el diseño de ruta es el aspecto pertinente a este trabajo de grado.

Puesto que los costos de transporte representan una gran parte de los costos totales logísticos (entre uno y dos tercios), Ballou manifiesta que “Un problema frecuente en la toma de decisiones es reducir los costos de transportación y mejorar el servicio al cliente encontrando los mejores caminos que debería seguir un vehículo en una red de carreteras [...]”. Dentro de los distintos problemas de diseño de rutas, se resaltan 3 como los principales:

- Problema con punto de origen diferente al punto de destino.
- Problema con múltiples puntos de origen y destino.
- Problema cuando el punto de origen y destino es el mismo.

Para el caso de este trabajo de grado, el punto de origen y destino es el mismo, pues se trata de un problema donde el transporte debe hacer cargue en la empresa, entregar los pedidos y por último regresar a dar un reporte de la mercancía entregada y novedades sucedidas durante el viaje.

Puntos Coincidentes de Origen y Destino: El problema de transporte donde los puntos de origen y destino son el mismo suele nombrarse como el problema del “agente viajero”, y es una extensión del problema básico de punto de origen y destino diferentes, con la complejidad de que la ruta no

estará completa hasta que el vehículo regrese a su punto inicial. En la literatura se expone que se han intentado dar numerosas soluciones a este problema, sin embargo, representa una inversión de tiempo considerable el intentar hallar una solución óptima para cada caso, por lo cual se remite a procedimientos de solución cognoscitiva, heurística o una combinación de optimización heurística como alternativas de solución.

Dentro de las soluciones para el problema del agente viajero se establecen ciertos pre saberes, como que el buen diseño de rutas prefiere que los caminos de una ruta se crucen, con lo cual la ruta empieza a tomar una forma similar a una gota.

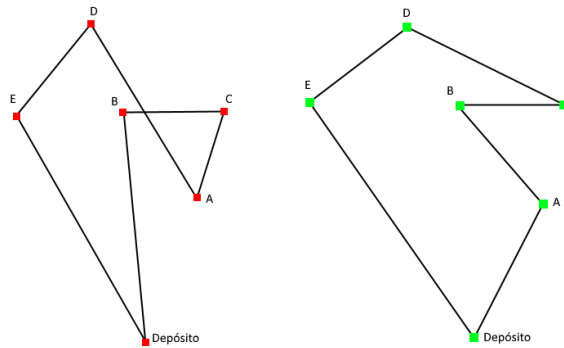


Figura 10. Ejemplos de mala y buena secuencia de paradas para un mismo punto de origen y destino. Adaptado de: Ballou (2004).

Esta forma de organizar las paradas de ruta solo es apropiada si las coordenadas de los puntos se relacionan con su distancia real entre ellos, si es el caso contrario, entonces se deben utilizar métodos matemáticos más analíticos y estrictos para el cálculo y programación de la secuencia de ruta.

Sin embargo, no todos los problemas de ruteo de vehículos son así de sencillos: “cuando no es fácil establecer la relación de espacio entre las paradas de la vuelta, [...] se deberían especificar las

distancias exactas, o los tiempos, entre dos pares de paradas. Los procedimientos cognoscitivos son menos aplicables y tenemos que recurrir a uno de los muchos procedimientos matemáticos sugeridos con los años para tratar este problema”.

Programación y Diseño de Rutas Vehiculares: Según Ballou, “La programación y el diseño de rutas para los vehículos (PDRV) es una extensión del problema básico del ‘agente viajero’”, pero ahora se incluyen limitaciones reales como:

1. Paradas con recogida además de entrega.
2. Vehículos con diferentes volúmenes y pesos máximos.
3. Tiempos de conducción máximos permitidos por normatividad.
4. Momentos oportunos: Paradas y recogidas únicamente a ciertas horas del día.
5. Solo permitir recolección después de completar las entregas del día.
6. Breves descansos para los conductores, a ciertas horas del día.

Con estas nuevas limitaciones, la búsqueda de una solución óptima se vuelve rápidamente improductiva, exceptuando problemas relativamente pequeños. Pero entonces, pueden hallarse *buenas* soluciones a los problemas de PDRV mediante diversas metodologías de solución que se han desarrollado a través del tiempo.

Definición formal de Problema de Ruteo de Vehículos: El problema de la asignación de rutas (VRP) es el nombre dado a todas las clases de problemas en donde un conjunto de rutas para una serie de vehículos tiene como origen uno o varios depósitos que se encuentran ubicados geográficamente, y deben atender un número de clientes o ciudades. El objetivo del VRP es minimizar el costo de las rutas, que inician y terminan en un depósito, para un conjunto de clientes con demandas conocidas. (Calderón Sotero, 2009)

Problema de ruteo de vehículos (VRP): Este es uno de los problemas en la logística más recurrentes por su dificultad matemática, esto a que es un problema de optimización combinatoria, no solo por su dificultad al aplicarla sino porque este problema es recurrente en las empresas las cuales distribuyen a clientes sus productos con previo pacto entre las partes. El problema de ruteo de vehículos (VRP) es un nombre genérico ya que son varios problemas que deben solucionar para dar el mejor servicio a sus clientes, normalmente se cuenta con varias bodegas o medios de transporte para satisfacer este tipo de necesidades. La solución del problema debe especificar cuáles clientes serán servidos por cada vehículo y en qué orden para minimizar el costo total, considerando una variedad de restricciones, tales como, capacidad del vehículo y tiempos de despacho. (Bodin, 1981)

Tipos de Problemas de Ruteo: En la literatura se encuentran varios modelos de VRP, así como diferentes variables según el sector y sus variables, los principales problemas de ruteo trabajados son:

Ventanas de tiempo VRPTW: Es un problema de decisión que consiste en diseñar un conjunto posible de rutas para una flota de vehículos de igual capacidad. Que salen y llegan a un depósito de modo que se visiten todos los destinos una sola vez con el costo mínimo satisfaciendo condiciones horarias y de capacidad. Una ruta inicia cuando un vehículo sale de un depósito y recorre cierta zona definida por las restricciones del problema y culmina cuando su capacidad está totalmente usada. (Lozada, 2012)

Múltiples Bodegas (MDVRP): En esta variación del problema de ruteo de vehículos, no se tiene una bodega única, existen múltiples ubicaciones y cada una tiene asociada una flota de vehículos, que debe servir a los clientes, lo que implica un problema emergente: asignar los clientes a las distintas bodegas. La complejidad del problema puede aumentar si se permite que los vehículos no necesariamente vuelvan a la misma bodega de la que partieron. (Nagy, 2005)

VRP con backhauls: El problema de ruteo con backhauls es un VRP en el cual los clientes pueden recibir o entregar productos a los vehículos. Line hauls son los clientes que reciben productos de la bodega, y backhaul son los clientes que envían productos de vuelta a la bodega. El supuesto crítico consiste en que todos los despachos deben ser hechos en cada ruta antes que cualquier devolución sea realizada. Esto se debe al hecho de que no es práctico o poco factible reordenar la carga de los vehículos durante la ruta. (Jacobs-Blecha & Goetschalckx; 1992)

VRP con Despacho y Recolección (VRPPD): El problema de ruteo de vehículos con despacho y recolección es un VRP en el cual existe la posibilidad de que los clientes devuelvan productos. Es usual considerar algunas restricciones del problema, como son, todos los productos que se despachan vienen de la bodega, y todos los productos que se devuelven deben ser enviados a la bodega, es decir, no se permite el intercambio de productos entre los clientes. Otra alternativa es relajar la restricción que hace alusión a que todos los clientes deben ser visitados exactamente una vez. (Montané & Galvao, 2006)

VRP con demandas estocásticas (VRPSD): El problema de ruteo de vehículos con demanda estocástica (VRPSD) es una variación del CVRP donde cada demanda de los clientes es incierta, en lugar de ser conocida exactamente a priori. El VRPSD surge en la práctica cada vez que una empresa se enfrenta al problema de las entregas a un conjunto de clientes, cuyas exigencias son inciertas. En esta formulación, se supone que la demanda de cliente q_i es una variable aleatoria discreta cuya distribución de probabilidad se especifica por $p_i(k)$, es decir, la probabilidad de que el cliente pida una cantidad $q_i = k$ de mercancías, con $k = \{0, 1\}$ para todo K , y $K \leq Q$. En la VRPSD también se asume que la demanda real de los clientes sólo se conoce cuando el vehículo llega a la ubicación del cliente. (Bertsimas, 1992)

VRP con entrega dividida (SDVRP) SDVRP: Es una relajación del VRP donde está permitido que el mismo cliente pueda ser servido por diferentes vehículos, si esto reduce el costo total. (The VRP web, 2016)

Metodologías de Solución de VRP: Los problemas de ruteo de vehículos cuentan con la desventaja de que cuanto más precisa u optima se necesite la solución, el tiempo necesario y procesamiento requerido para alcanzar esta respuesta se torna progresivamente menos practico, al menos para un entorno empresarial que necesita de respuestas rápidas para asumir los constantes cambios en el mercado; sin embargo, existen metodologías de solución que siendo inferiores a una respuesta optima, logran alcanzar un alto desempeño sin sacrificar grandes cantidades de tiempo o poder de procesamiento.

Método de “Los Ahorros”: El método de los ahorros fue propuesto por Clarke & Wright (1968) como una respuesta que sea capaz de manejar un amplio rango de situaciones, con restricciones variadas y relativamente rápido de calcular por computadora para problemas con un número moderado de paradas, con una capacidad de crear soluciones que se acercan en promedio al 98% del resultado óptimo. (Clarke & Wright, 1963)

El método consiste en reducir al mínimo la distancia total viajada por los vehículos utilizados y, además, el número total de vehículos necesarios para atender todas las paradas. (Ballou, Agarwal; 1988)

El método se inicia asignando vehículos “simulados” a cada parada y regresa al depósito, con lo que se consigue obtener la máxima distancia para resolver el problema de ruta. A continuación, se empieza a combinar dos paradas en una ruta de tal modo que uno de los vehículos se pueda eliminar y la distancia del viaje se reduzca. La distancia ahorrada se calcula al restar algebraicamente la

distancia de las rutas *antes* y *después* de la combinación. Para dos puntos (A y B) que no se hallen conectados en otra ruta, la distancia ahorrada está dada por la expresión:

$$S = d_{0,A} + d_{B,0} - d_{A,B}$$

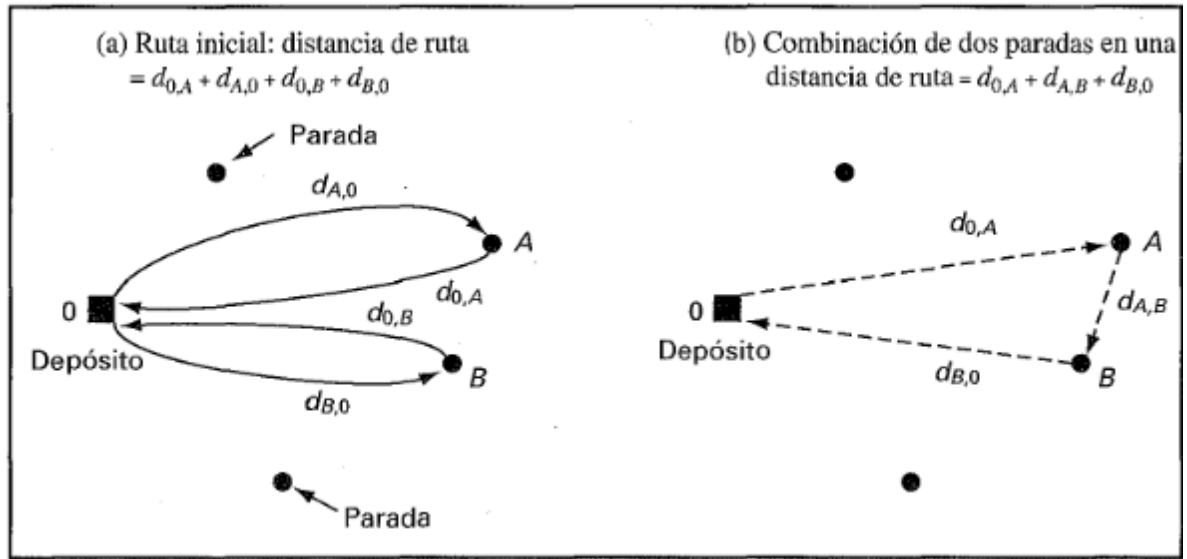


Figura 11. Ejemplo de metodología de los ahorros. Adaptado de Ballou (2004)

Para saber cuál par de paradas debe combinarse, se toma el ahorro de mayor valor. Si es necesario combinar una parada (C) en una ruta que ya tiene dos o más paradas (A, B), hay expresiones que determinan el ahorro logrado si la parada nueva se encuentra antes, entre, o después de las paradas de la ruta combinada:

- Antes de la parada: $S = d_{C,0} - d_{C,A} + d_{A,0}$
- Entre dos puntos de una ruta combinada: $S = d_{0,C} + d_{C,0} + d_{A,B} - d_{A,C} - d_{C,B}$
- Después de las paradas: $S = d_{B,0} + d_{B,C} - d_{O,C}$

La solución busca las alternativas que mayor ahorro generen y va combinando paradas dentro de una ruta para generar la solución del problema. Cuando ya todas las paradas hayan sido consideradas y no haya una iteración que pueda generar ahorro en distancia, o cuando las

restricciones aplicadas al problema no permitan seleccionar paradas para las rutas, el modelo termina y se obtiene la solución para el problema indicado.

Búsqueda de vecindario grande (LNS). Esta metaheurística de solución propuesta por Shaw (1998) es un desarrollo en el cual el conjunto de soluciones que conforman el vecindario de búsqueda se define implícitamente mediante un algoritmo de destrucción y uno de reparación; el algoritmo de destrucción suele tener cierto grado de aleatoriedad que permite al algoritmo de reparación arreglar y obtener vecindarios distintos para evaluar en cada iteración. De esto se obtiene que un vecindario de soluciones $N(x)$ es el vecindario que puede ser obtenido por la aplicación de un método de destrucción y posteriormente un algoritmo de reparación. El algoritmo de destrucción generalmente remueve un porcentaje predefinido de los nodos en la solución actual, y puede ser tan sencillo como seleccionar los nodos que removerán al azar, para que el algoritmo de reparación, que a su vez también puede ser tan sencillo como la búsqueda del cliente que genere mayor beneficio o menor coste al insertarlo en una ruta.

La heurística de búsqueda de vecindario grande se llama así porque el algoritmo de destrucción genera un vecindario con una gran cantidad de soluciones diferentes cuando destruye parte de la solución actual.

La heurística del LNS se presenta a continuación:

Tabla 12.

Algoritmo LNS.

Heurística de solución LNS

- 1: Entrada: una solución viable x
 - 2: $x^b = x$;
 - 3: **repetir**
 - 4: $x^t = r(d(x))$;
 - 5: **si** aceptación(x^t, x) **entonces**
 - 6: $x = x^t$
 - 7: **fin si**
 - 8: **si** $c(x^t) < c(x^b)$ **entonces**
 - 9: $x^b = x^t$;
 - 10: **fin si**
 - 11: **hasta** criterio de parada = verdadero
 - 12: **retornar** x^b
-

Nota: Adaptado de Pisinger & Ropke (2007)

LNS permite al implementador escoger libremente sus métodos de destrucción y reparación; para destruir se debe tener en cuenta el grado de destrucción de la solución, teniendo cuidado no destruir muy poco, en cuanto se podría caer en un óptimo local (Pisinger & Ropke, 2010), o mucho, pues se degradaría el algoritmo en un ciclo de re-optimización continua, donde no se logra alcanzar un óptimo.

Búsqueda de vecindario grande adaptable (ALNS). Una evolución de la heurística LNS, el cambio principal de este método radica en que no se utiliza solo un método de destrucción y reparación fijo, esta permite el uso de múltiples métodos seleccionados según una ponderación de cuan seguido cada método es utilizado; la ponderación de cada método es afectada dinámicamente

según la calidad de sus resultados, y así el algoritmo se va adaptando al problema en cuestión, obteniendo mejores resultados diseñados para cada caso. Se conoce también como *hiper-heurística* puesto que es una heurística que va adaptándose mediante la selección de las heurísticas adecuadas para cada caso, consiguiendo mejores resultados en la mayoría de los casos, si se programan más heurísticas a su banco de selección. (Pisinger & Ropke, 2010)

6.2 Marco de antecedentes

En el trabajo de grado de Granados (2011) en el cual se tenía como objetivo principal la elaboración de un modelo de ruteo para rutas escolares de la empresa COOMULCLAVER, se observa el beneficio que las soluciones gráficas proporcionadas por herramientas informáticas aportan a la apreciación de resultados de un problema de ruteo de vehículos; esto es importante para el desarrollo del trabajo de grado presente pues se tiene como meta entregar una herramienta grafica de aplicación empresarial, en donde el usuario final puede no tener pericia en programación, así que necesita de una interfaz sencilla y user-friendly para que sea aplicable en un entorno de trabajo regular.

El trabajo de maestría de Toro (2013), cuyo objetivo consistía en la planeación de rutas de vehículos en sistemas con flota privada y pública, es una guía mediante la cual el autor de este proyecto puede iniciar la búsqueda de un modelo que se pueda acoplar al sistema de distribución actual que maneja Espumas Santander, pues en la empresa se hace uso de una flota privada de vehículos pero también se apoya en transportadores externos si la demanda (habitualmente) suele ser mayor a la que pueden manejar con la flota interna inicialmente, y el trabajo de maestría de Toro hace uso de un modelo que tiene en cuenta flotas externas, convirtiéndolo en un material de apoyo para el autor del trabajo de grado actual.

El trabajo de grado de Linfati, Escobar y Gatica (2013), cuya finalidad era hallar un algoritmo metaheurístico para la resolución del problema de localización y ruteo con flota privada y pública, es el componente final en los antecedentes que muestra cómo puede realizar un modelo para un conjunto de vehículos con volúmenes distintos entre sí; contiene también posibilidad de establecer la ubicación de los depósitos dentro de su rutina, sin embargo, para el trabajo de grado presente, esta característica se encuentra ya determinada, pues el depósito se encuentra ubicado en la misma planta de producción.

7. Revisión literaria – distribución urbana de mercancía

La revisión literaria para encontrar un modelo que se asemeje a la situación actual de distribución de mercancía urbana en Espumas Santander S.A.S. se realizó en tres etapas; primero se elaboró una ecuación de búsqueda de documentos con una ventana de tiempo de 5 años, partiendo desde el 2012 hasta el 2017, posteriormente se investigó un estado del arte de problemas de distribución urbana de mercancía para encontrar modelos de ruteo aplicables a este trabajo de grado; y por último se realizó una búsqueda tradicional en motores de búsqueda, donde se halló una importante fuente de información: una revisión de literatura de modelos de ruteo con flota heterogénea, que permitió corroborar los resultados de la primera revisión literaria.

7.1. Ecuación de Búsqueda

Para la elaboración de la ecuación de búsqueda se establecen ciertos parámetros iniciales:

- Se estableció un marco temporal desde el año 2012 en adelante, ofreciendo una ventana de tiempo de 5 años (2012-2017).
- Se realizó la búsqueda en las siguientes bases de datos: EBSCO Host, SCOPUS, ELSEVIER, ISI Web Of Knowledge.

Con estos parámetros se procedió a realizar la búsqueda de documentos pertinentes a modelos de distribución urbana de mercancía.

- Frase de búsqueda

“Se necesita información acerca de modelos de distribución urbana de mercancías.”

Se simplifica en la expresión: Modelo de distribución urbana de mercancía.

- Términos principales

Modelo, Distribución, Urbano, Mercancía.

- Cuadro de sinónimos:

Tabla 13.

Cuadro de sinónimos de búsqueda.

Termino	Sinónimos
Modelo	No hay sinónimos apropiados.
Distribución	Ruteo, Reparto, Entrega.
Urbano	Urbano, Ciudad.
Mercancías	Productos, Bienes.

- Ecuación de búsqueda:

(Modelo) Y (Ruteo O Reparto O Entrega) Y (Urbano O Ciudad) Y (Productos O Bienes)

Para consultar en SCOPUS se utilizó un aproximado en inglés:

(Model) AND (Delivery OR Routing OR Distribution) AND (Urban OR City) AND (Products OR Goods)

7.2 Resultados de la Búsqueda.

Se decidió realizar primero la búsqueda en Inglés, que obtuvo como resultado 68 documentos recuperados, de los cuales 4 son pertinentes al tema requerido; Mohamed, Klibi, Labarthe, Deschamps & Babai (2017) aportaron un trabajo en donde se modelan soluciones para logística urbana interconectada; Chai, He, Ma & Dai (2016) investigaron un problema de ruteo con ventanas de tiempo fijas, pertinente porque permite observar las diferencias entre un modelo laxo y uno rígido en cuanto a sus restricciones temporales de operación; Ochoa, Mayorga y Navarro (2016) diseñaron un modelo multiescalafón de distribución de alimentos en el sur de la ciudad de Bogotá, este trabajo permite realizar un acercamiento a la distribución urbana a sectores residenciales por medio de transportes capaces de llegar a calles más estrechas o reguladas. Szczepański (2012) aportó un trabajo donde revisa las diferentes variables de decisión para modelos de transporte urbano; aunque no es una investigación enfocada a la distribución de mercancía, permite establecer los conocimientos necesarios para determinar variables de decisión pertinentes a cada problema.

Por otro lado, la búsqueda en español obtuvo 124 documentos recuperados, de los cuales se utilizó uno para el marco de antecedentes de este proyecto; Linfati, Escobar, y Gatica (2014) proponen un algoritmo metaheurístico para el problema de localización y ruteo con flota heterogénea. Adicionalmente se encontraron 5 documentos pertinentes en español: Patiño Chirva, Daza Cruz, y Lopez-Santana (2016), Arias-Osorio (2012) y Arias-Rojas, Jiménez., y Montoya-Torres (2012) en sus trabajos investigan soluciones a problemas muy similares de recolección de elementos, utilizando cada uno distintas técnicas de solución, lo que permitió ampliar la perspectiva en cuanto al funcionamiento de las técnicas de solución existentes. Escobar, & Linfati

(2012) y posteriormente, Puenayán, Londoño, Escobar, y Linfati. (2014) Desarrollaron técnicas de solución diferentes para el problema de ruteo capacitado y heterogéneo.

Posterior a los hallazgos por medio de ecuación de búsqueda de documentos, se llegó a la conclusión de que se revisaría un documento altamente pertinente al trabajo presente y que no fue encontrado mediante la ecuación de búsqueda; este trabajo fue realizado por Ulloa (2015), y consiste en un estado del arte de modelos de optimización en la logística urbana de mercancías, para complementar la información encontrada mediante la búsqueda en bases de datos.

De la lectura, comprensión y análisis del trabajo realizado por Ulloa, se obtiene que hay 2 documentos pertinentes; el primero fue desarrollado por Shah et al. (2011) en donde se investiga el problema de hallar rutas que aprovechen al máximo la infraestructura vial dispuesta en la ciudad, y proceden a dividir la malla vial en varios subgrupos o “pelotones”, y modelan el problema en programación entera, ingresando el tiempo promedio de espera entre intersecciones y el tiempo de recorrido de los vehículos en cada pelotón.

Este trabajo es pertinente porque se observa un posible método para resolver el problema de los distintos tamaños de vehículos en la flota de Espumas Santander; al restringir ciertas rutas a determinados vehículos según se propone en este trabajo, se acerca a la realidad de algunos camiones que no podrían ingresar a ciertas zonas por su condición o regulación en cuanto a alto y tamaño. Adicionalmente, los dos métodos de optimización tienen sus ventajas y son bienvenidos como alternativas de solución factibles para el modelo de ruteo de Espumas Santander.

Como resultado de la revisión literaria inicial y el aporte de Ulloa (2015), se obtuvo una fuente de información considerable con respecto a modelos de ruteo utilizados para soluciones de transporte de mercancía, con ejemplos de modelos de ruteo heterogéneos como el Linfati et al. (2014), que se asemeja con la variabilidad de los volúmenes de los vehículos, o el trabajo de Chai et al. (2016) que examina un problema con ventanas de tiempo en su distribución.

7.3 Revisión de literatura de problemas de ruteo HFVRP y FSMVRP

Gracias al motor de búsqueda Google Scholar (Específico para buscar textos académicos) y utilizando el término de búsqueda “HFVRP”, se encontró un documento altamente pertinente, realizado por Soonpracha, Mungwattana, Janssens, & Manisri (2014), en donde se realiza una revisión literaria de los problemas de ruteo con flota Heterogénea. Esta revisión de literatura recopila una gran cantidad de trabajos de distintos autores acerca del problema de ruteo conocido como Problema de Ruteo con Flota Heterogénea (HFVRP); en el documento se exponen a manera de revisión literaria 4 componentes clave del problema de ruteo: Clasificación, Variables de entrada relevantes, Perspectivas en cuanto a criterios de decisión, y algoritmos de solución heurísticos y metaheurísticos.

De esta revisión literaria se obtiene, entre varios aportes, que se han establecido actualmente dos tipos muy similares de modelos relacionados al problema con flota heterogénea: El HFVRP y el FSMVRP, que por sus siglas significan Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem (Problema de ruteo de vehículos con flota heterogénea) y Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem (Problema de ruteo de vehículos con tamaño y mix de flota), respectivamente. La diferencia radica en el número de vehículos disponibles: en el FSMVRP se toma una cantidad infinita de vehículos de donde se puede disponer; en HFVRP el número de vehículos de cada tipo es limitado; además, se hace distinción entre problemas que utilizan criterios de decisión determinísticos, estocásticos y robustos, refiriéndose al grado de complejidad en la toma de decisiones: En un problema determinístico se conocen de antemano las características relevantes de los nodos (distancia, demanda, ventana de tiempo, entre otras...), mientras que en los problemas estocásticos y robustos no se tiene conocimiento previo acerca del valor una o más características.

De esta revisión se extrae un documento altamente pertinente elaborado por Parasepkoulos et al. (2008) donde se investiga la técnica de solución búsqueda tabú como posible alternativa para la

solución de problemas de tipo HFVRPTW. Este trabajo es pertinente porque se observa que además de los factores propios de la operación interna de la flota, es importante observar el factor externo que implica desenvolverse en un entorno limitado de espacio como es una urbe, y aplicar estas limitaciones al modelo para obtener una solución más cercana a la realidad.

El segundo documento investigado hace referencia a un problema de flota heterogénea; en su trabajo, Perrier, Langevin y Amaya (2008) utilizan un modelo basado en redes para múltiples productos, la particularidad de este trabajo es que el modelo restringe algunas rutas para ciertos vehículos, y su objetivo es minimizar la distancia total de recorrido. Plantean dos métodos diferentes de optimización, el primero subdivide el problema inicial en versiones más pequeñas y realiza las rutas para cada uno, y el segundo divide la red en grupos, les asigna una demanda y asigna un vehículo a cada nodo, uniendo los nodos al final de la operación y así obteniendo las rutas.

Finalmente, se realizó una última revisión en motores de búsqueda, utilizando la frase “técnicas de solución HFVRP”, y se encontró el documento desarrollado por Pisinger & Ropke (2007), en donde trabajan un algoritmo generalizado para la resolución de problemas de ruteo, suficientemente robusto para resolver HFVRP con ventanas de tiempo, y con resultados aceptables. De este documento se decide extraer la técnica de solución de búsqueda grande de vecindario adaptable (ALNS), que por su versatilidad se consideró como el mejor candidato para ser la técnica de solución utilizada en la herramienta a dejar en Espumas Santander.

Gracias a las anteriores búsquedas, se establece que el modelo de ruteo a utilizar para resolver el problema de distribución en Espumas Santander S.A.S. sería el modelo HFVRPTW, solucionado mediante el algoritmo de ALNS adaptado de Pisinger & Ropke (2007).

8. Caracterización del modelo de ruteo HFVRPTW de Espumas Santander.

8.1 Prioridad en la programación de la demanda actual

Actualmente en la sección de despachos se maneja una política de programación de pedidos FIFO, en donde los pedidos que se encuentren listos para despachar y que lleven el mayor tiempo en la bodega son los que se programan para entrega ese mismo día. Adicionalmente se debe considerar si se va a realizar entrega a la zona sur de Bucaramanga*, reunir la suficiente cantidad de pedidos para justificar el envío a esa zona el día actual.

Entonces, considérese un conjunto de clientes C cada uno con su demanda de pedido d_c compuesta por p distintos productos de volumen v_p , que es una función del número de colchones que representa el producto, con base a un “colchón” promedio de medidas 140 x 190 x 24 cm.

La programación diaria se ejecuta de la siguiente manera:

1. Seleccionar los pedidos que tienen una fecha de entrega vencida o más próxima a vencer, de los cuales se tenga disponibilidad en stock, para iniciar el proceso de programación del día actual, empezando desde el pedido con fecha más vencida.
2. Revisar si el volumen de pedidos a la región sur completa por lo menos el volumen del vehículo con el menor volumen. Si lo cumple, se pueden empezar a programar productos a la zona SUR el día actual.
3. Si el volumen de los pedidos disponibles para zona SUR excede el del vehículo, tomar el vehículo con volumen inmediatamente mayor.

* Se cuenta como zona SUR desde Provenza e incluye Floridablanca, Piedecuesta, y Girón.

4. Si el vehículo quedase incompleto, complementar con pedidos a zona CENTRO*.
5. Seleccionar según criterio de disponibilidad en stock, y criterio FIFO, los pedidos a programar para la zona centro, hasta completar la capacidad de la flota.
6. Finalizar la programación.

8.2 Definición del modelo de ruteo

A partir de la revisión del modelo de programación de la demanda actual, se plantea el modelo de ruteo con ayuda de la literatura encontrada y se exponen las siguientes características encontradas de la caracterización del proceso de distribución en Espumas Santander:

- Clientes con demanda conocida previamente (Estocástica)
- Flota interna finita y heterogénea
- Clientes con ventanas de tiempo suaves y múltiples.
- Clientes con diferentes tipos de zona de descargue.

Gracias a estas características, es posible sugerir que el problema de ruteo de vehículos de Espumas Santander se ajusta al modelo conocido como HFVRPTW o Problema de ruteo de vehículos con flota heterogénea y ventanas de tiempo.

* Zona que comprende el casco urbano de Bucaramanga, hasta antes de Provenza.

Se define un grafo asimétrico incompleto $G = (V, A)$, donde V es el conjunto de nodos y A es el conjunto de arcos. La planta de producción o bodega se define como D , y se tiene un conjunto de n nodos de clientes, C , los cuales representan los pedidos, caracterizados con demanda, tipo de cliente, ubicación y ventanas de tiempo, que pueden no ser únicas. El cliente i puede tener múltiples ventanas de tiempo durante el día, de la forma $h \in H_i = \{1, \dots, n_i\}$, donde n_i indica el número, sin embargo, solo se puede atender una vez al día por máximo. La bodega D tiene una ventana de tiempo de operación única y un conjunto de vehículos heterogéneos m con capacidades $Q = \{q_{v_1}, \dots, q_{v_m}\}$. Cada vehículo k tiene asociada una jornada de trabajo compuesta por múltiples intervalos de tiempo $h' \in H_k = \{1, \dots, n_k\}$ (n_k indica la cantidad de intervalos de tiempo), durante el horizonte de planeación, en este caso diario, y estos turnos pueden diferentes para cada vehículo. Se presenta el problema de ruteo formalmente mediante esta programación lineal:

$C = \{1, \dots, n\}$: conjunto n de clientes

$V = \{0, n + 1\} \cup C$; conjunto de nodos, donde 0 y $n+1$ representan dos copias de la bodega.

s_i : Tiempo de servicio del cliente $i \in C$.

p_i : Tipo de cliente asociado al cliente $i \in C$

q_i : Demanda del cliente $i \in C$.

t_{ij} : Tiempo de viaje entre los clientes $i \in V$ y $j \in V$, con el arco $(i, j) \in A$.

d_{ij} : Distancia del trayecto entre los clientes $i \in V$ y $j \in V$.

$K = \{1, \dots, m\}$: Conjunto de m vehículos.

$Q = \{q_{v_1}, \dots, q_{v_m}\}$: Capacidades de los vehículos.

$[a_{ih}, b_{ih}]$, con $h \in H_i = \{1, \dots, n_i\}$: Múltiples ventanas de tiempo del cliente $i \in C$.

$[ad_0, bd_0]$ y $[ad_{n+1}, bd_{n+1}]$ representan la ventana de tiempo de la bodega.

$[a_{kh'}, b_{kh'}]$, con $h' \in H_k = \{1, \dots, n_k\}$: Múltiples intervalos de tiempo del turno de trabajo del vehículo k.

M: una constante de gran valor numérico.

Variables de Decisión:

- $x_{ijkh'}$ es igual a 1 si y solo si el vehículo k pasa por el arco $(i, j) \in A$ en su turno $\{h'\}$ de trabajo.
- $y_{ijkh'}$ es igual a 1 si y solo si el cliente i es visitado por el vehículo k en la ventana de tiempo número h del cliente y el turno número $\{h'\}$ de trabajo del vehículo.
- u_i : Tiempo extra con respecto al inicio del servicio en el cliente i.
- $u_{ikh'}$: Tiempo extra con respecto al inicio del servicio en el deposito $i \in \{n + 1\}$ del vehículo k en su turno número $\{h'\}$.
- $e_{ikh'}$: Tiempo en el que el vehículo k inicia el servicio al cliente i en el turno de trabajo número $\{h'\}$ de ese vehículo.

Para el caso actual de Espumas Santander, se simplifica el modelo asignando únicamente una ventana de tiempo por cliente y una jornada de trabajo por vehículo, por lo cual los conjuntos H_i y H_k contienen únicamente los elementos 0 y 1. El tiempo de servicio se ve afectado por el tipo de cliente a visitar según el coeficiente de tipo de cliente p_i asociado a cada cliente.

8.3 Criterio de función objetivo

Considerando que el objetivo empresarial de Espumas Santander es brindar a sus clientes un servicio acorde a la calidad de sus productos, la función objetivo estará dada a lograr la menor distancia recorrida para realizar entregas más oportunas; entonces se plantea la función:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} d_{ij} \sum_{k \in K} \sum_{h' \in H_k} x_{ijkh'} + \\
 & + M \sum_{i \in V} u_i + M \sum_{k \in K} \sum_{h' \in H_k} v_{(n+1)kh'} + \\
 & + \sum_{i \in C} M(1 - \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} \sum_{h' \in H_k} y_{ikh'h'}) \tag{1}
 \end{aligned}$$

El primer término es la función mínima de distancias, el segundo término se encarga de penalizar las llegadas tarde de los vehículos si atienden a los clientes de la ruta por fuera de horas; el tercer término se ocupa de penalizar las llegadas tarde a la empresa después de realizar sus entregas, y el termino final penaliza las rutas inviables o no posibles dentro del algoritmo. Los tres términos posteriores son penalizados altamente para preferir las soluciones viables que reduzcan la distancia total de recorrido.

8.4 Restricciones

Se implementa la restricción (2) para asegurar que la capacidad de los vehículos no es excedida en cada uno de los intervalos de sus turnos de trabajo:

$$\sum_{i \in V} \sum_{h \in H_i} q_{ikh'h'} \leq q_{vk} , \forall k \in K, h' \in H_k \tag{2}$$

Las restricciones (3) y (4) aseguran que cada cliente es visitado máximo una vez y que la bodega es usada por cada vehículo k en cada uno de los intervalos de tiempo de su turno de trabajo. Nótese que los clientes pueden ser dejados como alternativa de vista, lo cual es penalizado en el tercer término de la función objetivo.

$$\sum_{k \in K} \sum_{h \in H_i} \sum_{h' \in H_k} y_{ikh'h'} \leq 1, \forall i \in C \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{h \in H_i} \sum_{h' \in H_k} y_{ikh'h'} \leq \sum_{k \in K} n_k, \forall i \in \{0, n+1\} \quad (4)$$

Las siguientes restricciones están diseñadas para mantener el flujo de las rutas, es decir, que un vehículo que visita un cliente j partiendo desde un cliente i solo podrá partir nuevamente desde ese cliente j hacia un cliente diferente de i y j :

$$\sum_{i \in V} x_{ijkh'} = \sum_{h \in H_j} y_{jkh'h'}, \forall j \in V \setminus \{0\}, k \in K, h' \in H_k \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijkh'} = \sum_{h \in H_i} y_{jkh'h'}, \forall i \in V \setminus \{n+1\}, k \in K, h' \in H_k \quad (6)$$

La restricción (7) asegura la viabilidad con respecto al tiempo:

$$e_{ikh'} + s_i + t_{ij} \leq e_{jkh'} + M(1 - x_{ijkh'}),$$

$$\forall i, j \in v, k \in K, h' \in H_k \quad (7)$$

Las restricciones (8), (9) y (10) hacen cumplir las ventanas de tiempo de los clientes y los turnos de trabajo de los vehículos, y sus transgresiones son penalizadas en la función objetivo:

$$\sum_{h \in H_i} \sum_{h' \in H_k} a_{ih} y_{ikh'h'} \leq \sum_{h' \in H_k} e_{ikh'} \leq$$

$$\sum_{h \in H_i} \sum_{h' \in H_k} b_{ih} y_{ikh'h'} + u_i, \forall i \in C, k \in K \quad (8)$$

$$ad_i \leq e_{ikh'} \leq bd_i + u_i, \forall k \in K, h' \in H_k, i \in \{0, n+1\} \quad (9)$$

$$a_{kh'} \sum_{h \in H_i} y_{ikh'h'} \leq e_{ikh'} \leq b_{kh'} \sum_{h \in H_i} y_{ikh'h'} + v_{ikh'},$$

$$\forall k \in K, h' \in H_k, i \in \{0, n+1\} \quad (10)$$

Finalmente, las restricciones (11) a (15) imponen condiciones generales a las variables de decisión:

$$x_{ijkh'} \in \{0,1\}, \forall j \in V, k \in K, h' \in H_k \quad (11)$$

$$y_{ikh'h'} \in \{0,1\}, \forall i \in V, k \in K, h \in H_i, h' \in H_k \quad (12)$$

$$e_{ikh'} \geq 0, \forall i \in V, k \in K, h' \in H_k \quad (13)$$

$$u_i \geq 0, \forall i \in V \quad (14)$$

$$v_{ikh'} \geq 0, \forall i \in \{0, n+1\}, k \in K, h' \in H_k \quad (15)$$

$$p_i \geq 0, \forall i \in \{0, n+1\} \quad (16)$$

9. Desarrollo de la herramienta de solución del problema de ruteo en Espumas Santander

S.A.S.

9.1 Metodología para el desarrollo de la herramienta VRP

Para desarrollar la herramienta de solución VRP para Espumas Santander, se necesitaron múltiples insumos:

- Variables de entrada del modelo:

- Matriz Origen-Destino,
 - Volumen de producto estándar,
 - Tiempo de servicio estándar,
 - Ventanas de tiempo de la compañía y de los clientes,
 - Costo de activación.
- Solución inicial (funcionamiento actual Espumas Santander)
 - Solución mejorada (ALNS)

En este capítulo se expone el proceso de obtención y aplicación de estos insumos para el desarrollo de la herramienta.

9.2 Variables de entrada del modelo.

Matriz Origen-Destino. Es un conjunto de elementos ordenados pertenecientes a una región o espacio determinado, en donde se establece la relación de distancia entre cada uno de ellos. Para el caso de Espumas Santander, el conjunto de elementos fue conformado por los clientes Pareto por número de pedidos en el año 2016, cuya base de datos se encuentra en el apéndice D (disponible en el CD adjunto). Para alimentar las distancias de esta matriz, fue necesario obtener las coordenadas en par Latitud/Longitud (LatLng a partir de este punto) de cada uno de los clientes; esta tarea se realizó por medio de una extracción de la información requerida del motor de búsqueda Google Maps.

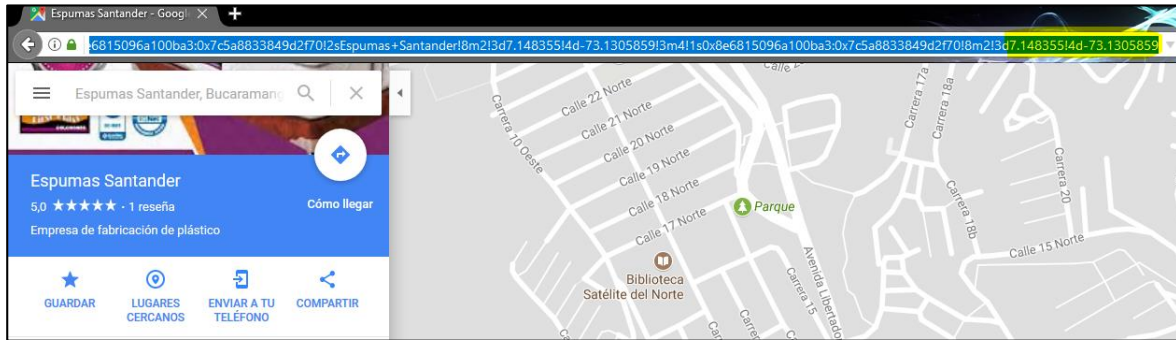


Figura 12. Extracción de pareja Lat/Lng de Google Maps. Nota: Pareja de coordenadas resaltada en amarillo. Para aprovechar estos valores, hace falta hacer limpieza de la expresión acomodándola a la forma [Lat, Lng].

Una vez obtenida la información LatLng de cada uno de los clientes, se procedió a utilizar el servicio web Bing Maps Driving Distances, para crear la matriz origen destino mediante un algoritmo de repetición que solicitó cada uno de los datos de distancia y tiempo de conducción para cada combinación de clientes en origen y destino:

Tabla 14.
 Matriz origen destino de nodo Espumas Santander S.A.S.

Desde	Hasta	Distancia (Km)	Duración (hh:mm)
Espumas Santander S.A.S.	Espumas Santander S.A.S.	0,00	0:00
Espumas Santander S.A.S.	Cliente1	5,19	0:09
Espumas Santander S.A.S.	Cliente2	0,00	0:00
Espumas Santander S.A.S.	Cliente3	9,40	0:16
Espumas Santander S.A.S.	Cliente4	13,45	0:21
Espumas Santander S.A.S.	Cliente5	23,56	0:28
Espumas Santander S.A.S.	Cliente6	1,74	0:02
Espumas Santander S.A.S.	Cliente7	7,42	0:13
Espumas Santander S.A.S.	Cliente8	5,00	0:07
Espumas Santander S.A.S.	Cliente9	3,49	0:05
Espumas Santander S.A.S.	Cliente10	5,53	0:09
Espumas Santander S.A.S.	Cliente11	5,25	0:08
Espumas Santander S.A.S.	Cliente12	4,82	0:07
Espumas Santander S.A.S.	Cliente13	5,39	0:08
Espumas Santander S.A.S.	Cliente14	5,67	0:09
Espumas Santander S.A.S.	Cliente15	5,38	0:08

Nota: Nombres de los clientes omitidos para proteger su identidad.

El tamaño de la matriz origen-destino es limitado al número de solicitudes que se pueden enviar al servidor de Bing Maps, puesto que se trabajó con una llave de usuario gratuita, el número de

solicitudes de información al servidor se ve limitado a 425 por día, los que se traduce en un número máximo de 20 lugares únicos (clientes) por ruteo diario.*

Volumen del producto estándar: Para simplificar la variable de entrada de volumen del modelo, se decide utilizar una medida de volumen estándar de acuerdo al producto que mayor rotación tenga dentro de la compañía; para conseguir esta información se recurrió al informe de ventas para el último trimestre de 2016, un aparte de este informe se encuentra en el apéndice E (disponible en el CD adjunto), donde se obtuvo el valor total de unidades vendidas de todas las referencias de Espumas Santander. De acuerdo al informe, en el cuarto trimestre de 2016 el producto con mayor movimiento fue el colchón IDEAL PLUS en la medida de 140 x 190 x 024 centímetros, que representó un volumen de 0,6384 metros cúbicos. Desde este punto en adelante a esta cantidad se le conoció como *Volumen estándar o V_{est}* . V_{est} fue utilizado como base de cálculo para los volúmenes de la mercancía cargada al modelo de ruteo. Fue necesario hallar esta constante para establecer el valor que se presenta en el siguiente punto.

Tiempo de servicio estándar. A partir de V_{est} , se planteó obtener el tiempo estándar de descargue de un volumen de esta magnitud, para lo cual se realizó una toma de tiempos en las instalaciones de Espumas Santander bajo un ambiente controlado, con las siguientes condiciones:

- Día soleado: Condiciones climáticas favorables que permiten la manipulación adecuada de la mercancía.
- Numero de operarios: 2, uno descargando, el otro recibiendo y despachando la mercancía.

* El limite gratuito para uso empresarial de las aplicaciones Bing Maps es de 125.000 transacciones de datos anuales, el cálculo de las solicitudes diarias permitidas tiene en cuenta un año con 295 días hábiles incluyendo los sábados.

- Amplio espacio para ubicar la mercancía: La prueba se realizó durante un descargue de productos en la sala de ventas de la compañía, que posee un parqueadero que actuó como zona de descargue.

Se define la operación de descargue como el conjunto de los siguientes pasos: Ubicar la mercancía dentro del vehículo, manipular la mercancía al borde del vehículo, pasar la mercancía al operario que transporta la carga, dirigirse al lugar de descargue indicado, descargar el producto y volver al vehículo.

Se analizaron 20 mediciones del descargue de colchones de esta ocasión, se escogieron las 10 mediciones intermedias para descartar efectos de inicialización y/o fatiga de los operarios. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 15.
Toma de tiempos de descargue de un colchón estándar.

Medición	Tiempo (s)	Medición	Tiempo (s)
6	115,3	11	123,6
7	116,5	12	117,4
8	122,5	13	124,8
9	119,4	14	126,7
10	116,2	15	125,4
Promedio			120,78

Nota: Se utilizaron las 10 mediciones intermedias de las 20 realizadas, para evitar efectos de sesgo debido a inicialización y fatiga de los operarios.

El promedio de estos tiempos se define como tiempo estándar de descargue o t_{est} desde ahora en adelante. Esta constante es necesaria como valor de entrada para determinar el tiempo de servicio

a un cliente dependiendo del volumen total de su pedido, expresado en unidades de colchón estándar, como se observa en el siguiente ejemplo:

Tabla 16.

Calculo del tiempo de servicio.

Cliente	Demanda (m ³)	Demanda V_{est} (m ³)	Tiempo de servicio (min)
A	10	15,66	31,33
B	15	23,50	47
C	20	31,33	62,67

Nota: Tiempos de descargue de varias cantidades de demanda, convertidas a colchón estándar y su tiempo de servicio correspondiente.

A través de entrevistas con la jefa de despachos se descubrió que existe una variable adicional de entrada, que radica en el tipo de cliente al cual se le va a despachar la mercancía; ciertas condiciones de la operación tienen un efecto ralentizador en el descargue del producto: subir escaleras, manipular el producto a través de espacios estrechos o incómodos y demoras propias de cada caso son regulares en el diario laborar de los operarios de distribución de mercancía, así que fue necesario para obtener verosimilitud entre la realidad y el modelo, que se intentase aproximar el aumento en los tiempos de descargue debido a estos factores externos.

Se decidió entonces realizar mediciones en campo de múltiples salidas a despachar producto en la ciudad de Bucaramanga y sus alrededores, para obtener muestras de los comportamientos nombrados anteriormente; anotando los tiempos de descargue de productos con el volumen estándar y el tipo de cliente al cual fueron entregados:

Tabla 17.

Toma de tiempos de descargue en campo.

Medición	t de descargue (min)	Relación vs t_{est} (%)	Tipo de cliente
1	3,51	176	Local comercial
2	3,01	151	Local comercial
3	3,68	184	Local comercial
4	3,28	164	Local comercial
5	3,11	155	Local comercial
6	3,97	199	Local comercial
7	3,83	192	Local comercial
8	3,98	199	Local comercial
9	3,05	152	Local comercial
10	3,63	182	Local comercial
11	5,04	252	Residencial
12	4,78	239	Residencial
13	4,66	233	Residencial
14	4,94	247	Residencial
15	5,19	260	Residencial
16	4,58	229	Residencial
17	5,46	273	Residencial
18	5,00	250	Residencial
19	4,65	232	Residencial
20	4,93	246	Residencial

Nota: En esta tabla se exponen los tiempos registrados durante el descargue de un producto de medidas estándar durante múltiples operaciones de despacho; “Residencial” hace referencia a un apartamento, casa o locación por defecto de

vivienda, mientras que “Local Comercial” se refiere a tiendas de colchones y locales donde generalmente se descarga la mercancía en la entrada del local o al lado del mismo.

De las anteriores mediciones se definió que un colchón descargado en un local comercial tiene un factor asociado aproximado de 1,75 veces el tiempo de servicio medido en las instalaciones de Espumas Santander bajo condiciones ideales; a su vez, las mediciones de productos despachados en zonas residenciales promedian un factor asociado de 2,5 veces el tiempo de servicio ideal. El tiempo obtenido por la operación “ideal” de descargue realizado en las instalaciones de Espumas Santander se definió entonces como el nivel más rápido de servicio, y se asignaría a clientes que poseían bahía de descargue para emular estas condiciones.

Ventanas de tiempo de la compañía y clientes. Se establece el horario de operación de la compañía desde las 08:00 horas hasta las 18:59 horas, cubriendo un espacio de 11 horas continuas de operación. Para los clientes se escoge un horario estándar de 08:00 horas a 17:59 horas debido a la dificultad inherente de concretar información precisa del horario de apertura y cierre.*

Costos de activación. Para poder tener un factor diferenciador adicional entre los vehículos en el modelo, se tuvo en cuenta el coste de activación de un vehículo para una ruta determinada. El costo de activación de un vehículo viene dado por el costo fijo. El costo fijo de activación se definió como el coste anual de mantenimiento del vehículo dividido en el número de días hábiles laborables en Colombia por año, incluyendo los sábados; para el año 2016 esta cifra fue de 295 días laborables. A continuación, se muestran los costos fijos de activación de cada vehículo durante el año 2016.

* Estos horarios son constatados por la jefa de despachos, quien argumenta que son las horas máximas de despacho y recepción en una temporada normal de trabajo; en ocasiones de temporada alta estos horarios se encuentran sujetos a cambios.

Tabla 18.
Costos de activación.

Vehículo	Valor de mantenimiento.	Costo fijo de activación
	Año 2016 (COP)	(COP)
SUD 719	9.365.633,63	31747,91
TTT 609	4.763.589,26	16147,76
FLN 089	7.927.500,22	26872,88
SSY 003	16.311.042,86	55291,67
XMD 156	2.860.827,40	9697,72

Nota: Los costos de activación fijos incluyen únicamente costos de mantenimiento preventivo, correctivo y recambio de piezas; costos de personal, licenciamiento y seguros se asumen suficientemente similares entre los vehículos como para ser descartados del cálculo. Obtenido de reporte de mantenimiento en módulo de despachos de Espumas Santander S.A.S.

9.3 Algoritmo de solución

Según el modelo utilizado, la técnica de solución aplicada fue la utilizada en Pisinger & Ropke (2007), el método llamado búsqueda grande de vecindario adaptable (ALNS); el algoritmo de esta técnica se muestra a continuación, a partir de la solución inicial:

Paso 1 (Inicializar): Inicializar la solución inicial, la mejor solución conocida y el contador de iteraciones $k = 1$. Sea α_1 = tasa mínima de remoción de nodos, α_2 = tasa máxima de remoción de nodos, y β = tamaño de lista de nodos candidatos a inserción.

Paso 2 (Condición de Parada): Si el tiempo de computación asignado es excedido, parar y mostrar la mejor solución encontrada.

Paso 3 (Destruir): Seleccionar y quitar aleatoriamente $\alpha_1 + U[0, 1] * (\alpha_2 - \alpha_1)$ por ciento de los clientes de la solución actual.

Paso 4 (Reparar): Seleccionar e insertar aleatoriamente un cliente dentro de los β clientes candidatos para inserción, hasta que ya no se puedan insertar más nodos.

Paso 5 (Refinar): Seleccionar y aplicar el método de refinado con el mejor resultado entre los cuatro tipos escogidos: Reubicación de nodos en una ruta, Intercambio de nodos entre rutas, 2-optimización o intercambio de nodos entre vehículos, hasta que no se encuentre mejora posible.

Paso 6 (Actualizar): Si la solución actual es viable y mejor que la mejor solución actual, actualizar la mejor solución actual e incrementar el contador de iteración k . Repetir desde el paso 2.

9.4 Lenguaje de programación, Software y Hardware utilizado

El lenguaje utilizado para albergar el código fue Visual Basic para Aplicaciones (VBA), utilizado en el entorno del aplicativo Microsoft Excel 2016. La visualización en entorno gráfico se dio en lenguaje HTML/CSS/JavaScript conectando la base de datos de solución en Excel por medio de conexión con base de datos en PostgreSQL que toma los datos de la hoja de cálculo y los alimenta al servicio web de Google Maps para generar las polilíneas de ruta. El modelo y la visualización gráfica fueron manejados en una máquina Hewlett-Packard All-in-One modelo X5Z69AA con procesador de 2.20 GHz y 4 Gb de memoria RAM.

9.5 Programación en VBA

El código para la solución del modelo VRP presentado en este trabajo se realiza en tres etapas, una fase de inicialización, una de construcción y una de mejoramiento de la solución por medio de (A)LNS utilizando varias heurísticas de mejoramiento.

9.5.1 Inicialización. Se declaran las variables y los índices que se van a utilizar en la solución, y se les asigna un valor inicial para arrancar el modelo.

Tabla 19.
Inicialización de variables.

1	Private Sub IniciarSolucion(solucion As dato_solucion)
2	
3	Dim i As Long
4	Dim j As Long
5	Dim k As Long
6	
7	Dim numero_max_vehiculos As Long
8	numero_max_vehiculos = 0

Nota: Fragmento de código para inicializar índices del modelo. Adaptado del código diseñado por Erdogan (2013)

Posteriormente se asignan valores iniciales a las propiedades de la solución, como su viabilidad, si ha visitado todos los nodos que son fundamentales en la ruta, el costo neto de realizar esa ruta y la distancia total recorrida hasta el momento:

Tabla 20.
Propiedades de la solución.

With solucion
.viable = False
.visita_nodos_esenciales = False
.costo_netos = 0
.distancia_total = 0

Nota: Fragmento de código para inicializar variable de solución. Adaptado del código diseñado por Erdogan (2013)

Por último, se inicializa el algoritmo para recorrer el costo y distancia de las rutas realizadas por cada tipo y cantidad disponible de vehículos, y a su vez, los clientes asociados a cada vehículo.

Tabla 21.

Inicialización de las rutas.

```
For i = 1 To lista_tipo_vehiculo.num_tipo_vehiculo

    For j = 1 To lista_tipo_vehiculo.num_tipo_vehiculo(i).num_disponible

        .costo_netto_ruta(i, j) = 0

        .distancia_total_ruta(i, j) = 0

        .contador_nodo_ruta(i, j) = 0

    For k = 1 To lista_nodos.num_clientes

        .nodos_ruta(i, j, k) = -1

    Next k

Next j

Next i
```

Nota: Fragmento de código para inicializar las rutas de los vehículos Adaptado del código diseñado por Erdogan (2013)

9.5.2 Fase de construcción de la solución. La solución se construye por medio de algoritmos en donde se evalúa cada nodo como posible adición a la ruta de un vehículo determinado; para determinar cuál nodo se agrega a la ruta, se utiliza una heurística de ahorros para obtener el nodo con el menor costo asociado.

El algoritmo se encarga de añadir nodos comparando la distancia del arco formado por el nodo candidato y el nodo determinado como el cliente más lejano, contra la distancia entre el origen y el cliente más lejano; si la distancia es menor, el algoritmo toma la distancia entre el nodo candidato

y el nodo más lejano como el nuevo diámetro y programa el nodo candidato para agregarse a la ruta del vehículo actual, y continúa añadiendo nodos de esta forma hasta que no se puede incluir otro más en dicha ruta por restricción de capacidad de carga, con lo que continua con el siguiente vehículo, sucesivamente hasta tener una solución completa de rutas definidas.

Tabla 22.

Fase de construcción.

```

For i = 1 To lista_tipo_vehiculo.num_tipo_vehiculo

    For j = 1 To lista_tipo_vehiculo.tipo_vehiculo(i).num_disponible

        cluster_centro = -1

        capacidad_usada = 0

        distancia_cliente_mas_lejano = 0

        For k = lista_nodos.num_bodegas + 1 To lista.nodos.num_clientes

            If (lista_arcos.distancia(lista_tipo_vehiculo.tipo_vehiculo(i).id_nodo_origen, k) +
lista_arcos.distancia(k, lista_tipo_vehiculo.tipo_vehiculo(i).id_nodo_destino) >
cluster_diametro) And (lista_nodos.nodos(k).esencial >= 0) And (actual.nodos_visitados(k)
= 0) Then

                distancia_cliente_mas_lejano =
lista_arcos.distancia(lista_tipo_vehiculo.tipo_vehiculo(i).id_nodo_origen, k) +
lista_arcos.distancia(k, lista_tipo_vehiculo.tipo_vehiculo(i).id_nodo_destino)

                cluster_centro = k

            End If

        Next k

```

```

If cluster_centro <> -1 Then

    Call SumarNodo(actual, cluster_centro, i, j, 1)

    capacidad_usada = lista_nodos.nodos(cluster_centro).cantidad_entrega)

Do

    nodo_por_sumar = -1

    cluster_diametro =
(lista_arcos.distancia(lista_tipo_vehiculo.tipo_vehiculo(i).id_nodo_origen, cluster_centro) +
lista_arcos.distancia(cluster_centro, lista_tipo_vehiculo.tipo_vehiculo(i).id_nodo_destino)) / 2

    For k = lista_nodos.num_bodegas + 1 To lista_nodos.num_clientes

        If (lista_nodos.distancia(cluster_centro, k) + lista_nodos.distancia(k,
cluster_centro) < cluster_diametro) And (capacidad_usada <=
lista_tipo_vehiculo.tipo_vehiculo(i).capacidad) And (lista_nodos.nodos(k).esencial >= 0) And
(actual.nodos_visitados(k) = 0) Then

            cluster_diametro = lista_nodos.distancia(cluster_centro, k) +
lista_nodos.distancia(k, cluster_centro)

            nodo_por_sumar = k

        End If

    Next k

    If nodo_por_sumar <> -1 Then

        Call SumarNodo(actual, nodo_por_sumar, i, j, actual.contador_nodo_ruta(i, j) +
1)

    End If

```

```
Loop While nodo_por_sumar <> -1
```

```
End If
```

Nota: Fragmento de código para realizar heurística de los ahorros. Adaptado del código diseñado por Erdogan (2013)

9.5.3 Fase de destrucción y reparación (Aplicación de LNS). Una vez se obtiene la solución completa, se aplica la fase de destrucción de la solución, removiendo aleatoriamente y según porcentajes de destrucción predefinidos por el autor, la cantidad de nodos para iniciar el proceso de reparación y búsqueda de soluciones nuevas:

Tabla 23.

Algoritmo de destrucción de la solución.

```
For i = 1 To lista_tipo_vehiculo._num_tipo_vehiculo
```

```
    For j = 1 To lista_tipo_vehiculo.tipo_vehiculo(i).num_disponible
```

```
        For k = 1 To actual.contador_nodo_ruta(i, j)
```

```
            If k <= actual.contador_nodo_ruta(i, j) Then
```

```
                If Rnd() < tasa_remocion Then
```

```
                    Call QuitarNodo(actual, i, j, k)
```

```
                End If
```

```
            End If
```

```
        Next k
```

```
    Next j
```

```
Next i
```

Nota: Fragmento de código para algoritmo de remoción de nodos. Adaptado del código diseñado por Erdogan (2013)

El método de inserción es a partir de un aleatorio que escoge un nodo de los candidatos removidos previamente, sucesivamente hasta que no quedan nodos libres por agregar en una solución viable.

9.5.4 Mejoramiento de la solución. El mejoramiento de la solución se da a partir de 4 técnicas diferentes; relocalización de nodos, intercambio de nodos en rutas, intercambio de vehículos en rutas y 2-optimización. El código utilizado para estas técnicas de solución es extenso, por lo cual se invita al lector a realizar la búsqueda apropiada en la literatura recomendada en las referencias bibliográficas.

9.6 Programación en HTML/CSS/JavaScript

A partir de la solución generada por el aplicativo en Microsoft Excel, se transfiere la siguiente información al aplicativo web:

- Tipo de vehículo
- Coordenadas Latitud/Longitud (Lat/Lng) de origen y destino
- Coordenadas Latitud/Longitud (Lat/Lng) de clientes

Esta información es necesaria para lograr su visualización. Se utiliza un acceso estándar Open DataBase Connectivity ODBC para extraer la información desde la hoja de cálculo a una base de datos en PostgreSQL y posteriormente se envía esta información a la aplicación web diseñada para conectar con el servicio de geolocalización de Google Maps.

Tabla 24.
Información de Ruta de un vehículo.

Parada	ID de Lugar	Latitud (y)	Longitud (x)	Distancia Recorrida (Km)
0	0	7,148355	-73,1305859	0,00
1	10	7,120638	-73,1186524	5,53
2	11	7,1202926	-73,1352493	8,04
3	12	7,1248112	-73,1267557	9,60
4	7	7,0991049	-73,1303101	13,15
5	8	7,1217234	-73,1264237	16,31
6	9	7,1315777	-73,1320438	18,51
7	0	7,148355	-73,1305859	22,28

Nota: Información suministrada a la base de datos PostgreSQL para su posterior representación gráfica. Obtenido de la interfaz de conexión con base de datos PostgreSQL de la herramienta para solución de ruteo de Espumas Santander S.A.S.

9.7 Herramienta de ruteo.

A partir de estos dos elementos, los algoritmos de procesamiento de los datos en Microsoft Excel y la interfaz gráfica en HTML/CSS/JavaScript, se obtiene la herramienta de ruteo de vehículos que se tiene como resultado esperado del presente documento. La herramienta consta de las siguientes características:

Especificaciones de clientes: La herramienta permite almacenar datos de nombre, coordenadas, ventanas de tiempo, demanda de producto y tipo de cliente.

Tabla 25.

Especificaciones de los clientes.

ID de lugar	Latitud (y)	Longitud (x)	Hora apertura (hh:mm)	Hora cierre (hh:mm)	¿Debe visitarse?	Tiempo de servicio (hh:mm)	Volumen demanda (m ³)
0	7,1483550	-73,1305859	07:00	18:59	Inicial	0:00	0
1	7,1250256	-73,1157129	08:00	17:59	Visitar	0:03	0,87
2	7,1483550	-73,1305859	08:00	17:59	Visitar	0:05	2,99
3	7,0909740	-73,1370290	08:00	17:59	Visitar	0:13	3,92
4	7,0763323	-73,0875180	08:00	17:59	Visitar	0:10	2,86
5	6,9866344	-73,0518795	08:00	17:59	Visitar	0:09	1,92
6	7,1443330	-73,1359090	08:00	17:59	Visitar	2:33	76,57
7	7,0991049	-73,1303101	08:00	17:59	Visitar	0:23	6,85
8	7,1217234	-73,1264237	08:00	17:59	Visitar	0:24	7,01
9	7,1315777	-73,1320438	08:00	17:59	Visitar	0:32	9,32
10	7,1206380	-73,1186524	08:00	17:59	Visitar	0:15	3,04
11	7,1202926	-73,1352493	08:00	17:59	Visitar	0:26	5,36
12	7,1248112	-73,1267557	08:00	17:59	Visitar	0:22	6,50
13	7,1215310	-73,1260800	08:00	17:59	Visitar	0:18	5,14
14	7,1179412	-73,1273368	08:00	17:59	Visitar	0:15	3,08
15	7,1214120	-73,1260600	08:00	17:59	Visitar	0:16	4,57

Nota: Tabla donde se almacena información de los clientes para el ruteo de vehículos. La variable “Tipo de cliente” se encuentra implícita en el tiempo de servicio. Nombres y direcciones de los clientes fueron omitidos para proteger su identidad. Obtenido de la interfaz de especificación de características de clientes de la herramienta para solución de ruteo de Espumas Santander S.A.S.

Especificación de vehículos: Permite almacenar el numero deseado de vehículos para realizar la distribución. Almacena datos de capacidad, ventanas de tiempo de trabajo (si aplican), costo de activación y distancia máxima recorrida.

Pantalla de solución: En esta interfaz, el usuario puede ajustar una solución inicial para arrancar el modelo *en caliente*, si se ignora este paso, el programa inicializa las variables y genera una solución inicial propia, como se observa en la Tabla 21.

Visualización de los datos: La visualización se da a partir de la conexión de los datos de solución con la aplicación web que genera el entorno grafico gracias a Google Maps; desde esta interfaz el usuario puede observar las rutas diseñadas para cada vehículo, y observar la posición de cada uno de los lugares a visitar mediante marcadores ubicados en el mapa en cada punto por donde recorren la ruta los vehículos.

Tabla 26.

Especificaciones de los vehículos.

Tipo	Capacidad (C_{est})	Costo por viaje (COP\$)	Inicio de trabajo (hh:mm)	Tiempo límite de manejo (hh:mm)	Tiempo límite de trabajo (hh:mm)	Bodega de retorno	Cantidad de vehículos
						Espumas	
1	69,36	31747,91	08:00	9:00	10:00	Santander S.A.S.	1
						Espumas	
2	59,11	16147,76	08:00	9:00	10:00	Santander S.A.S.	1
						Espumas	
3	54,01	26872,88	08:00	9:00	10:00	Santander S.A.S.	1
						Espumas	
4	90,27	55291,67	08:00	9:00	10:00	Santander S.A.S.	1
						Espumas	
5	18,07	9697,72	08:00	9:00	10:00	Santander S.A.S.	1

Nota: Tabla donde se almacena información esencial de los vehículos para el ruteo. C_{est} es la medida de un colchón de 140 x 190 x 024 cm, medida estándar para la carga manejada en Espumas Santander, que influye en el tiempo de servicio. Obtenido de la interfaz de especificación de características de vehículos de la herramienta para solución de ruteo de Espumas Santander S.A.S.

10. Resultados

La comparación y análisis de resultados parte de comparar una instancia de un ruteo realizado por la sección de Despachos de Espumas Santander, asignando los valores usados en esa oportunidad como variables de solución inicial del modelo, y ejecutando los algoritmos de solución en aras de conseguir una mejora en la distancia recorrida por los vehículos. Las características generales de la instancia a probar fueron:

- Programación de 15 clientes únicos para distribuir mercancía, con ventanas de tiempo y demandas iguales.
- Un único deposito: La planta principal de Espumas Santander funcionó como origen y destino de las rutas.
- 5 tipos diferentes de vehículos, 1 vehículo por tipo.
- Todos los clientes debían ser visitados, ninguno pudo ser visitado más de una vez a lo sumo.
- Toda la mercancía debía ser entregada, no debían quedar volúmenes de pedido que se quedasen para otro día.

A partir de estos parámetros iniciales se alimenta la información suministrada por las planillas de despachos de cada vehículo, donde se registra la ruta en orden que tomó cada vehículo para realizar su distribución urbana y se utiliza como solución inicial del modelo. Las tablas 24-26

muestran en detalle la secuencia de paradas y visitas para cada vehículo, según la programación de rutas realizada por el área de Despachos:

Tabla 27.
Programación de ruta para vehículo SSY 003 según área de Despachos.

Parada	ID de Lugar	Latitud (y)	Longitud (x)	Distancia recorrida acumulada (Km)
0	0	7,148355	-73,1305859	0,00
1	10	7,120638	-73,1186524	5,53
2	11	7,1202926	-73,1352493	8,04
3	12	7,1248112	-73,1267557	9,60
4	7	7,0991049	-73,1303101	13,15
5	8	7,1217234	-73,1264237	16,31
6	9	7,1315777	-73,1320438	18,51
7	0	7,148355	-73,1305859	22,28

Nota: Adaptado de la interfaz de solución de la herramienta Excel de solución de ruteo para Espumas Santander S.A.S.

Tabla 28.

Programación de ruta para vehículo SUD 619 según área de Despachos.

Parada	ID de Lugar	Latitud (y)	Longitud (x)	Distancia recorrida acumulada (Km)
0	0	7,148355	-73,1305859	0,00
1	13	7,121531	-73,12608	5,39
2	14	7,1179412	-73,1273368	6,53
3	15	7,121412	-73,12606	7,10
4	5	6,9866344	-73,0518795	26,99
5	3	7,090974	-73,137029	49,13
6	4	7,0763323	-73,087518	58,55
7	1	7,1250256	-73,1157129	66,89
8	2	7,148355	-73,1305859	72,48
9	0	7,148355	-73,1305859	72,48

Nota: Adaptado de la interfaz de solución de la herramienta Excel de solución de ruteo para Espumas Santander S.A.S.

Tabla 29.

Programación de ruta para vehículo TTT 609 según área de Despachos.

Parada	ID de Lugar	Latitud (y)	Longitud (x)	Distancia recorrida acumulada (Km)
0	0	7,148355	-73,1305859	0,00
1	6	7,144333	-73,135909	1,74
2	0	7,148355	-73,1305859	3,48

Nota: Adaptado de la interfaz de solución de la herramienta Excel de solución de ruteo para Espumas Santander S.A.S.

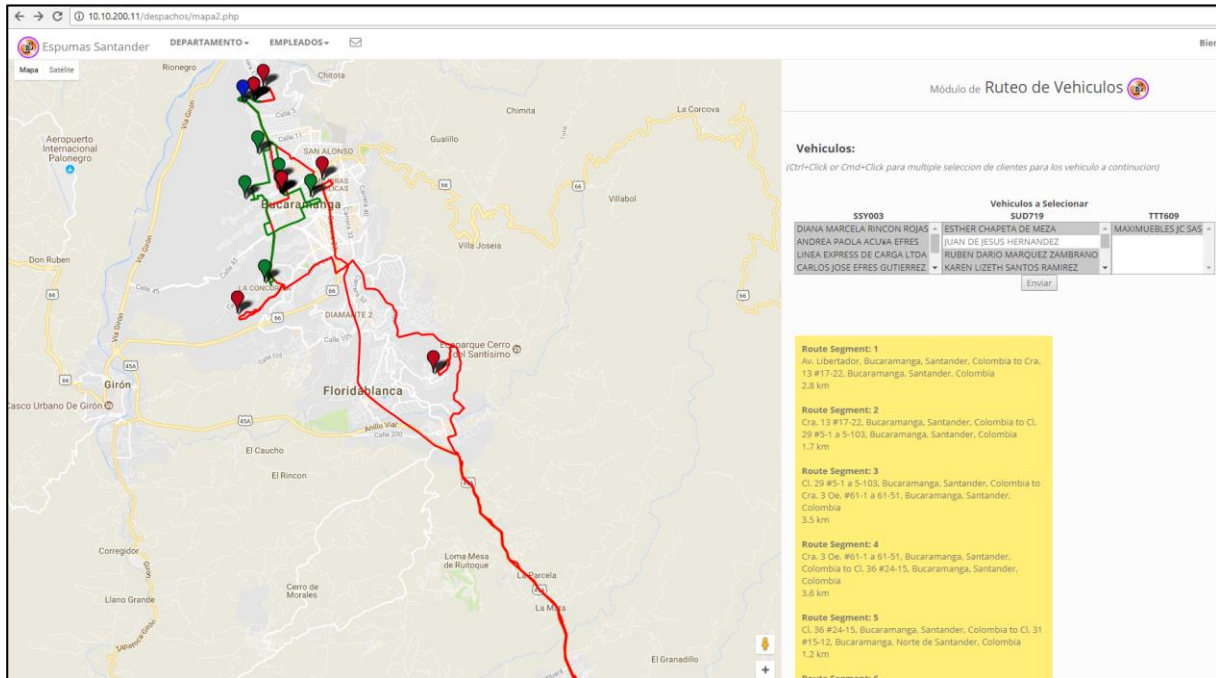


Figura 13. Solución inicial programada por área despachos. Nota: Obtenido de la pantalla de representación gráfica del módulo de ruteo desarrollado para Espumas Santander S.A.S.

El total de distancia recorrida entre los tres vehículos suma 98,24 kilómetros; Al ejecutar la técnica de solución con esta solución inicial, la herramienta obtiene la siguiente programación de rutas:

Tabla 30. Programación de ruta para vehículo TTT 609 según herramienta de ruteo.

Parada	ID de Lugar	Latitud (y)	Longitud (x)	Distancia recorrida acumulada (Km)
0	0	7,148355	-73,1305859	0,00
1	9	7,1315777	-73,1320438	3,49
2	6	7,144333	-73,135909	5,52
3	0	7,148355	-73,1305859	7,26

Nota: Adaptado de la interfaz de solución de la herramienta Excel de solución de ruteo para Espumas Santander S.A.S.

Tabla 31.

Programación de ruta para vehículo SUD 719 según herramienta de ruteo.

Parada	ID de Lugar	Latitud (y)	Longitud (x)	Distancia recorrida acumulada (Km)
0	0	7,148355	-73,1305859	0,00
1	2	7,148355	-73,1305859	0,00
2	11	7,1202926	-73,1352493	5,25
3	7	7,0991049	-73,1303101	8,42
4	3	7,090974	-73,137029	10,69
5	5	6,9866344	-73,0518795	30,58
6	4	7,0763323	-73,087518	45,40
7	14	7,1179412	-73,1273368	53,77
8	15	7,121412	-73,12606	54,35
9	13	7,121531	-73,12608	54,36
10	8	7,1217234	-73,1264237	54,43
11	1	7,1250256	-73,1157129	56,27
12	10	7,120638	-73,1186524	57,18
13	12	7,1248112	-73,1267557	58,55
14	0	7,148355	-73,1305859	63,31

Nota: Adaptado de la interfaz de solución de la herramienta Excel de solución de ruteo para Espumas Santander S.A.S.

De la programación resultante se observa que el algoritmo integró las rutas del vehículo SSY 003 en las rutas de los vehículos SUD 719 y TTT 609, reduciendo considerablemente la distancia total recorrida de la programación; la programación resultante recorre una distancia total de 70,57 Kilómetros, reduciendo así la distancia recorrida en 27,66 kilómetros o 28,2% de la distancia inicial.

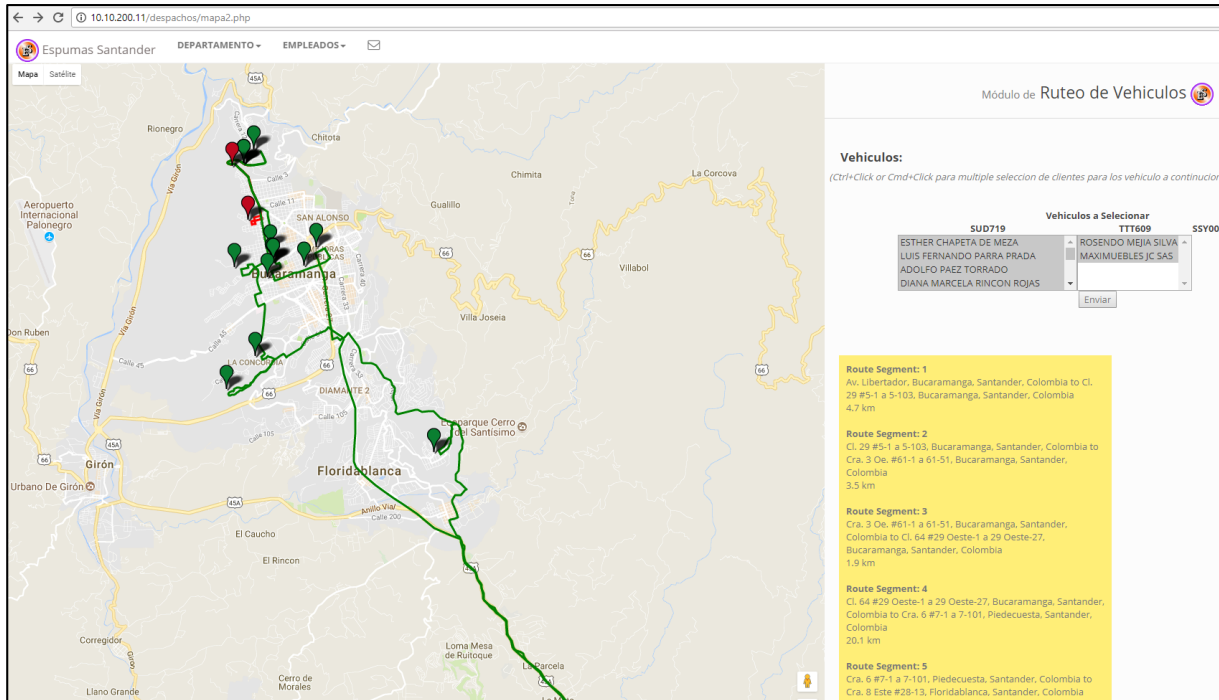


Figura 14. Solución final calculada por la herramienta de solución. Nota: Obtenido de la pantalla de representación gráfica del módulo de ruteo desarrollado para Espumas Santander S.A.S.

11. Conclusiones

- A partir de los resultados de la herramienta se planteó la realización de una evaluación de recorridos con los conductores, la jefa del área de Despachos y la Gerencia de Planta, para intentar determinar prácticas que conduzcan a un mejor resultado en la programación de rutas urbanas y así reducir gastos operativos mientras se aumenta el nivel de servicio.
- La heurística de ahorros utilizada permite conseguir soluciones iniciales básicas para que el algoritmo metaheurístico de solución inicie su proceso; sin embargo, el usuario puede proponer sus propias soluciones iniciales al modificar los parámetros manualmente y así elaborar comparativos entre rutas planeadas por experiencia empírica en la operación y el procesamiento de la herramienta.
- La metaheurística ALNS es considerada como una hiperheurística puesto que se encarga de seleccionar de un banco de heurísticas implícitas en su programación para escoger la más adaptable al proceso actual, y se programa de tal modo que aplique un puntaje a las técnicas que reporten mejores soluciones. El autor expresa deseos de profundizarla.
- Gracias al resultado de la programación realizada, la gerencia de la compañía decidió utilizar la herramienta como apoyo a la gestión del área de despachos, a modo de herramienta de control interno, y dejó clara la intención de implementar mejoras y funcionalidades adicionales a la herramienta, por medio de futuros proyectos.
- El diagnóstico realizado a la sección de despachos de mercancía permitió revelar los principales problemas que existían en el proceso de distribución; gracias a los hallazgos

de los porcentajes de entregas no perfectas debido a no conformidades, la gerencia de planta decidió realizar un seguimiento de las entregas para intentar reducir estos porcentajes en el futuro.

- La reducción del 28% en las distancias recorridas por los vehículos gracias a la solución hallada por la herramienta de ruteo de vehículos permitió a la gerencia iniciar la construcción de indicadores para controlar las distancias recorridas por los vehículos y detectar oportunidades para mejorar en la programación de rutas.

12. Recomendaciones

Con la finalidad de dejar pautas para la mejora del proceso de distribución urbana en Espumas Santander S.A.S., se ofrecen las siguientes recomendaciones:

- Asegurar dentro de las responsabilidades del cargo de ingeniero desarrollador, el mejoramiento continuo de la plataforma tecnológica de la compañía, esto con el fin de tener personal capacitado en programación para poder desarrollar con agilidad proyectos que involucren programación en entornos web, aplicativos móviles y soporte a proyectos interdisciplinarios, como el presente proyecto, que requirió de una gran inversión intelectual para llevarse a término.
- Reforzar el plan de mejoramiento continuo que mantiene la empresa, pues gracias a este plan se permite el desarrollo de proyectos que apuntan a innovar en procesos que la compañía necesita para mantenerse a la vanguardia en todos los aspectos. La gerencia de planta actual es la abanderada de la innovación tecnológica en Espumas Santander, por lo cual se recomienda atender esta sugerencia.
- Crear el cargo de auxiliar de ruteo, para tener una persona involucrada de tiempo completo en el uso del aplicativo y su posterior análisis para realizar retroalimentación y mejoras a la herramienta, para el beneficio de la sección despachos y la gerencia de planta.
- Se recomienda mantener las reuniones de evaluación de recorridos con el área de despachos, para detectar problemas sistemáticos susceptibles de mejora, e inclusive para

obtener sugerencias que conlleven al mejoramiento de los procesos de distribución de mercancía.

Referencias bibliográficas

- Antún, J. P. (2013). Distribución urbana de mercancías: Estrategias con centros logísticos. Inter-American Development Bank, p. 2.
- Arias-Rojas, J. S., Jiménez, J. F., & Montoya-Torres, J. R. (2012). Solving of school bus routing problem by ant colony optimization. *Revista EIA*, (17), 193-207.
- Ballou, R. (2004). Logística, Administración de la Cadena de Suministros. México: Pearson Educación, pags.219, 225, 232, 233, 234.
- Ballou, R. H., & Agarwal, Y. K. (1988). A Performance Comparison of Several Popular Algorithms For. *Journal of Business logistics*, 9(1), 51. Schrijver, Alexander, 2006. A Course in Combinatorial Optimization
- Bassford, C. (1993). "Jomini and Clausewitz: Their Interaction." Artículo presentado en el 23° encuentro del consorcio sobre Europa Revolucionaria en la Georgia State University, 26 February 1993.
- Ben Mohamed, I., Klibi, W., Labarthe, O., Deschamps, J. C., & Babai, M. Z. (2017). Modelling and solution approaches for the interconnected city logistics. *International Journal of Production Research*, 55(9), 2664-2684.
- Bermeo Muñoz, E. A., & Calderón Sotero, J. H. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El hombre y la máquina*, (32).
- Bertsimas, D. J. (1992). A vehicle routing problem with stochastic demand. *Operations Research*, 40(3), 574-585.
- Bodin, L., Golden, B., Assad, A., & Ball, M. (1981). The state of the art in the routing and scheduling of vehicles and crews (No. UMTA-MD-11-0004-81-2Final Rpt.).

- Chai, H., He, R. -, Ma, C. X., & Dai, C. -. (2016). A univariate marginal distribution algorithm hybridized with insertion heuristics for the vehicle routing problem with hard time windows. *Jiaotong Yunshu Xitong Gongcheng Yu Xinxi/Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 16(2), 176-182. Retrieved from www.scopus.com
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*, 12(4), 568-581.
- Diaz, B. D. (2012). Vrp web. Disponible en: <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/Web-VRP>.
- Erdogan, G. (2013). VRP spreadsheet solver.
- Escobar, J. W., & Linfati, R. (2012). Un algoritmo metaheurístico basado en recocido simulado con espacio de búsqueda granular para el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad. *Revista Ingenierías Universidad De Medellín*, 11(21), 139-150.
- Espumas Santander S.A.S. (2015), Capacidad Área De Despachos Y Propuesta De Distribución De Planta. Disponible en formato digital en Espumas Santander S.A.S.
- Ferrel O.C.; Hirt, G.; Ramos, L.; Adriaenséns, M.; Flores, M. A. (2004). *Introducción a los Negocios en un Mundo Cambiante*, Cuarta Edición, Mc Graw Hill, Pág. 282.
- Fincowsky, E. B. F., & Enrique, B. (2009). *Organización de empresas*. McGraw-Hill Interamericana.
- Flores Arriaga, J. Indicadores de servicio al cliente. Órdenes perfectas [en línea]. <<http://www.gestiopolis.com/indicadores-de-servicio-al-cliente-ordenes-perfectas/>> [Consultado el 24 de noviembre de 2016].

- Granados, D. A. (2011). Diseño e implementación de un modelo para la asignación de rutas escolares en la cooperativa multiactiva claveriana LTDA “COMULCLAVER”. Trabajo de Grado para obtener el título de Ingeniera Industrial. Universidad Industrial De Santander.
- Jacobs-Blecha, C. D., & Goetschalckx, M. (1992). The Vehicle Routing Problem with Backhauls: Properties and Solution Algorithms. Material Handling Research Center, Georgia Institute of Technology.
- Lamb, C., Hair, J., McDaniel, C. (2002). Marketing, Sexta Edición, International Thomson Editores S.A., Pág. 383.
- Linfati, R., Escobar, J. W., & Gatica, G. (2014). Un algoritmo metaheurístico para el problema de localización y ruteo con flota heterogénea. *Ingeniería y Ciencia*, 10(19), 55-76.
- Lozada, A., Gonzalez, R. A. (2012). Solución del problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo. (En línea) Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5501/2/144179.pdf>
- Montané, F. A. T., & Galvao, R. D. (2006). A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service. *Computers & Operations Research*, 33(3), 595-619.
- Nagy, G., & Salhi, S. (2005). Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. *European journal of operational research*, 162(1), 126-141.
- Ochoa, O. H., Mayorga, O., & Navarro, A. (2016). The design of the logistics operation of food distribution in different localities in the south of Bogotá based on a multistage model doi:10.1007/978-3-319-40506-3_12

- Osorio, J. A. (2012). Optimización aplicada a un problema de recolección de residuos industriales. *Gerencia Tecnológica Informática*, 11(29), 25-33.
- Paraskevopoulos, D. C., Repoussis, P. P., Tarantilis, C. D., Ioannou, G., & Prastacos, G. P. (2008). A reactive variable neighborhood tabu search for the heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows. *Journal of Heuristics*, 14(5), 425-455.
- Patiño Chirva, J. A., Daza Cruz, Y. X., & Ramiro Lopez-Santana, E. (2016). A Hybrid Mixed-Integer Optimization and Clustering Approach to Selective Collection Services Problem of Domestic Solid Waste. *Ingeniería (0121-750X)*, 21(2), 235-247.
- Peressini, A. L., Sullivan, F. E., & Uhl, J. J. (1988). *The mathematics of nonlinear programming* (pp. 10-13). New York: Springer-Verlag.
- Pisinger, D., & Ropke, S. (2007). A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & operations research*, 34(8), 2403-2435.
- Puenayán, D. E., Londoño, J. C., Escobar, J. W., & Linfati, R. (2014). Un algoritmo basado en búsqueda tabú granular para la solución de un problema de ruteo de vehículos considerando flota heterogénea. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 81-98.
- Real Academia Española. (2001). Logístico, ca. En *Diccionario de la lengua española* (22.a ed.). Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=NZJWMiV>
- Rodrigue, J. P., Comtois, C., & Slack, B. (2009). *The geography of transport systems*. Routledge.
- Shah, N., et al. (2011). Optimization models for assessing the peak capacity utilization of intelligent transportation systems. *European Journal of Operational Research*. 216. 239-251.

Soonpracha, K., Mungwattana, A., Janssens, G. K., & Manisri, T. (2014). Heterogeneous VRP review and conceptual framework. Newswood Limited.

Szczepański, E. (2012). Selected aspects of multi-criteria decision support in transport service in urban areas. Paper presented at the Congress Proceedings - CLC 2012: Carpathian Logistics Congress, 660-667. Retrieved from www.scopus.com

Toro H., Ángela María. Planeación de rutas de vehículos en sistemas con flota privada y pública. 2013. Trabajo de Maestría, Universidad EAFIT, Colombia.

Apéndices**Apéndice A. Descripción de la empresa**

ASPECTO A EVALUAR	CONTENIDO
Objeto Social de la empresa	ESPUMAS SANTANDER S.A.S.
Número de empleados directos	140 empleos directos
Número de empleados indirectos	22 indirectos
Número de empleados en el área del proyecto donde se desarrollará la práctica	15
Número de cargos	18
Organigrama de la empresa	APENDICE B
Mapa de procesos	APENDICE C
Procesos involucrados en el proyecto	1. Despachos
Ingresos o ventas del último mes (Pesos)	1965'000.000

Apéndice B. Organigrama de la empresa

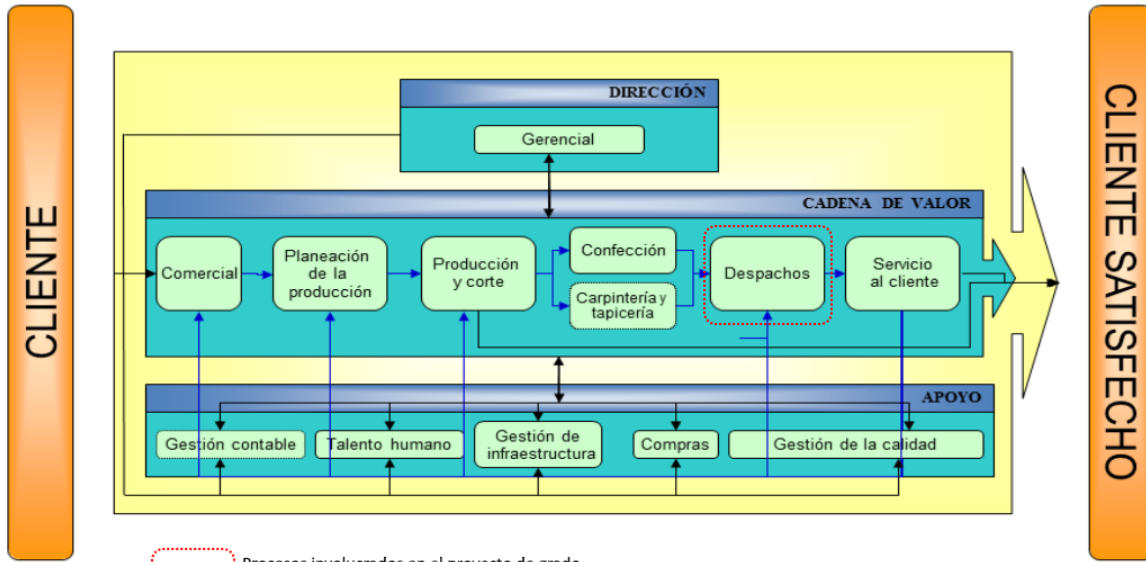


Apéndice C. Mapa de procesos de Espumas Santander S.A.S.



MAPA DE PROCESOS

CODIGCO:OGC-01	VERSION:2
03/10/07	Hoja: 1de1



Apéndice D. Clientes Pareto Espumas Santander

Cod_Cliente	Ciudad	Latitud	Longitud
1460	Bucaramanga/stder	7,1250256	-73,1157129
3399	Bucaramanga/stder	7,1387071	-73,1295477
1467	Bucaramanga/stder	7,1163252	-73,1248579
2669	Bucaramanga/stder	7,1201555	-73,1217592
291	Bucaramanga/stder	7,1248112	-73,1267557
1270	Piedecuesta/stder	6,9862668	-73,0525063
1804	Bucaramanga/stder	7,1202926	-73,1352493
2637	Bucaramanga/stder	7,143595	-73,135071
347	Bucaramanga/stder	7,11659	-73,12664
870	Bucaramanga/stder	7,1321605	-73,1290943
2383	Bucaramanga/stder	7,126102	-73,1266623
2339	Bucaramanga/stder	7,121286	-73,125972
802	Bucaramanga/stder	7,121642	-73,12612
212	Bucaramanga/stder	7,1215319	-73,1267819
1980	Bucaramanga/stder	7,1164953	-73,1312377
1902	Bucaramanga/stder	7,1390163	-73,1345335
2318	Piedecuesta/stder	6,9874679	-73,0473246
862	Bucaramanga/stder	7,145402	-73,125967
1741	Bucaramanga/stder	7,0991049	-73,1303101
1563	Piedecuesta/stder	6,9831441	-73,0489678
1790	Bucaramanga/stder	7,1192969	-73,1304651
2584	Bucaramanga/stder	7,1202527	-73,1199071
1767	Bucaramanga/stder	7,1205421	-73,1189175

Cod_Cliente	Ciudad	Latitud	Longitud
2788	Bucaramanga/stder	7,1316937	-73,1345049
214	Bucaramanga/stder	7,1163252	-73,1248579
295	Bucaramanga/stder	7,121389	-73,1277339
2668	Bucaramanga/stder	7,1130336	-73,1142464
2780	Bucaramanga/stder	7,1208477	-73,1256349
471	Bucaramanga/stder	7,1173912	-73,1112272
701	Bucaramanga/stder	7,120638	-73,1186524
4652	Bucaramanga/stder	7,1208928	-73,1179518
5042	Bucaramanga/stder	7,0980189	-73,1089799
1511	Bucaramanga/stder	7,116291	-73,1236501
3115	Bucaramanga/stder	7,1183978	-73,1238609
997	Piedecuesta/stder	6,9862731	-73,0524918
1877	Bucaramanga/stder	7,142952	-73,134411
976	Bucaramanga/stder	7,1177268	-73,1243531
359	Bucaramanga/stder	7,1009818	-73,1326424
2560	Bucaramanga/stder	7,121009	-73,125865
1828	Floridablanca/stder	7,0624289	-73,0846232
776	Piedecuesta/stder	6,9862157	-73,051697
1000	Bucaramanga/stder	7,148355	-73,1305859
73	Bucaramanga/stder	7,121531	-73,12608
1097	Bucaramanga/stder	7,138344	-73,129049
801	Bucaramanga/stder	7,115472	-73,1227262
458	Bucaramanga/stder	7,1163252	-73,1248579
5327	Bucaramanga/stder	7,1302273	-73,1291026
490	Girón/stder	7,048702	-73,165577
469	Bucaramanga/stder	7,1234371	-73,1225815
869	Piedecuesta/stder	6,9872048	-73,0507035

Cod_Cliente	Ciudad	Latitud	Longitud
1381	Bucaramanga/stder	7,124195	-73,1188577
1109	Bucaramanga/stder	7,135678	-73,123002
349	Piedecuesta/stder	6,9890833	-73,0500372
1818	Floridablanca/stder	7,0763323	-73,087518
1479	Bucaramanga/stder	7,128616	-73,156309
208	Bucaramanga/stder	7,1197959	-73,1211661
5623	Bucaramanga/stder	7,118115	-73,131068
1539	Bucaramanga/stder	7,1067153	-73,0967449
1670	Bucaramanga/stder	7,1081747	-73,1148828
1033	Bucaramanga/stder	7,1220648	-73,1195559
1382	Piedecuesta/stder	6,9828603	-73,0501934
2675	Bucaramanga/stder	7,1278713	-73,1239863
3264	Bucaramanga/stder	7,1304034	-73,1313191
1806	Bucaramanga/stder	7,1234371	-73,1225815
2466	Bucaramanga/stder	7,117479	-73,124391
1773	Bucaramanga/stder	7,121602	-73,126088
1587	Bucaramanga/stder	7,1112157	-73,1209992
1423	Bucaramanga/stder	7,1387071	-73,1295477
130	Piedecuesta/stder	6,9842652	-73,050878
4676	Bucaramanga/stder	7,1179412	-73,1273368
2169	Piedecuesta/stder	6,9866344	-73,0518795
1580	Piedecuesta/stder	6,9889282	-73,048226
4065	Bucaramanga/stder	7,1206412	-73,1260826
1095	Bucaramanga/stder	7,1360733	-73,1259629
202	Bucaramanga/stder	7,1269621	-73,131933
796	Bucaramanga/stder	7,1174624	-73,1235287
897	Bucaramanga/stder	7,1203264	-73,1196453

Cod_Cliente	Ciudad	Latitud	Longitud
2369	Girón/ster	7,0598063	-73,1700902
268	Bucaramanga/ster	7,1217234	-73,1264237
4850	Bucaramanga/ster	7,090974	-73,137029
330	Piedecuesta/ster	6,9838241	-73,0515894
3442	Bucaramanga/ster	7,1163252	-73,1248579
2216	Bucaramanga/ster	7,1208037	-73,1257428
1947	Piedecuesta/ster	6,9830571	-73,0503062
5090	Bucaramanga/ster	7,119476	-73,1265822
1531	Bucaramanga/ster	7,1099009	-73,1236019
1765	Bucaramanga/ster	7,1099009	-73,1236019
146	Bucaramanga/ster	7,1159804	-73,1255842
3263	Bucaramanga/ster	7,1329213	-73,1339294
2655	Bucaramanga/ster	7,1220408	-73,1262497
2849	Floridablanca/ster	7,0584437	-73,0937857
2549	Bucaramanga/ster	7,120445	-73,1239192
2596	Bucaramanga/ster	7,121275	-73,125994
678	Bucaramanga/ster	7,1321605	-73,1290943
3212	Bucaramanga/ster	7,1207721	-73,134507
2	Bucaramanga/ster	7,148355	-73,1305859
1518	Piedecuesta/ster	6,9846148	-73,0528712
2226	Bucaramanga/ster	7,084216	-73,1118737
1160	Bucaramanga/ster	7,1222546	-73,1263204
2340	Piedecuesta/ster	6,9892524	-73,047418
1032	Floridablanca/ster	7,079599	-73,086016
1276	Bucaramanga/ster	7,148999	-73,131404
4621	Bucaramanga/ster	7,144333	-73,135909
1112	Bucaramanga/ster	7,121009	-73,125865

Cod_Cliente	Ciudad	Latitud	Longitud
895	Bucaramanga/stder	7,1163252	-73,1248579
833	Floridablanca/stder	7,0634151	-73,0847172
885	Bucaramanga/stder	7,1220867	-73,1262648
1285	Bucaramanga/stder	7,0821198	-73,1444567
437	Piedecuesta/stder	6,988983	-73,045056
2543	Bucaramanga/stder	7,1172205	-73,1234268
2765	Bucaramanga/stder	7,127526	-73,1242964
2021	Bucaramanga/stder	7,1407865	-73,1322693
360	Piedecuesta/stder	6,9855595	-73,0523505
1390	Girón/stder	7,0716418	-73,1695645
290	Floridablanca/stder	7,0591736	-73,0851183
2810	Bucaramanga/stder	7,1215319	-73,1267819
1888	Bucaramanga/stder	7,1209799	-73,1253113
4642	Bucaramanga/stder	7,121165	-73,125936
4901	Bucaramanga/stder	7,089671	-73,090545
1418	Bucaramanga/stder	7,1305854	-73,133549
383	Bucaramanga/stder	7,1315777	-73,1320438
2017	Bucaramanga/stder	7,121412	-73,12606
1574	Piedecuesta/stder	6,983258	-73,0508954
1410	Girón/stder	7,057994	-73,162289
998	Bucaramanga/stder	7,1220648	-73,1195559
3927	Bucaramanga/stder	7,1210987	-73,1258596
986	Piedecuesta/stder	6,9848461	-73,0515229
1750	Girón/stder	7,0733826	-73,1680861
1468	Bucaramanga/stder	7,1163252	-73,1248579
2188	Bucaramanga/stder	7,1289156	-73,1189089
2291	Bucaramanga/stder	7,1198725	-73,125453

Cod_Cliente	Ciudad	Latitud	Longitud
1356	Floridablanca/stder	7,0605452	-73,0858589
1280	Bucaramanga/stder	7,121194	-73,125976
43	Bucaramanga/stder	7,115946	-73,1216944
1740	Girón/stder	7,048702	-73,165577
3824	Bucaramanga/stder	7,1210987	-73,1258596
1889	Bucaramanga/stder	7,1207848	-73,125789
590	Bucaramanga/stder	7,147197	-73,12345
2769	Floridablanca/stder	7,079754	-73,085933
2298	Girón/stder	7,073214	-73,16691
2061	Bucaramanga/stder	7,1165024	-73,1241591
145	Bucaramanga/stder	7,1234371	-73,1225815
2214	Bucaramanga/stder	7,1199276	-73,1253105
1420	Floridablanca/stder	7,0898649	-73,1048117
50	Bucaramanga/stder	7,1146711	-73,1291343
1862	Bucaramanga/stder	7,1203629	-73,1348387
1869	Bucaramanga/stder	7,1189418	-73,1268853
2057	Piedecuesta/stder	6,9877732	-73,0490784
846	Girón/stder	7,0734532	-73,1687431
1853	Bucaramanga/stder	7,1321605	-73,1290943
2856	Bucaramanga/stder	7,121124	-73,12592
912	Bucaramanga/stder	7,1210987	-73,1258596
1803	Bucaramanga/stder	7,1093038	-73,1182245
2159	Bucaramanga/stder	7,1170869	-73,123369
1855	Bucaramanga/stder	7,1164938	-73,1237732
2014	Bucaramanga/stder	7,121247	-73,125973
5708	Bucaramanga/stder	7,0906849	-73,1051714
4246	Bucaramanga/stder	7,117479	-73,124391

Cod_Cliente	Ciudad	Latitud	Longitud
978	Bucaramanga/stder	7,1185084	-73,1238933
2634	Bucaramanga/stder	7,1206663	-73,1185745
3023	Floridablanca/stder	7,0891413	-73,1049873
853	Piedecuesta/stder	6,988983	-73,045056

Nota: Nombres y direcciones de clientes omitidas para proteger las identidades de los clientes.

Adaptado de: informe de ventas año 2016 espumas Santander S.A.S.

Apéndice E. Informe de ventas – cuarto trimestre 2016

Referencia	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Cantidad	Cantidad Acumulada	% Pareto
140 x 190 x 024 c.ideal plus	140	190	24	1.939	1.939	9,21%
140 x 190 x 027 c.sueño dorado #2	140	190	27	801	2.740	13,01%
140 x 190 x 025 c.maxisueños fantasy gol	140	190	25	774	3.514	16,69%
100 x 190 x 014 c.lindo sueño #2 infanti	100	190	14	772	4.286	20,36%
100 x 190 x 018 c.naranja	100	190	18	750	5.036	23,92%
140 x 190 x 024 c.naranja arcoiris	140	190	24	536	5.572	26,47%
140 x 190 x 018 c.naranja	140	190	18	518	6.090	28,93%

Referencia	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Cantidad	Cantidad Acumulada	% Pareto
100 x 190 x						
020 c.lindo sueño #2 pastel	100	190	20	490	6.580	31,25%
120 x 190 x						
024 c.ideal plus	120	190	24	453	7.033	33,41%
140 x 190 x						
020 colchon lindo sueño #2 p	140	190	20	437	7.470	35,48%
100 x 190 x						
024 c.ideal plus	100	190	24	425	7.895	37,50%
120 x 190 x						
018 c.naranja	120	190	18	398	8.293	39,39%
100 x 190 x						
014 c.lindo sueño #2 pastel	100	190	14	371	8.664	41,15%
140 x 190 x						
024 c.naranja (n)	140	190	24	365	9.029	42,89%
100 x 190 x						
017 c.lindo	100	190	17	325	9.354	44,43%

Referencia	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Cantidad	Cantidad Acumulada	% Pareto
sueño #2 pastel 140 x 190 x 018 c.naranja	140	190	18	319	9.673	45,95%
arcoiris 140 x 190 x 022 colchon lindo sueño (n) 140 x 190 x 028 c.encanto de morfeo 100 x 190 x 014 c.lindo	140	190	22	318	9.991	47,46%
sueño infantil 140 x 190 x 024 c.emperatore plus 140 x 190 x 020 c.sensaflex c30	140	190	28	316	10.307	48,96%
	100	190	14	294	10.601	50,35%
	140	190	24	289	10.890	51,73%
	140	190	20	248	11.138	52,90%

Referencia	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Cantidad	Cantidad Acumulada	% Pareto
140 x 190 x 025	140	190	25	196	11.334	53,84%
c.dormiflex						
140 x 190 x 017 c.lindo	140	190	17	191	11.525	54,74%
sueño serio						
120 x 190 x 020 colchon	120	190	20	187	11.712	55,63%
lindi sueño #2						
p						
120 x 190 x 017 c.lindo	120	190	17	168	11.880	56,43%
sueño #2						
serio						
100 x 190 x 020 c.lindo	100	190	20	168	12.048	57,23%
sueño #2						
infanti						
120 x 190 x 020	120	190	20	167	12.215	58,02%
c.sensaflex						
c30						
120 x 190 x 024 c.naranja	120	190	24	166	12.381	58,81%
(n)						

Referencia	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Cantidad	Cantidad Acumulada	% Pareto
100 x 190 x 018 c.maxisueños fantasy	100	190	18	160	12.541	59,57%
100 x 190 x 018 c.real sueño	100	190	18	160	12.701	60,33%
140 x 190 x 018 c.real sueño	140	190	18	160	12.861	61,09%
100 x 190 x 017 c.dormiflex	100	190	17	157	13.018	61,83%
100 x 190 x 017 c.lindo sueño #2 infanti	100	190	17	157	13.175	62,58%
100 x 190 x 017 c.lindo sueño serio	100	190	17	156	13.331	63,32%
100 x 190 x 024 c.naranja (n)	100	190	24	152	13.483	64,04%
140 x 190 x 017 c.lindo	140	190	17	152	13.635	64,77%

Referencia	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Cantidad	Cantidad Acumulada	% Pareto
sueño #2 pastel 120 x 190 x 027 c.sueño dorado #2 120 x 190 x 022 colchon lindo sueño (n) 100 x 190 x 020 c.sensaflex c30 120 x 190 x 018 c.francoflex 140 x 190 x 018 c.francoflex 120 x 190 x 017 c.lindo sueño serio 140 x 190 x 017 c.lindo	120	190	27	152	13.787	65,49%
	120	190	22	151	13.938	66,20%
	100	190	20	150	14.088	66,92%
	120	190	18	150	14.238	67,63%
	140	190	18	150	14.388	68,34%
	120	190	17	146	14.534	69,04%
	140	190	17	146	14.680	69,73%

Referencia	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Cantidad	Cantidad Acumulada	% Pareto
sueño #2 serio 140 x 190 x 020 colchon lindo sueño #2 s	140	190	20	132	14.812	70,36%
100 x 190 x 022 colchon lindo sueño (n)	100	190	22	128	14.940	70,96%
140 x 190 x 020 c.dormiflex 120 x 190 x	140	190	20	127	15.067	71,57%
024 c.naranja arcoiris 140 x 190 x	120	190	24	120	15.187	72,14%
024 c.ideal plus especial 100 x 190 x	140	190	24	116	15.303	72,69%
028 c.encanto de morfeo 140 x 190 x	100	190	28	115	15.418	73,23%
020	140	190	20	110	15.528	73,76%

Referencia	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Cantidad	Cantidad Acumulada	% Pareto
c.sensaflex						
c30 tl mx						
100 x 190 x						
017 c.real	100	190	17	110	15.638	74,28%
sueño						
140 x 190 x						
029 c.ideal	140	190	29	107	15.745	74,79%
plus pillow						
120 x 190 x						
028 c.encanto	120	190	28	105	15.850	75,29%
de morfeo						
160 x 190 x						
024 c.ideal	160	190	24	101	15.951	75,77%
plus						
100 x 190 x						
017 c.lindo	100	190	17	98	16.049	76,23%
sueño #2						
serio						
100 x 190 x						
014 c.lindo	100	190	14	96	16.145	76,69%
sueño serio						
100 x 190 x						
024	100	190	24	96	16.241	77,14%
c.emperatore						
plus						

Referencia	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Cantidad	Cantidad Acumulada	% Pareto
100 x 190 x 017 c.lindo	100	190	17	96	16.337	77,60%
sueño infantil						
200 x 200 x 024 c.ideal	200	200	24	93	16.430	78,04%
plus						
120 x 190 x 018 c.naranja	120	190	18	92	16.522	78,48%
arcoiris						
140 x 190 x 024 c.ideal	140	190	24	88	16.610	78,90%
plus of						
sensacio						
140 x 190 x 017	140	190	17	88	16.698	79,31%
c.dormiflex						
140 x 190 x 020 c.naranja	140	190	20	85	16.783	79,72%

Modificado de: Informe de ventas Espumas Santander 2016.

Ancho Pareto	Cantidad de unidades
140	8708
100	5426
120	2455
160	101
200	93

Largo Pareto	Cantidad de unidades
190	16690
200	93

Altura Pareto	Cantidad de unidades
24	4939
18	2857
20	2301
17	1990
14	1533
25	970
27	953
22	597
28	536
29	107

Según el análisis de ancho Pareto de dimensiones de referencias, el volumen estándar para los productos se define 140 x 190 x 24 centímetros o 0,6384 metros cúbicos.

Apéndice F. Manual de usuario - Herramienta de solución VRP.

Módulo de programación de rutas – Espumas Santander S.A.S. – Manual de Usuario.

El siguiente manual es un instructivo para utilizar el módulo de programación de rutas de Espumas Santander. Este es un trabajo en constante proceso, por lo que las funcionalidades pueden y serán modificadas sin previo aviso, por favor consultar con el programador ante cualquier inquietud.

Índice:

- 1. Requisitos de Sistema**
- 2. Base de datos de clientes**
- 3. Clientes**
- 4. Matriz origen destino**
- 5. Vehículos**
- 6. Solución**
- 7. Representación.**

1. Requisitos del sistema:

Para correr este aplicativo se recomiendan las siguientes especificaciones de hardware y software:

Hardware:

Procesador mínimo 2 GHz

Memoria RAM mínimo 2 Gb

Conexión a Internet estable y constante (para el representador gráfico)

Software:

El componente de Microsoft Excel se realizó Microsoft Excel 2016, no se recomienda una versión pasada, usar bajo su propia responsabilidad.

Navegador Mozilla Firefox 54.0.1 o equivalente en Google Chrome e Internet Explorer.

2. Base de datos de clientes

Para iniciar el proceso de ruteo de vehículos, es necesario alimentar la base de datos de clientes en el aplicativo. Para realizar esto:

1. Diríjase a la hoja de cálculo Base de Datos dentro del archivo RUTEO.xls, y encontrará la tabla con los clientes alimentados en el sistema actualmente; inserte los clientes de su preferencia, completando los siguientes datos para cada uno:

- COD_CLIENTE: Es el código que el cliente tiene en el sistema integrado de Espumas Santander.

- CLIENTE – REPRESENTANTE LEGAL: El nombre o representante legal del cliente.

- DIRECCIÓN DE ENTREGA: Es la dirección a donde se va a llevar el pedido cuando se programa; debe ser precisa y adherirse a las nomenclaturas utilizadas por el servicio Google Maps.

Si no se digita correctamente, habrá que realizar la búsqueda de la ubicación del cliente directamente.

2. Ingresar el volumen (en metros cúbicos) del pedido, según los productos solicitados por el cliente, en la casilla VOLUMEN DEL PEDIDO (m3).

3. Seleccionar el tipo de cliente en la celda TIPO DE CLIENTE afectará el tiempo de servicio dedicado a ese cliente en ruta:

- Residencial: Cliente con poco espacio para descargue, entrega en un piso alto, zona urbana de alto tráfico sin parqueaderos, o cualquier situación que represente demoras máximas en el proceso de descargue.

- Comercial: Cliente con local comercial que permite mejor procedimiento de descargue de productos, zona urbana con parqueadero o con bajo tráfico.

- Bahía descargue: Cliente con amplio espacio para realizar el descargue de producto, cuenta con herramientas para la descarga de los productos, personal adicional, etc.

4. Inicio y Final ventana de tiempo: Digitar aquí la hora en formato 24 horas para establecer ventanas de operación para el servicio de un cliente determinado. (Ejemplo: 08:00 y 18:30)

Se pueden almacenar hasta 20 clientes diferentes para un ruteo de vehículos.

ID de Lugar	Nombre	Dirección	Latitud (y)	Longitud(x)	Inicio ventana de tiempo	Final Ventana de tiempo	Tiempo de servicio	Demanda de producto	Tipo de Cliente	Volumen de pedido (m3)	Cod_Cliente
0	ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	KM 2 VIA AL MAR #1-95	7,1483550	-73,1305859	07:00	18:59	0:00	0		0	1000
1		CALLE 33 # 29/33	7,1250256	-73,1157129	08:00	17:59	0:03	0,87	COMERCIAL	0,55488	1460
2		KILOMETRO 2 VIA AL MAR No. 1-95	7,1483550	-73,1305859	08:00	17:59	0:05	2,99	BAHÍA DESCARGUE	1,9062	2
3		CRA 30 W # 64 - 47	7,0909740	-73,1370290	08:00	17:59	0:13	3,92	COMERCIAL	2,5042	4850
4		CRA 8 E No. 29A - 04	7,0763323	-73,0875180	08:00	17:59	0:10	2,86	COMERCIAL	1,824	1818
5		CRA 6 # 7- 91 BRR CENTRO	6,9866344	-73,0518795	08:00	17:59	0:09	1,92	RESIDENCIAL	1,2236	2169
6		CRA 15 # 3N - 45 BRR SAN RAFAEL	7,1443330	-73,1359090	08:00	17:59	2:33	76,57	BAHÍA DESCARGUE	48,88	4621

Figura B. Interfase de Clientes.

4. Matriz Origen Destino

Una vez se tengan los clientes definidos, el usuario debe hacer clic en la pestaña complementos, y en la opción “generar plantilla de distancia”, que genera la hoja de cálculo de matriz origen destino desde donde se obtienen las distancias y tiempos de conducción para los vehículos. Cuando la plantilla se genere, el usuario debe hacer clic en la pestaña complementos, y luego clic en “Poblar distancias”, para que el aplicativo solicite a Bing Maps la información de distancias entre cada uno de los arcos creados.

Desde	Hasta	Distancia	Duración
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	0,00	0:00
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	ADOLFO PAEZ TORRADO	5,19	0:09
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	MARIO HUMBERTO GALVIS RAMIREZ	0,00	0:00
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	LUIS GUILLERMO ARIZA PEREZ	9,40	0:16
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	IMPORCREDITOS RONDI LIMITADA	13,45	0:21
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	KAREN LIZETH SANTOS RAMIREZ	23,56	0:28
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	MAXIMUEBLES JC SAS	1,74	0:02
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	CARLOS JOSE EFRES GUTIERREZ	7,42	0:13
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	LUIS FERNANDO PARRA PRADA	5,00	0:07
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	ROSENDO MEJIA SILVA	3,49	0:05
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	DIANA MARCELA RINCON ROJAS	5,53	0:09
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	ANDREA PAOLA ACUÑA EFRES	5,25	0:08
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	LINEA EXPRESS DE CARGA LTDA	4,82	0:07
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	ESTHER CHAPETA DE MEZA	5,39	0:08
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	JUAN DE JESUS HERNANDEZ	5,67	0:09
ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	RUBEN DARIO MARQUEZ ZAMBRANO	5,38	0:08

Figura C. Interfaz de matriz origen destino.

5. Vehículos

En la hoja de cálculo de vehículos se encuentran programados los vehículos actuales que utiliza Espumas Santander para su distribución urbana, desde esta hoja de cálculo se pueden modificar los parámetros de operación para los vehículos:

- Costo de activación: El usuario puede modificar el costo de utilizar un vehículo para transportar mercancía por medio de esta celda.
- Capacidad: Esta celda modifica el valor (en unidades de Colchón Estándar 140 x 190 x 024) de la capacidad de carga de cada vehículo.
- Hora de inicio de trabajo: Mediante esta celda se puede especificar la hora de inicio de labores de cada vehículo, la hora se debe registrar en formato militar de 24 horas (ejemplo 15:30 para las 3:30 P.M.).
- Límites de tiempo de trabajo y conducción: El usuario puede establecer límites al tiempo de conducción del vehículo y al tiempo de trabajo, cambiando los valores respectivos en estas celdas.
- Cantidad: El usuario puede añadir más instancias de un tipo determinado de vehículo cambiando el valor en esta celda, sea bien para simular turnos adicionales de trabajo o por si se consiguen vehículos idénticos para distribución.

Tipo vehiculo	Capacidad (C. estandar)	Costo de activación	Inicio de labores	Límite de tiempo de manejo	Límite de tiempo de trabajo	Numero de vehículos
SSY 003	69,360902	31747,91	08:00	9:00	10:00	1
SUD 719	59,116541	16147,76	08:00	9:00	10:00	1
FLN 089	54,010025	26872,88	08:00	9:00	10:00	1
TTT 609	90,272556	55291,67	08:00	9:00	10:00	1
XMD 156	18,076441	9697,72	08:00	9:00	10:00	1

Figura D. Interfaz de Vehículos

6- Solución.

En esta hoja de cálculo se pueden programar soluciones previas para iniciar la técnica de solución con una solución inicial. Para configurar una solución inicial:

- Existe un cuadro de solución por cada vehículo que contiene los siguientes parámetros:
 - Nombre Parada: En esta celda el usuario puede escoger de la lista de clientes actuales para ir programando la ruta.
 - El usuario debe colocar en orden y por cada vehículo a utilizar, la secuencia de clientes que cada vehículo va a visitar, teniendo especial cuidado de no sobrepasar los límites individuales de cada uno, tanto en capacidad de carga como en horario de trabajo. El usuario puede ir revisando estas variables conforme agrega clientes a cada vehículo, pues la tabla se actualiza instantáneamente.

Orden de parada	Nombre de Cliente	ID de Lugar	Latitud (y)	Longitud (x)	Distancia Recorrida Acumulada	Tiempo de conducción	Hora de llegada	Hora de partida	Tiempo de trabajo acumulado	Volumen entregado (C. Estandar)	Carga Actual (C. Estandar)
0	ESPUMAS SANTANDER S.A.S.		7,148355	-73,1305859	0,00	0:00		08:00	0:00	0	38,078008
1	DIANA MARCELA RINCON ROJAS	10	7,120638	-73,1186524	5,53	0:09	08:09	08:24	0:24	3,044799499	35,033208
2	ANDREA PAOLA ACUÑA EFRES	11	7,1202926	-73,1352493	8,04	0:14	08:29	08:56	0:56	5,357142857	29,676065
3	LINEA EXPRESS DE CARGA LTDA	12	7,1248112	-73,1267557	9,60	0:17	08:59	09:21	1:21	6,503446115	23,172619
4	CARLOS JOSE EFRES GUTIERREZ	7	7,0991049	-73,1303101	13,15	0:25	09:29	09:53	1:53	6,845238095	16,327381
5	LUIS FERNANDO PARRA PRADA	8	7,1217234	-73,1264237	16,31	0:32	10:00	10:25	2:25	7,005952381	9,3214286
6	ROSENDO MEJIA SILVA	9	7,1315777	-73,1320438	18,51	0:37	10:30	11:02	3:02	9,321428571	0
7	ESPUMAS SANTANDER S.A.S.	0	7,148355	-73,1305859	22,28	0:44	11:09		3:09	0	0

Figura E. Interfaz de Solución para un vehículo.

Una vez configurada la solución inicial, o por defecto si no se configuró una, el usuario puede hacer clic en la pestaña “Complementos” y el botón “Iniciar Solucionador VRP” para inicializar el algoritmo de solución del problema de ruteo, este tardará cerca de 60 segundos, dependiendo de las especificaciones técnicas del hardware.

Al finalizar el procesamiento, el aplicativo reemplazara los datos en la hoja de cálculo (en caso de una solución inicial previa) por la configuración encontrada.

7. Representación de los datos.

Cuando la solución es encontrada, el usuario debe ir a la hoja de cálculo CONEXIÓN, donde encontrara una tabla con los datos organizados de tal manera que pueden ser transferidos a la base de datos PostgreSQL, para realizar esta transferencia, el usuario debe hacer clic en el botón GRABAR DATOS, con lo cual accede a la base de datos y almacena la información que será utilizada por el entorno gráfico.

HOJA DE CONEXIÓN CON POSTGRESQL		
SSY003	7,148355	-73,1305859
SSY003	7,120638	-73,1186524
SSY003	7,1202926	-73,1352493
SSY003	7,1248112	-73,1267557
SSY003	7,0991049	-73,1303101
SSY003	7,1217234	-73,1264237
SSY003	7,1315777	-73,1320438
SUD719	7,148355	-73,1305859
SUD719	7,121531	-73,12608
SUD719	7,1179412	-73,1273368
SUD719	7,121412	-73,12606
SUD719	6,9866344	-73,0518795
SUD719	7,090974	-73,137029
SUD719	7,0763323	-73,087518
SUD719	7,1250256	-73,1157129
SUD719	7,148355	-73,1305859
TTT609	7,148355	-73,1305859
FLN089	7,148355	-73,1305859
XMD156	7,148355	-73,1305859

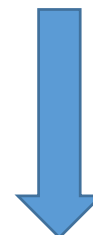
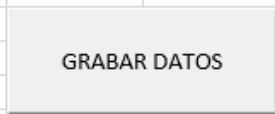


Figura F. Datos para conexión con PostgreSQL.

	id [PK] serial	placa character varying(12)	latitud character varying(30)	longitud character varying(30)	cliente character varying(60)	origen character varying(1)
1	1	ssy 003	7.120638	-73.1186524	DIANA MARCELA RINCON ROJAS	a
2	2	ssy 003	7.1202926	-73.1352493	ANDREA PAOLA ACUYA EFRES	a
3	3	ssy 003	7.1248112	-73.1267557	LINEA EXPRESS DE CARGA LTDA	a
4	4	ssy 003	7.0991049	-73.1303101	CARLOS JOSE EFRES GUTIERREZ	a
5	5	ssy 003	7.1217234	-73.1264237	LUIS FERNANDO PARRA PRADA	a
6	6	ssy 003	7.1315777	-73.1320438	ROSENDO MEJIA SILVA	a
7	7	sud 719	7.121531	-73.12608	ESTHER CHAFETA DE MEZA	a
8	8	sud 719	7.1179412	-73.1273368	JUAN DE JESUS HERNANDEZ	a
9	9	sud 719	7.121412	-73.12606	RUBEN DARIO MARQUEZ ZAMBRANO	a
10	10	sud 719	6.9866344	-73.0518795	KAREN LIZETH SANTOS RAMIREZ	a
11	11	sud 719	7.090974	-73.137029	LUIS GUILLERMO ARIZA PEREZ	a
12	12	sud 719	7.0763323	-73.087518	IMPORCREDITOS RONDI LIMITADA	a
13	13	sud 719	7.1250256	-73.1157129	ADOLFO FAEZ TORRADO	a
14	14	sud 719	7.148355	-73.1305859	MARIO HUMBERTO GALVIS RAMIREZ	a
15	15	ttt 609	7.144333	-73.135909	MAXIMUEBLES JC SAS	a
16	16	sud 719	7.148355	-73.1305859	MARIO HUMBERTO GALVIS RAMIREZ	d
17	17	sud 719	7.1202926	-73.1352493	ANDREA PAOLA ACUYA EFRES	d
18	18	sud 719	7.0991049	-73.1303101	CARLOS JOSE EFRES GUTIERREZ	d
19	19	sud 719	7.090974	-73.137029	LUIS GUILLERMO ARIZA PEREZ	d
20	20	sud 719	6.9866344	-73.0518795	KAREN LIZETH SANTOS RAMIREZ	d
21	21	sud 719	7.0763323	-73.087518	IMPORCREDITOS RONDI LIMITADA	d
22	22	sud 719	7.1179412	-73.1273368	JUAN DE JESUS HERNANDEZ	d
23	23	sud 719	7.121412	-73.12606	RUBEN DARIO MARQUEZ ZAMBRANO	d
24	24	sud 719	7.121531	-73.12608	ESTHER CHAFETA DE MEZA	d
25	25	sud 719	7.1217234	-73.1264237	LUIS FERNANDO PARRA PRADA	d
26	26	sud 719	7.1250256	-73.1157129	ADOLFO FAEZ TORRADO	d
27	27	sud 719	7.120638	-73.1186524	DIANA MARCELA RINCON ROJAS	d
28	28	sud 719	7.1248112	-73.1267557	LINEA EXPRESS DE CARGA LTDA	d
29	29	ttt 609	7.1315777	-73.1320438	ROSENDO MEJIA SILVA	d
30	30	ttt 609	7.144333	-73.135909	MAXIMUEBLES JC SAS	d
*						

Figura G. Base de datos PostgreSQL

Para acceder al entorno gráfico, el usuario debe acceder a la plataforma web de Espumas Santander, y en el módulo de Despachos, hacer clic en la opción “Ruteo”, con lo cual podrá apreciar la representación de las rutas programadas.

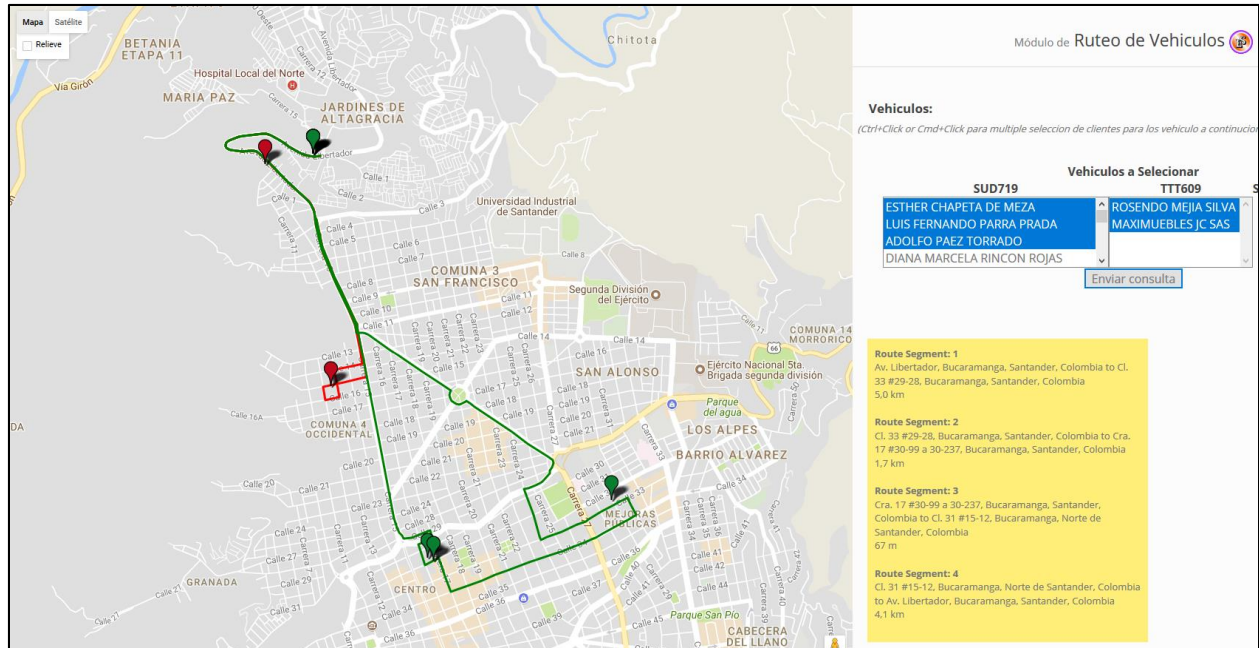


Figura H. Vista previa de representación gráfica de ruteo.