

Diseño e implementación de rutas de barrido para la empresa de aseo de Bucaramanga
EMAB S.A E.S.P.

Dauriyit Aguilar Arrieta
Sandy Paola Filomena Madero

Trabajo de Grado para Optar el Titulo de Ingeniería Industrial

Director
Javier Eduardo Arias Osorio
Magister en Administración

Tutor
Ángel Rojas Amado
Ingeniero Industrial

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas
Escuela de Estudios Industriales y Empresariales
Bucaramanga

2019

Agradecimientos

Principalmente a Dios por darnos la salud y permitirnos culminar esta etapa de nuestra vida.

A nuestras familias que, con su apoyo incondicional, su comprensión, su confianza depositada creyendo en cada decisión tomada y siendo parte clave en el desarrollo este proceso permitió culminar de la mejor manera este proyecto.

Al profesor Javier Eduardo Arias Osorio por toda la colaboración prestada a lo largo de este proceso, por su guía y tiempo.

A la Empresa de Aseo de Bucaramanga S.A. E.S.P. por la oportunidad brindada para enriquecer nuestro conocimiento y permitirnos iniciar nuestra experiencia laboral, y a nuestro tutor el Ing. Ángel Rojas Amado por su colaboración.

Tabla de Contenido

Introducción.....	15
1. Generalidades de la Empresa.....	18
1.1 Actividad Económica.....	18
1.2 Usuarios	18
2. Descripción del Proyecto.....	19
2.1. Objetivo General.....	19
2.2. Objetivos Específicos	19
2.3 Planteamiento del Problema	20
2.4 Desarrollo Metodológico	21
3. Marco de Referencia.....	22
3.1 Marco de Antecedentes	22
3.2 Marco Conceptual.....	23
3.3 Marco Teórico	27
3.3.1 Mejoramiento de Procesos.	27
3.3.2 Diseño de Rutas.	28
3.3.3 Análisis de Causas.	28
3.3.4 Análisis de Tiempos.	29
3.3.5 Optimización Matemática	29
3.3.5.1 Problemas de Rutas.	29
3.3.5.2 Problema del Rutas por Arco (ARP).	31
3.3.5.3 El Problema del Cartero Chino.....	32
3.3.5.4 El Problema del Cartero Chino en un Grafo no Dirigido (CPP).	32
4. Diagnostico General de los Procesos	35
4.1 Diagnostico Cualitativo de los Procesos	35
4.1.1 Diagnóstico Inicial del Proceso de Barrido.	36
4.1.3 Descripción del Proceso de Barrido	38
4.1.3.1 Costo del Proceso de Barrido	41
4.1.3.2 Descripción de Recepción de Peticiones, Quejas y/o Reclamos (PQR).....	42
4.1.4 Análisis Preliminar del Diagnóstico Cualitativo.	42
4.2 Diagnóstico Cuantitativo	43
4.2.1 Análisis de Causas.	46
4.2.1.1 Alto Kilometraje en la Microruta.	48
4.2.1.2 Inseguridad en la Zona.	49
4.2.1.3 Rendimiento del Operario.	49
4.2.1.4 Contaminación en la Zona.	50
4.2.1.5 Clima.	51

4.2.1.6 Tránsito en la Vía	52
4.2.2 Validación de Kilómetros Barridos por Microruta.....	54
4.2.3 Tiempos.	56
5. Análisis del diagnóstico general	57
6. Revisión de literatura.....	58
7. Formulación e Implementación de Propuestas de Mejora.....	66
7.1 Mejoramiento en la Documentación del Proceso de Barrido	66
7.1.1 Planos de Microrutas Establecidas	66
7.1.2 Formatos de Calidad con Respecto a Microrutas	66
7.1.3 Base de Datos de la Microrutas	67
7.1.4 Herramienta Pedagógica con el fin de Facilitar la Identificación de Datos del Proceso de Barrido en el Área de PQR	67
7.1.5 Actualización de los Manuales del Proceso de Barrido	69
7.2 Reestructuración en la Microrutas de Barrido	69
7.2.1 Medición de la Reestructuración de Kilómetros en Microrutas.....	70
7.2.2 Análisis de Reestructuración de Kilómetros en Microrutas.....	73
8. Diseño del Modelo de Programación Para el Barrido	74
8.1. Características del Modelo	75
8.2 Modelo Matemático.....	75
8.3 Explicación del Modelo.....	76
9. Técnica Heurísticas.....	77
9.1 Diseño de la Herramienta Informática (Algoritmo)	77
9.1.1 Criterios de Programación.....	77
9.1.2 Matriz de Recolección Binaria.	79
9.1.3 Matriz de Tiempos de Recolección.	79
9.1.4 Matriz de Tiempos de Desplazamientos.....	79
9.2 Verificación de la Herramienta Informática.....	80
9.3 Implementación de la Herramienta Informática	84
9.3.1 Resultados de la Solución Heurística	87
9.3.1.1 Solución de la Matriz de 130 Nodos	89
9.3.1.2 Solución de la Matriz de 118 Nodos.	92
9.3.1.3 Solución de la Matriz de 144 Nodos	94
10. Validación de los Resultados.....	97
10.1 Análisis de la Solución de la Herramienta.....	97
10.1.1 Resultados de la Matriz de 130 Nodos	98
10.1.2 Resultados de la Matriz de 118 Nodos	98
10.1.3 Resultados de la Matriz de 144 Nodos	99

10.2 Validación de los Resultados VS. Solución de la Herramienta Informática. (Tiempo/ Costo)	99
10.3 Reestructuración de las Microrutas VS. Resultados de la Herramienta Informática .	101
11. Conclusiones.....	103
12. Recomendaciones	104
Referencias Bibliográficas.....	105

Lista de Tablas

Tabla 1. Cumplimiento de objetivos.....	17
Tabla 2. Fases del diagnóstico del proyecto.	21
Tabla 3. Principales tipos de problemas de ruta	30
Tabla 4. Distribución de las frecuencias.....	39
Tabla 5. Kilómetros 2017	44
Tabla 6. Descripción de las causas de incumplimiento	46
Tabla 7. Datos del número de causas por incumplimiento en el primer trimestre en el año 2018	53
Tabla 8. Ecuaciones de búsqueda utilizada en las bases de datos seleccionadas	59
Tabla 9. Criterios de Exclusión	59
Tabla 10. Quejas recibidas en septiembre del 2018	71
Tabla 11. Microrutas identificadas	72
Tabla 12. Medición de tiempos de las microrutas identificadas.....	72
Tabla 13. Características del Modelo	75
Tabla 14. Organización de la secuencia de la matriz de 130 nodos	90
Tabla 15. Organización de la Secuencia de la matriz de 118 nodos	93
Tabla 16. Organización de la Secuencia de la matriz de 144 nodos	95
Tabla 17. Medición de tiempos de la matriz de 130 nodos	98
Tabla 18. Medición de tiempos de la matriz de 118 nodos	98
Tabla 19. Medición de tiempos de la matriz de 144 nodos	99
Tabla 20. Porcentajes de error de la matriz de 130	100
Tabla 21. Porcentajes de error de la matriz 118	100
Tabla 22. Porcentajes de error de la matriz de 144	101

Lista de Figuras

Figura 1. Distribución de áreas por el acuerdo de barrido.....	19
Figura 2. Distribución de las macrorutas de barrido.	36
Figura 3. Ejemplo de la ruta 4004.	38
Figura 4. Kilómetros 2017.....	45
Figura 5. Diagrama de causa y efecto	47
Figura 6. Geozona de la microruta 2054	48
Figura 7. Geozona de la microruta 1003	49
Figura 8. Geozona de la microruta 2041	50
Figura 9. Geozona de la microruta 3054	51
Figura 10. Geozona de la microruta 1014	51
Figura 11. Geozona de la microruta 1062	52
Figura 12. Diagrama de Pareto causas de incumplimiento	53
Figura 13. Plano de la microruta barrido de la ruta 3005.....	55
Figura 14. Matriz binaria de recolección.....	80
Figura 15. Matriz de recolección.....	81
Figura 16. Matriz de tiempos de desplazamiento	82
Figura 17. Solución de la herramienta.....	82
Figura 18. Ejemplo de los nodos	83
Figura 19. Ejemplo de los nodos	84
Figura 20. Ejemplo de los nodos (Matriz 144).....	86
Figura 21. Ejemplo de los nodos (Matriz 130).....	86
Figura 22. Ejemplo de los nodos (Matriz 118).....	87
Figura 23. Fase 1 del aplicativo.....	88
Figura 24. Fase 2 del aplicativo.....	89
Figura 25. Solución de la matriz de 130 nodos	90
Figura 26. Secuencia de la matriz de 130 nodos	91
Figura 27. Solución de la matriz de 118 nodos	92
Figura 28. Secuencia de la matriz de 118 nodos	93
Figura 29. Solución de la matriz de 144 nodos	94
Figura 30. Secuencia de la matriz de 144 nodos	96

Lista de Apéndice

APÉNDICE A. Información completa de cada microruta (Bello Renacer).....	40
APÉNDICE B. Información completa de cada microruta (Ciudad Brillante).....	40
APÉNDICE C. Tabla de comparación del kilometraje del software con el contrato.....	54
APÉNDICE D. Tabla de comparación del kilometraje por odómetro con el contrato.....	55
APÉNDICE E. Ejemplo de los reportes de la ruta 1054 con el GPS.....	56
APÉNDICE F. Ejemplo de un plano de una microruta.....	65
APÉNDICE G. Formato de calidad para los planos de las microrutas.....	66
APÉNDICE H. Base de datos de las microrutas.....	66
APÉNDICE I. Visor de autodesk de las microrutas.....	67
APÉNDICE J. Manual de proceso de barrido.....	68
APÉNDICE K. Base de datos de la reestructuración de las microrutas.....	69
APÉNDICE L. Matriz de 144 nodos.....	84
APÉNDICE M. Matriz de 247 nodos.....	84
APÉNDICE N. Matriz de 130 nodos.....	84
APÉNDICE O. Matriz de 118 nodos.....	84
APÉNDICE P. Solución de la matriz de 130 nodos.....	88
APÉNDICE Q. Solución de la matriz de 118 nodos.....	91
APÉNDICE R. Solución de la matriz de 144 nodos.....	93
APÉNDICE S. Manual de la herramienta informática.....	VER EN CD

Resumen

Título: Diseño e implementación de rutas de barrido para la empresa de aseo EMAB S.A E.S.P. *

Autores: Dauriyit Aguilar Arrieta

Sandy Paola Filomena Madero **

Palabras Claves: Problema de rutas por arco (ARP), Barrido de calles, algoritmo, técnica heurística, herramienta informática, optimización.

Descripción: El problema de rutas por arco consiste, básicamente, en encontrar rutas óptimas que atraviesen las aristas o/y arcos de un grafo definido como dirigidos, no dirigidos o mixtos, aplicado en casos como el barrido de calles, recolección de basuras o entregas de periódicos.

La empresa de aseo de Bucaramanga EMAB S.A E.S.P dedicada a prestar los servicios de recolección y transporte, barrido, disposición final y tratamiento de lixiviados, permitió hacer un mejoramiento del proceso de barrido e implementar una herramienta informática programada por un algoritmo basado en el problema de ruta por arco ARP, para optimizar los tiempos de recolección y desplazamientos de cada ruta.

Se inicia con una revisión de la documentación en el proceso de barrido y se desarrolla un diagnóstico evidenciando oportunidades de mejora en el proceso de barrido incluyendo las microrutas.

Seguido se plantea un modelo de optimización basado en el problema de rutas por arco con distancias eulerianas utilizando como parámetros matrices para definir tiempos y recorrido, a partir del modelo se diseña una herramienta informática usando un algoritmo donde se tiene como criterios de programación el desplazamiento por secuencia de nodos, convirtiéndose en un aplicativo abierto para M operarios, permitiendo obtener una solución factible.

Se hizo una representación real de la solución factible en un sector de la ciudad de Bucaramanga, para luego hacer una comparación entre las microrutas de la solución obtenida y las microrutas ejecutadas por la empresa, con el objetivo de probar la eficiencia y eficacia del algoritmo desarrollado.

* Trabajo de Grado

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

Abstract

Title: Design and implementation of sweeping routes for the public sanitation company EMAB S.A E.S.P.*

Authors: Dauriyit Aguilar Arrieta

Sandy Paola Filomena Madero **

Key words: Arc route problems (ARP), street sweeping, algorithm, heuristic technique, computer tool, optimization.

Description: The issue of arc routes lies, basically, in finding optimal routes that pass through the edges and/or arcs of a defined network as directed, non-directed or mixed, applied in cases such as street sweeping, garbage collection and newspaper delivery.

Bucaramanga's sanitation company, EMAB S.A E.S.P, dedicated to provide collection and transport, sweeping, final disposal and leachates treatment services, allowed to make a significant improvement in their sweeping process and to implement an algorithm-programmed computer tool based on the Arc Rout Problem (ARP), for optimizing the timing of collection and displacement of each route.

It starts with a review of the technical documentation of sweeping process and a diagnosis is developed highlighting the improvement opportunities in the process, including de micro-routes.

Subsequently, an optimization model is raised based on the ARP with eulerian distances using matrices as parameters to define time and travel, from the described model, a computer tool is designed using an algorithm in which node sequence displacement is used as programming criteria, becoming in an open application for operators, allowing to obtain a feasible solution.

A real presentation of a possible solution was presented in a sector of the city of Bucaramanga, to make a comparison between the obtained solution micro-routes and the micro-routes executed by the company, in order to prove the efficiency and efficacy of the developed algorithm.

* Degree project

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

Introducción

La producción de residuos sólidos incrementa a medida que aumenta el ingreso per cápita, en Colombia se produce diariamente cerca de 19.000 toneladas. La cantidad de residuos sólidos que es arrojado en las vías públicas por vehículos y peatones tiene un impacto negativo para el medio ambiente y la salud. (Sáez & Urdaneta, 2014)

El barrido de calles es una parte integral de los servicios de higiene urbana y, en consecuencia, de la gestión municipal de residuos sólidos. (Bartolozzi, Baldereschi, Iraldo, & Daddi, 2018).

La EMAB S.A E.S.P, es una empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios como el barrido, recolección y transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos en la ciudad de Bucaramanga. El servicio de barrido se realiza de forma manual teniendo como objetivo principal limpiar y recoger los residuos no aprovechables de las áreas y vías públicas. La oferta de barrido se hace por medio de un ruteo, teniendo en cuenta horarios y frecuencias para dar cumplimiento a la calidad del servicio.

Este proyecto de grado se enfoca en mejorar el proceso de barrido rediseñando las rutas por medio de un modelado que tiene como objetivo el balance de kilómetros y reducción de desplazamientos para el ruteo óptimo, por medio del problema de rutas por arcos (ARP), lo cual se pretende establecer el conjunto de rutas óptimas que debe realizar cada operario en todos los bordes (vías públicas) teniendo en cuenta el tiempo en que tarda en recolectar y desplazarse por cada borde.

Para el diseño de las rutas se utiliza una herramienta informática en Excel, usando un algoritmo de programación basado en la secuencia, donde la primera secuencia inicia del

origen y el siguiente operario comienza donde el anterior terminó. Posterior al diseño se realiza la implementación en la que se tiene en cuenta parámetros en forma de matrices considerándose como elementos para definir tiempos y recorridos. Esto con el fin de aumentar el índice de cumplimiento en la calidad del servicio que está relacionado directamente con el tiempo de ejecución de la ruta, asimismo se mejora la operación del proceso de barrido para la empresa de aseo de Bucaramanga EMAB S.A E.S.P.

Tabla 1.
Cumplimiento de objetivos

Objetivo	Descripción	Cumplimiento
1	Realizar un diagnóstico de la situación actual y recopilar información del proceso de barrido en la EMAB S.A E.S.P.	Capítulo 4 y 5
2	Realizar una revisión de literatura sobre el proceso de barrido y problemas de optimización asociados.	Capítulo 6
3	Diseñar un modelo de programación de barrido para la EMAB S.A E.S.P.	Capítulo 8
4	Diseñar e implementar una herramienta informática basada en el modelo propuesto para la programación del barrido.	Capítulo 9
5	Validar los resultados de la implementación del modelo.	Capítulo 10

1. Generalidades de la Empresa

1.1 Actividad Económica

La empresa de aseo de Bucaramanga EMAB S.A. E.S.P es una empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios de aseo cuyo objetivo es brindar de manera eficaz, eficiente y efectiva el servicio de: barrido, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos domiciliarios, satisfaciendo la necesidad de los usuarios en cumplimiento de la normativa legal vigente.

1.2 Usuarios

En la ciudad de Bucaramanga - Santander existen cuatro empresas operadoras de aseo que son: EMAB, Limpieza Urbana, Proactiva Chicamocha y Rediba, en donde la EMAB cuenta con un 82.6% de los usuarios de la población de la ciudad de Bucaramanga.

Para el proceso de barrido, la distribución de los sectores correspondientes a cada empresa operadora, se realiza un acuerdo de barrido entre las partes involucradas. Este procedimiento consiste en tomar el plano de la ciudad como un gráfico circular ubicando como centroide el sector del centro y en el sentido horario a las manecillas del reloj apuntando hacia al norte se rota, escogiendo la zona de mayor a menor en la cantidad de usuarios.

De acuerdo con lo anterior, primero se escoge el sector de la EMAB con el 82,6%, segundo Limpieza Urbana con el 12,66%, tercero Rediba con 3,63% y por último Proactiva Chicamocha con 0,68%.

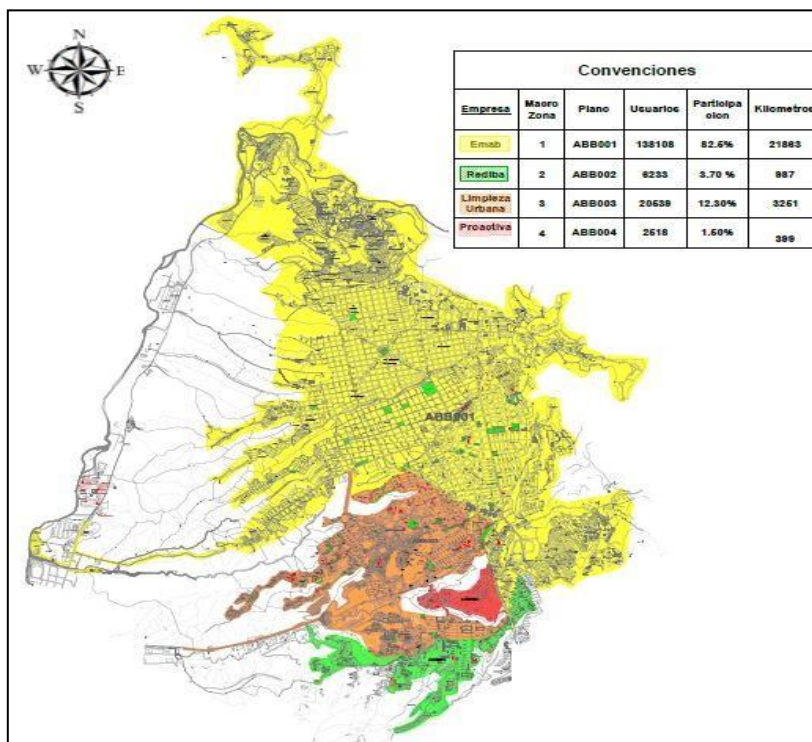


Figura 1. Distribución de áreas por el acuerdo de barrido. Adaptado de Plan de gestión integral de residuos sólidos del municipio de Bucaramanga.

2. Descripción del Proyecto

2.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un modelo para la asignación de rutas de barrido en la empresa de aseo de Bucaramanga EMAB S.A E.S.P.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual y recopilar información del proceso de barrido en la EMAB S.A E.S.P.
- Realizar una revisión de literatura sobre el proceso de barrido y problemas de optimización asociados.
- Diseñar un modelo de programación de barrido para la EMAB S.A E.S.P.
- Diseñar e implementar una herramienta informática basada en el modelo propuesto para la programación del barrido.
- Validar los resultados de la implementación del modelo.

2.3 Planteamiento del Problema

Tomando como punto de partida el mapa de procesos creado para la empresa, en donde se halla de forma implícita en el área de operación el proceso de barrido, considerado pieza clave para la EMAB debido a que es el ente encargado de la gestión y realización de la limpieza de vías públicas de acuerdo con la frecuencia y horarios establecidos en el programa para la prestación del servicio público de aseo, y cumpliendo con las exigencias establecidas en el Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS).

Este proceso cuenta con un número determinado de microrutas que ayudan a ejercer el servicio prestado con un tiempo y una frecuencia establecida, evidenciándose incumplimientos en la ejecución del mismo dado que se presenta un exceso en la holgura permitida para cada microruta, y por tal razón no se cumple con los kilómetros establecidos en el horario indicado, por lo tanto surgen las quejas y/o reclamos por parte del usuario, lo que representa un aumento de costos a la hora de enviar un nuevo operario a cumplir la labor no ejecutada correctamente y pérdidas por concepto de descuentos.

Además de lo anterior, en la actualización del acuerdo de barrido y el plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) del municipio de Bucaramanga, queda estipulado que la empresa debe aumentar el kilometraje cumpliendo con el 100% correspondiente a su zona. (PGIRS, 2017-2022)

Por consiguiente, este proyecto busca realizar un análisis en la ejecución de las microrutas de barrido teniendo en cuenta el kilometraje establecido por el Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) y el kilometraje realizado en el área barrida, además el análisis del tiempo establecido para la actividad indicando el cumplimiento efectivo del proceso con el

fin de realizar un rediseño de las microrutas mejorando así el nivel de servicio, aumentando el índice de cumplimiento y reduciendo los costos asociados.

2.4 Desarrollo Metodológico

A continuación, se muestran las fases de la ejecución de los objetivos de este proyecto.

Tabla 2.

Fases del diagnóstico del proyecto

Fase 1. Realizar un diagnóstico de la situación actual y recopilar información del proceso de barrido en la EMAB S.A E.S.P.	Esta etapa está comprendida por llevar a cabo el reconocimiento de la empresa donde se identifique como se encuentra el proceso de barrido en la actualidad. Para ello es necesario asistir a las instalaciones, revisar y analizar toda la documentación, realizar entrevistas a los operarios y supervisores del proceso, además de verificar las microrutas.
Fase 2. Realizar una revisión de literatura sobre el proceso de barrido y problemas de optimización asociados.	Revisar y seleccionar la bibliografía disponible donde se definen los modelos de problemas de enrutamiento enfocándose en (ARP) Arc Routing Problem, el problema del Cartero Chino, aplicado al proceso de barrido y casos similares incluyendo la gestión de residuos, encontrados en las bases de datos como scopus, science direct teniendo como objetivo compilar toda la información necesaria para el diseño del modelo de programación.
Fase 3. Diseñar un modelo de optimización para la programación de barrido para la EMAB S.A E.S.P.	Teniendo toda la información recopilada, se identifica el modelo a utilizar definiendo todas las variables y parámetros fundamentales para la solución del problema, se surge a realizar los pasos requeridos para la creación del modelo de optimización matemática basado en el Arc Routing Problem (ARP)
Fase 4. Diseñar e implementar una herramienta informática basada en el modelo propuesto para la programación del barrido.	De acuerdo con las bases y el modelo de optimización propuesto para la programación realizada en Excel, se aplicarán los elementos que correspondan al Arc Routing Problem, para posteriormente realizar pruebas con programaciones reales.

Fase 5. Validar los resultados de la implementación del modelo.	De acuerdo con el modelo propuesto y a la operación de la empresa, se validará los resultados obtenidos por el modelo contrastando estos con programaciones de barrido realizadas anteriormente en la empresa.
--	--

3. Marco de Referencia

3.1 Marco de Antecedentes

Respecto el marco de este proyecto basado en el tema de barrido y limpieza de calles, pocos proyectos se han desarrollado en esta temática de la optimización de rutas, sin embargo este proyecto tiene como guía el proyecto “el problema del cartero chino” (Yordá Pérez, El problema del cartero chino, 2014), que tiene como objetivo realizar un análisis teórico del problema del cartero chino con sus principales variantes, junto con los principales algoritmos para resolverlo, donde se realizó un estudio desarrollado en la ciudad de Ourense basado en el barrido de calles con barredoras mecánicas, con un número de frecuencias sin tener en cuenta el sentido de las calles, siendo un problema de cartero chino no dirigido (CPP), utilizando un paquete en R para dar una solución exacta. También hizo un análisis de las diferentes líneas y variaciones que pueda presentar el problema con otras restricciones. Por lo tanto, ofrece información que ayuda a la realización del presente estudio de optimización en las rutas de barrido, teniendo como aporte principal los diferentes parámetros y variables encontradas que proporciona un conjunto de elementos para la construcción de un algoritmo para dar una solución exacta a los problemas por arco del cartero chino no dirigido.

En la tesis elaborada por (Hernández Sánchez, 2015) titulado “un problema de barrido de calles”, donde atacó un problema del barrido de calles (SSP), variantes del problema del cartero con viento, la cual su objetivo principal se basó en construir dos recorridos que pasen por cada calle por lo menos una vez en cada dirección, barriendo una dirección en el primer

recorrido y la otra dirección en el segundo recorrido. Considero los poliedros definidos por la relajación de programación lineal del problema original y al finalizar implementó un algoritmo de aproximación para el SSP. Su aporte principal se centró en información teórica de optimización y en un análisis comparativo en problemas de rutas por arco para comprensión del proyecto presente.

Por último, el artículo “¿Los problemas en la planificación de rutas dependientes del tiempo o cuan diferente es la recolección de basura o la repartición de periódicos, del barrido de calles o de la remoción de nieve en invierno?” (Golden, Nossack, Pesch, & Zhang, 2017) que tuvo como objetivo principal dar solución a un problema del cartero rural ventoso con zigzags y ventanas de tiempo (WRPPZTW), donde consideraron una variante del WRPP agregando la opción adicional a los segmentos de la calle en zigzag durante ciertos momentos del día, en la cual dependía de si la calle es estrecha o el tráfico es liviano, es posible dar servicio a ambos lados de la calle en un solo paso zigzagueando o si la calle es ancha o el tráfico es pesado, se debe dar servicio a la calle por dos cruces simples. Este problema se resolvió transformándolo en un problema de enrutamiento de nodo. Su aporte al presente proyecto se centró en el análisis comparativo en el problema rutas por arco, y facilitando información sobre posibles soluciones.

3.2 Marco Conceptual

Para una mejor interpretación del documento se adjuntan definiciones que pertenecen al lenguaje técnico usado por la empresa, agarradas del (DECRETO2981, 2013).

- **Área de prestación de servicio:** Corresponde a la zona geográfica del municipio o distrito debidamente delimitada donde la persona prestadora ofrece y presta el servicio de aseo. Esta deberá consignarse en el contrato de condiciones uniformes.
- **Área pública:** Es aquella destinada al uso, recreo o tránsito público, como parques, plazas, plazoletas y playas salvo aquellas con restricciones de acceso.
- **Barrido y limpieza de vías y áreas públicas:** Es la actividad del servicio público de aseo que consiste en el conjunto de acciones tendientes a dejar las áreas y las vías públicas libres de todo residuo sólido, esparcido o acumulado, de manera que dichas áreas queden libres de papeles, hojas, arenilla y similares y de cualquier otro objeto o material susceptible de ser removido manualmente o mediante el uso de equipos mecánicos.
- **Barrido y limpieza manual:** Es la labor realizada manualmente para retirar de las vías y áreas públicas papeles, hojas, arenilla acumulada y cualquier otro objeto o material.
- **Barrido y limpieza mecánica:** Es la labor realizada mediante el uso de equipos mecánicos para retirar de las vías y áreas públicas, papeles, hojas, arenilla acumulada y cualquier otro objeto o material.
- **Corte de césped:** Es la actividad del servicio público de aseo que consiste en cortar el pasto ubicado en áreas verdes públicas sin restricción de acceso, mediante el uso de equipos manuales o mecánicos que incluye el bordeado y plateo. Comprende la recolección y transporte del material obtenido hasta los sitios de aprovechamiento prioritariamente o de disposición final.

- **Cuneta:** Zanja, revestida o no, ubicada a cada lado de las vías, destinadas a facilitar el drenaje superficial longitudinal de las mismas y que son objeto de barrido o limpieza por parte del prestador del servicio de aseo en su área de atención.
- **Frecuencia del servicio:** Es el número de veces en un periodo definido que se presta el servicio público de aseo en sus actividades de barrido, limpieza, recolección y transporte, corte de césped y poda de árboles.
- **Grandes generadores o productores:** Son los suscriptores y/o usuarios no residenciales que generan y presentan para la recolección residuos sólidos en volumen igual o superior a un metro cúbico mensual.
- **Macroruta:** Es la división geográfica de una ciudad, zona o área de prestación del servicio para la distribución de los recursos y equipos a fin de optimizar la actividad de recolección de residuos, barrido y limpieza de vías y áreas públicas y/o corte de césped y poda de árboles ubicados en las vías y áreas públicas.
- **Microruta:** Es la descripción detallada a nivel de las calles y manzanas del trayecto de un vehículo o cuadrilla, para la prestación del servicio público de recolección de residuos; de barrido y limpieza de vías y áreas públicas; y/o corte de césped y poda de árboles ubicados en las vías y áreas públicas, dentro de una frecuencia determinada.
- **Pequeños generadores o productores:** Son los suscriptores y/o usuarios no residenciales que generan y presentan para la recolección residuos sólidos en volumen menor a un (1) metro cúbico mensual.

- **Persona prestadora del servicio público de aseo:** Es aquella encargada de una o varias actividades de la prestación del servicio público de aseo, en los términos del artículo 15 de la (Ley142, 1994) y demás que la modifiquen o complementen.
- **Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS):** Es el instrumento de planeación municipal o regional que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por uno o más entes territoriales para el manejo de los residuos sólidos, basado en la política de gestión integral de los mismos, el cual se ejecutará durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un plan financiero viable que permita garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos y la prestación del servicio de aseo a nivel municipal o regional, evaluado a través de la medición de resultados. Corresponde a la entidad territorial la formulación, implementación, evaluación, seguimiento y control y actualización del PGIRS.
- **Puntos críticos:** Son aquellos lugares donde se acumulan residuos sólidos, generando afectación y deterioro sanitario que conlleva la afectación de la limpieza del área, por la generación de malos olores, focos de propagación de vectores, y enfermedades, entre otros.
- **Residuo sólido:** Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. Igualmente, se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y

poda de árboles. Los residuos sólidos que no tienen características de peligrosidad se dividen en aprovechables y no aprovechables.

- **Usuario no residencial:** Es la persona natural o jurídica que produce residuos sólidos derivados de la actividad comercial, industrial y los oficiales que se benefician con la prestación del servicio público de aseo.
- **Usuario residencial:** Es la persona que produce residuos sólidos derivados de la actividad residencial y se beneficia con la prestación del servicio público de aseo. Se considera usuario residencial del servicio público de aseo a los ubicados en locales que ocupen menos de veinte (20) metros cuadrados de área, exceptuando los que produzcan más de un (1) metro cúbico mensual.
- **Vía pública:** Son las áreas destinadas al tránsito público, vehicular o peatonal, o afectadas por él, que componen la infraestructura vial de la ciudad y que comprende: avenidas, calles, carreras, transversales, diagonales, calzadas, separadores viales, puentes vehiculares y peatonales o cualquier otra combinación de los mismos elementos que puedan extenderse entre una y otra línea de las edificaciones.

3.3 Marco Teórico

3.3.1 Mejoramiento de Procesos. Un proceso consiste en realizar cualquier actividad o grupo de actividades que emplee un insumo, le agregue valor y suministre un producto y/o servicio a un cliente externo o interno (Harrington , 1993) para mejorar un proceso, significa cambiarlo para hacerlo más efectivo, eficiente y adaptable, qué cambiar y cómo cambiar depende del enfoque específico del empresario y del proceso.

La búsqueda de la excelencia en una empresa consiste en aceptar un nuevo reto cada día. Dicho proceso debe ser progresivo y continuo. Debe incorporar todas las actividades que se realicen en la empresa a todos los niveles.

3.3.2 Diseño de Rutas. Consiste en la planificación de un sistema donde se determine, el trazado del plan de recorrido, las frecuencias horarias de asignado de personal y/o flotas. (Mauttone, Cancela, & Urquhart, 2013) Las primeras herramientas de diseño óptimo de rutas y frecuencias surgen en la década del 70, basados en ideas intuitivas, sin una formulación del modelo y su función objetivo, En la década del 80 se formulan algunas funciones objetivo, y se incorporan nuevos parámetros tales como el cubrimiento de la demanda, factor de carga (proporción de pasajeros parados respecto a la cantidad de asientos) y transferencias de los buses. (Axhausen & Smith, 1984).

3.3.3 Análisis de Causas. El análisis de causa raíz (ACR) se utiliza para investigar cuáles son las causas que han originado un determinado problema o incidencia. Determinar bien las causas raíz de una incidencia es imprescindible para poder definir acciones correctivas apropiadas que la solventen y que eviten la repetición del problema en el futuro. (Jimeno Bernal, 2015)

Teniendo en cuenta que, una corrección es la acción que se realiza para llevar a cabo una solución inmediata del problema más obvio para eliminar la no conformidad y hacer que el producto o servicio sea aceptable. (NORMA ISO 9001, 2015)

3.3.4 Análisis de Tiempos. Según (Hodson, 2001), el estudio de tiempos es el procedimiento utilizado para medir el tiempo requerido por un trabajador calificado quien trabajando a un nivel normal de desempeño realiza una tarea conforme a un método especificado. En la práctica, el estudio de tiempos incluye, por lo general, el estudio de métodos. Además, sostiene que los expertos tienen que observar los métodos mientras realizan el estudio de tiempos buscando oportunidades de mejoramiento.

Las técnicas para estudio de tiempos han evolucionado rápidamente debido al avance tecnológico que ha permitido incorporar herramientas de punta aplicadas para este objetivo, facilitando la labor del analista, obteniendo mayor precisión, velocidad de aplicación y resultados más confiables, comprensibles y rápidos. (Lázaro Rico, Escobedo, de la Riva, & Juárez, 2014)

3.3.5 Optimización Matemática

3.3.5.1 Problemas de Rutas. Los problemas de rutas son problemas de optimización Combinatoria, que consisten en encontrar la solución óptima entre un número finito o infinito. Suelen plantear como la búsqueda de la ruta óptima que atraviesa total o parcialmente las aristas y/o arcos dirigidos de un grafo dado. La importancia de estos problemas se debe a la gran cantidad de casos reales en los que se pueden aplicar, tales como repartos de mercancías, recogida de basuras, transporte de pasajeros o la limpieza de las calles que corresponde al problema en el presente proyecto.

Además, se debe tener cuidado en no confundir los problemas de ruta con los problemas de caminos, en estos últimos solo nos interesa escoger el camino óptimo que une dos nodos,

sin embargo, en los problemas de rutas nos interesa construir un ciclo (ruta) tal que recorra ciertos nodos y/o arcos.

Dentro de los problemas de ruta existen multitud de tipos, en la siguiente tabla se observará los principales:

Tabla 3.

Principales tipos de problemas de ruta

Demanda	Restricciones de Capacidad	Nombre del Problema
Arcos	No	Una componente conexa, problema del cartero chino (CPP)
		Varias componentes conexas, problemas del cartero rural (RPP)
	Si	Problema de los m-carteros (m-CPP)
Nodos	No	Viajante de comercio (TSP)
	Si	Problemas de rutas de vehículos (VRP)

Como se observa en la tabla 3, las rutas por ~~arcos~~ y las rutas por nodos. El primero su objetivo es recorrer todos o parte de los arcos, mientras que en el segundo es pasar por todos o parte de los nodos. (Yordá Pérez, 2014)

3.3.5.2 Problema del Rutas por Arco (ARP). Fundamentalmente, la gran diferencia entre los problemas de arcos con los de vértices, reside en que entre dos vértices del grafo donde se pretende resolver el problema podemos distinguir tres tipos de enlaces: Enlaces no dirigidos con idéntico coste en ambas direcciones. En este caso los enlaces reciben el nombre de aristas y se pueden recorrer en ambos sentidos. Si todos los enlaces en el grafo son aristas el problema pertenece a la familia de los problemas no dirigidos, como el CPP o el CARP, ya citados en la introducción. Pensemos en el típico cartero que va a pie visitando domicilios y que le da igual recorrer las calles en un sentido que en otro. Enlaces dirigidos. En este caso los enlaces solo pueden recorrerse en un sentido y tienen su coste asociado y reciben el nombre de arcos. Esta situación ocurre cuando los servicios 3 a realizar deben cumplir las normas de tráfico. Si todos los enlaces son arcos, el problema pertenece a la familia de los problemas dirigidos. Existe la versión del CPP sobre un grafo dirigido que se llama Directed Chinese Postman Problem. Aunque a simple vista pueda parecer que tanto el CPP como el DCPP se resuelven con las mismas técnicas, esto es simplemente una simplificación exagerada, pues mientras el CPP se puede resolver óptimamente usando un algoritmo para el problema del acoplamiento de mínimo coste, el DCPP se resuelve óptimamente resolviendo un problema de flujo de coste mínimo. Enlaces mixtos. Es decir, coexistencia de aristas y arcos en el grafo asociado. Hay calles que pueden recorrerse en ambos sentidos (doble circulación) y otras que no, como en los problemas de recogidas de basuras urbanas. Enlaces con Viento. En este caso, los enlaces son aristas pero el coste de recorrerlas en un sentido o en el otro puede ser diferente. Esto da lugar a la familia de problemas llamados Windy, poco estudiados, pero con existencia de aplicaciones como puede ser la de inspección de las vigas de los puentes metálicos por robots, pues el esfuerzo o consumo de energía del robot no es el

mismo si la viga se recorre de arriba a abajo o viceversa. (Campos , 2004)

3.3.5.3 El Problema del Cartero Chino. El problema del cartero chino, es el primer problema de rutas por arcos en el que se plantea la posibilidad de construir un ciclo euleriano con coste óptimo. Fue planteado originalmente por el matemático chino Kwan Mei-Ko (en algunas bibliografías está escrito como Guan Mei-Ko) en un artículo de un diario chino en 1960 y traducido al inglés en 1962 (Graphic Programming using odd and even points). Debido a su autor, Alan Goldman sugirió llamarlo "problema del cartero chino". Lo que Mei-Ko planteaba era el problema al que se enfrenta el cartero para repartir la correspondencia recorriendo la menor distancia posible, que matemáticamente consiste en encontrar un tour en el grafo de longitud mínima. (Yordá Pérez, 2014)

3.3.5.4 El Problema del Cartero Chino en un Grafo no Dirigido (CPP). Este es el problema original planteado por Mei-Ko. Para que este problema tenga solución finita se debe trabajar con un grafo conexo con costos asociados a sus aristas no negativos, dado que si no fuera conexo sería imposible construir un tour, y si una arista tuviera un costo negativo, la recorreríamos infinitas veces para minimizar el coste del ciclo. Sea $G (V, A)$ un grafo conexo no dirigido con costos no negativos asociados a sus aristas. Nuestro objetivo es encontrar un tour de costo mínimo.

- **Teoremas previos:**

Teorema 1. Un grafo $G = (V, A)$ conexo y no dirigido, contiene un tour euleriano si y solo si el grafo es par.

Se tiene un grafo $G = (V, A)$ conexo y no dirigido en el que existe un tour Euleriano, cada vez que el tour entre en un nodo por una arista tendrá que salir de él por una arista diferente (un tour debe atravesar cada arista una vez), por lo que cada nodo tendrá que tener un número de aristas par incidentes en él.

Teorema 2. Un grafo conexo $G = (V, A)$ es euleriano si y solo si admite una descomposición en ciclos disjuntos.

Si el grafo $G = (V, A)$ es euleriano contiene un tour euleriano T , con lo que se tiene una descomposición en tours disjuntos, formada por el propio tour T .

Al tener una descomposición C en ciclos disjuntos. Sean $C_1, C_2, \dots, C_n$ ciclos disjuntos tales que $G = \bigcup_{i \in \{1 \dots n\}} C_i$. Como se observó en el teorema 1 todos los nodos tienen grado par en cada uno de los ciclos, y por lo tanto, dado que son disjuntos, el grado de cualquier nodo será la suma de su grado en cada uno de los ciclos C_i , con lo que se concluye que tienen grado par en el grafo. Como todos los nodos son de grado par podemos afirmar que el grafo es euleriano.

Teorema 3. En un grafo no dirigido $G = (V, A)$, es la suma de los grados de todos sus nodos es igual al doble de aristas del grafo o lo que es mismo $\sum_{i \in V} d(i) = 2|A|$

Al efectuar la suma de los grados de un grafo G , las aristas se cuentan dos veces, puesto que cada una de ellas está determinada por dos nodos, de donde se concluye que la sumatoria debe ser par. Para un análisis matemático se supondría que se tiene un grafo no dirigido $G = (V, A)$ con $A = 0$, es trivial que se cumple el teorema, dado que el grado de todos sus nodos es 0. Se observa ahora que si a un grafo con n aristas para el que se cumple el teorema, y se añade una arista también se cumple el teorema. Sea $G_n = (V', A')$ un grafo con $|A| = n$. Definamos el grafo $G_{n+1} = (V'', A'')$ donde $V'' = V'$ y $A'' = A' \cup (j, k)$ siendo j y k dos nodos arbitrarios de V' . Como en G_n se cumple el teorema, sabemos que $\sum_{i \in V'} d(i) = 2|A'|$, y es fácil ver que $\sum_{i \in V''} d(i) = (\sum_{i \in V'} d(i)) + 2 = 2|A'| + 2 = 2|A''|$.

Teorema 4. En un grafo G no dirigido se verifica que el número de nodos de grado impar siempre es par

Demostración.

$V_1 = \{i \in \frac{V}{d(i)} \equiv 1 \mod(2)\}$ y $V_2 = \{i \in \frac{V}{d(i)} \equiv 0 \mod(2)\}$. Es trivial que $V_1 \cup V_2 = V$ y $V_1 \cap V_2 = \emptyset$, y por lo tanto:

$$2|A| = \sum_{i \in V} d(i) = \sum_{i \in V_1} d(i) + \sum_{j \in V_2} d(j).$$

Luego por ser $2|A|$ y $\sum_{i \in V_2} d(i)$ ambos pares se tiene que $\sum_{j \in V_1} d(j)$ es impar, la cual se permite concluir que el número de sumandos debe ser par, por lo que el número de nodos de grado impar es par.

Luego de revisar los teoremas se dividen los problemas en dos posibles casos, que el grafo sea par, en cuyo caso se tiene un tour euleriano, o que no lo sea, y en este caso lo que se transforma en un grafo par duplicando aristas y construir un tour euleriano sobre el grafo modificado, lo que dará el tour de costo mínimo sobre el grafo original. Cabe destacar que cuando se tiene un tour euleriano, ese tour tendrá el mínimo costo, el cual coincide con la suma de los costos de todas las aristas del grafo. (Yordá Pérez, 2014)

4. Diagnostico General de los Procesos

4.1 Diagnostico Cualitativo de los Procesos

El diagnóstico cualitativo del proyecto se realiza por medio de observación directa, con el fin de conocer a detalle la organización del tiempo para cumplir con las microrutas establecidas. La complejidad de la actividad se centra en conocer el área de ejecución y las condiciones laborales; también se realizan reuniones con las personas relacionadas directamente con el proceso y demás interesados en la empresa buscando conocer las oportunidades de mejora identificadas desde diferentes perspectivas. Adicionalmente, se recopila la documentación conveniente en la empresa, tales como procedimientos, contratos, instructivos y croquis de las microrutas, con el objetivo de comprender la manera en que se desarrolla el proceso.

4.1.1 Diagnóstico Inicial del Proceso de Barrido. Para comprender la situación actual del proceso de barrido, se toma como punto de partida la descripción y el análisis de la forma en que se desarrollan las actividades, desde la distribución y diseño de macrorutas y microrutas, el procedimiento de las actividades realizadas por el operario de barrido en la zona de ejecución, los costos del proceso del barrido y el análisis de quejas y/o reclamos sobre alguna insatisfacción con respecto a la labor del operario de barrido por parte del usuario que implica en la calificación de la calidad del servicio ejecutado.

4.1.2 Descripción de Diseño de Ruta. En un inicio la EMAB revisa y analiza la zona a barrer que le corresponde siendo equivalente a 1132,72 kilómetros lineales (kilometraje realizado actualmente) a partir de esta información la EMAB hace una distribución de su área total a barrer en tres macrorutas, la primera macroruta se le asigna a todo el sector Norte y Nororiental, la segunda pertenece al sector Occidental, Centro, Vía Chimita, parte de San Francisco y parte de García Rovira y por último la tercera macroruta está conformada por Morrорico, Centro Oriental, parte de San Francisco, Cabecera, Lagos del Cacique, La Pedregosa y parte de García Rovira.

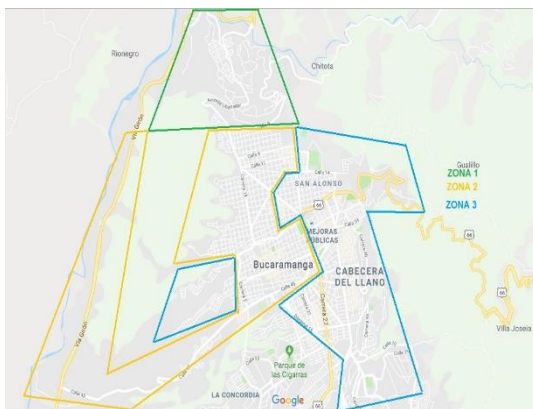


Figura 2. Distribución de las macrorutas de barrido. Adaptado del área de planeación de la EMAB

Luego, se inicia el trazado de las microrutas escogiendo primero una macroruta, y se utiliza la aplicación “Google Maps” para dibujar el croquis de la microruta contemplando ambas cunetas (bordes) de las calles y teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Área que barrer (topografía)
- Frecuencia de la vía (establecidas por el Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS))
- Tránsito vehicular
- Afluencia de público
- Longitud

Se evidencia en la documentación (contratos) que la longitud de la microruta cuenta con una medición de 3,5 kilómetros a 4,7 kilómetros.

En la figura 3 se puede observar un ejemplo de una microruta.



Figura 3. Ejemplo de la ruta 4004. Adaptado del área de planeación de la EMAB

4.1.3 Descripción del Proceso de Barrido. El proceso de barrido consiste en ejercer por medio del uso de la fuerza humana la limpieza de cada cuadra hasta que sus áreas públicas queden libres de papeles, hojas, arenilla acumulada en los bordes del andén y de cualquier otro material susceptible de ser removido manualmente.

La empresa ejecuta el proceso por medio de dos operadores logísticos denominados “Bello Renacer” y “Ciudad Brillante” que son los encargados de la asignación del personal y llevar a cabo la actividad que comprende el servicio. Por ello la EMAB asigna al operador logístico Bello Renacer las macrorutas 1 y 2, suministrándole 158 microrutas con 12.454,41 kilómetros al mes de los cuales son ejecutadas por 99 operarios y al operador logístico Ciudad

Brillante tiene asignado la macroruta 3, suministrándole 126 microrutas que cuenta con 9.393,36 kilómetros al mes ejecutados por 89 operarios. Cada operario realiza una microruta diaria durante una jornada laboral de ocho (8) horas, las cuales son diseñadas por la EMAB.

La EMAB remunera a los dos operadores logísticos por un valor de \$21.900 (veintiuno mil novecientos) por kilómetros al mes.

Para llevar a cabo la ejecución del proceso de barrido se debe tener en cuenta 7 tipos de frecuencias dependiendo del sector, estas frecuencias son 2, 3, 6, 7, 12, 13, 14 veces por semana, establecidas por el Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) municipal y el acuerdo de barrido. Para un mejor análisis de la distribución de las frecuencias según la microrutas diseñadas por la EMAB, se observa la Tabla 4.

Tabla 4.
Distribución de las frecuencias

	Frecuencia Semanal	Cantidad de Microrutas	Sector
Zona 1 y 2 (Bello Renacer)	2	0	
	3	94	Norte, Vía chimita, Calle 45 de la carrera 27 hasta vía girón, Campo Hermoso, Gallineral, Quinta Estrella
	6	34	Gaitán, La Gloria, Nariño, Avenida Rosita, Chorreras de Don Juan, San Francisco, Alarcón, San Francisco, La universidad
	7		
	13	0	
	14	9	Centro, García Rovira, Quebrada Seca

Tabla 4. *Continuación Distribución de las frecuencias*

	Frecuencia Semanal	Cantidad Microrutas	de Sector
Zona3 (Ciudad Brillante)	3	47	San Alonso, Girardot, La Joya, Morrórico, Zarabanda, Los Pinos, La Feria, Santander, Alfonso López, Pan de Azúcar, Las Colinas, Terrazas, Lagos del Cacique, El Prado
	6	47	Altos de Cabecera, Álvarez, Mercedes, Conucos, San Francisco, La Aurora
	7	14	Cabecera, Carrera 27, Guarín, Avenida González Valencia, La Aurora
	12	0	
	13	4	Carrera 33, Guarín (Parque del Agua)
	14	0	

Nota: Datos adaptados del área de planeación de la EMAB

Revisar en los apéndices A y B la información completa de cada microruta.

De acuerdo con la información de cada microruta, teniendo en cuenta su frecuencia y kilometraje se suma un total de 21.883 kilómetros al mes.

El procedimiento de la actividad inicia desde que los operarios registran su llegada al centro de acopio y reciben sus herramientas de trabajo (cepillo, rastrillo y/o escoba, palín, recogedor y bolsas plásticas), luego se deben dirigir a la ubicación correspondiente a la

microruta para dar inicio a la labor asignada, ésta es importante destacar que esta actividad es directamente inspeccionada por el supervisor a cargo, una vez el operario de barrido completa su microruta indicando que termina la actividad, debe dirigirse nuevamente en el centro de acopio para hacer entrega de las herramientas de trabajo y firmar el registro de salida.

4.1.3.1 Costo del Proceso de Barrido. Para calcular el costo de barrido, la empresa debe dar cumplimiento con lo establecido en la Resolución (CRA720, 2015) lo cual cita la siguiente fórmula

$$CBLs = \frac{\sum_{j=1}^m (CBLj * LBLj)}{N}$$

Donde:

CBLs: Costo de Barrido y Limpieza de Vías y Áreas Públicas por suscriptor (pesos de diciembre de 2014/suscriptor-mes).

CBLj: Costo de Barrido y Limpieza de Vías y Áreas Públicas, que será como máximo de \$28.985 por la longitud de vías y áreas barridas de la persona prestadora j (pesos de diciembre de 2014/kilómetro).

LBLj: Longitud de vías y áreas barridas por la persona prestadora j, en su APS (**Área de Prestación del Servicio**), según las frecuencias definidas para el municipio y/o distrito en el PGIRS y el Programa para la Prestación del servicio y corresponde al promedio de los últimos seis (6) meses (kilómetros/mes).

N: Promedio de los últimos seis (6) meses del número de suscriptores totales en el municipio y/o distrito.

j: Número de personas prestadoras de la actividad de barrido y limpieza en un mismo perímetro urbano donde $j = \{1, 2, 3, 4, \dots, m\}$.

Para el año 2018:

CBLj: Costo de Barrido y Limpieza de Vías y Áreas Públicas, que será como máximo de \$36.762 por la longitud de vías y áreas barridas de la persona prestadora j (pesos de diciembre de 2017/kilómetro).

4.1.3.2 Descripción de Recepción de Peticiones, Quejas y/o Reclamos (PQR). En la prestación de este servicio los usuarios informan sus inconformidades con respecto a la calidad del servicio por medio de atención telefónica o dirigiéndose a las instalaciones administrativas de la EMAB.

El procedimiento regular es el siguiente: el usuario registra su petición y la persona encargada del área les informa a los supervisores de barrido dependiendo de la macroruta y microruta a la que corresponde la queja, el supervisor se debe dirigir al sitio donde se presenta la queja y hacer la respectiva revisión del estado de la ubicación registrada y llevando a cabo las acciones correctivas pertinentes.

4.1.4 Análisis Preliminar del Diagnóstico Cualitativo. Al observar y analizar el proceso de barrido, se identifica que existen problemas, principalmente en la actualización del Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS), se registra que la EMAB debe realizar

26.190 kilómetros al mes y se evidencia que está ejecutando 21.833 kilómetros al mes, por lo que se concluye que la empresa no está realizando el 100% en el proceso de barrido, también se muestra la falta de actualización en la documentación del proceso, como los instructivos y croquis de las microrutas, por esto se hace necesario la actualización de las microrutas donde se especifique el recorrido que realiza el operario, el punto de inicio, punto de culminación, y la frecuencia en que se realiza. Por ello se socializa los croquis con los operarios de barrido y en la retroalimentación se encuentra que no se especifica una medición exacta, además el croquis no tiene el trazado exacto de toda la microruta que los operarios ejecutan, provocando insatisfacciones por parte del cliente, representadas a través de peticiones, quejas y/o reclamos (PQR). Esto se debe a la alta variabilidad en el kilometraje causando el incumplimiento en el tiempo establecido en que se desarrolla la actividad, como consecuencia de no tener una medida estandarizada de la microruta. Por lo que se hace necesario realizar un análisis cuantitativo.

4.2 Diagnóstico Cuantitativo

Con base al diagnóstico cualitativo mencionado anteriormente, se realiza una recopilación de datos sobre el proceso de barrido para realizar un análisis cuantitativo, con el objetivo de conocer las causas que impiden el total cumplimiento de las microrutas, lo cual se refleja en la generación de PQRS, por ello se hace necesario realizar un análisis de causas de modo que se pueda identificar las variables que más afecta, seguido de esto se hace una validación del kilometraje utilizando un instrumento de medición en la zona de ejecución de cada microruta y un análisis de tiempos para observar la relación del tiempo que utiliza en barrer los kilómetros que registra la microruta.

Inicialmente se toma datos históricos donde se registra los kilómetros barridos del año 2017, haciendo comparación con los kilómetros que se contratan mes a mes correspondiente a ese año.

Tabla 5.
Kilómetros 2017

Datos Kilometraje 2017		
Mes	Km Barridos	Km Contratados
Enero	18.124	19.221
Febrero	18.124	19.221
Marzo	18.124	19.221
Abril	18.124	19.221
Mayo	18.124	19.221
Junio	18.164	19.221
Julio	18.276	19.221
Agosto	18.788	19.221
Septiembre	18.160	19.221
Octubre	19.180	19.221
Noviembre	21.532	21.600
Diciembre	21.533	21.600

Nota: Datos adaptados del área de planeación de la EMAB

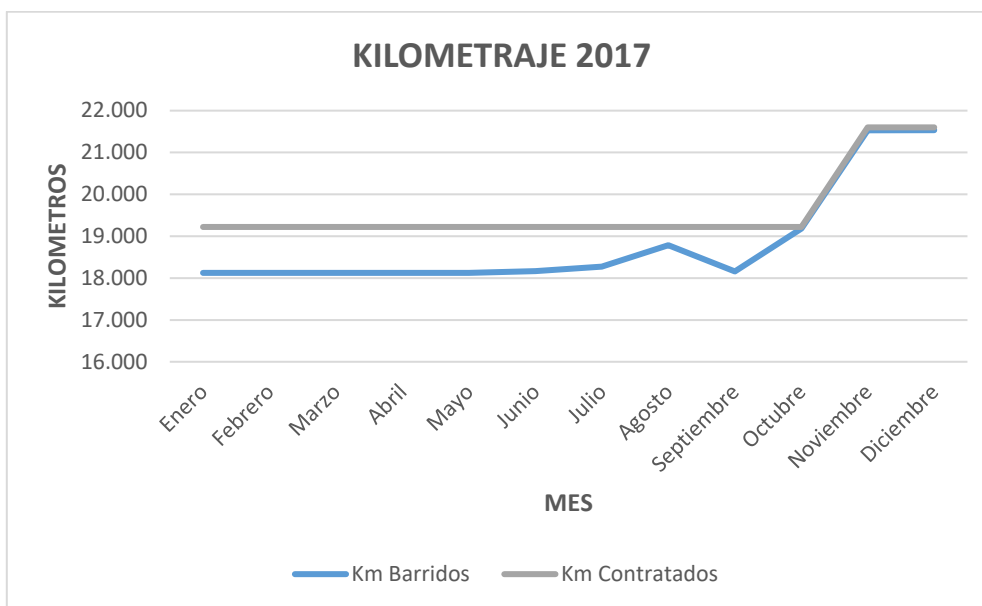


Figura 4. Kilómetros 2017

A partir de la figura 4 se puede observar el comportamiento de los datos en el año 2017, lo cual desde el mes de enero a mayo el kilómetro barrido de microruta se mantiene constante, en el mes de junio los datos empiezan aumentar respecto al mes anterior excepto en el mes de septiembre que presenta una disminución en el kilómetro barrido, para el mes de octubre vuelve a tener un alza con respecto al mes anterior. Para el caso de los meses de noviembre y diciembre se resalta un incremento en los kilómetros barridos dados adición de kilómetros por cobertura.

En los kilómetros contratados se observa un comportamiento constante de enero a octubre y los meses de noviembre y diciembre un incremento como se menciona anteriormente; haciendo una relación de los datos se puede decir que los kilómetros contratados están por encima de los kilómetros barridos, por ello se concluye que hay una inconsistencia que puede darse por un incumplimiento o bien sea por mediciones erróneas.

4.2.1 Análisis de Causas. Luego de revisar datos históricos con respecto al kilometraje, se dispuso a revisar las causas que generan el incumplimiento al ejecutar el total de los kilómetros contratados, por esto se extrajo la cantidad de quejas recibidas en los tres primeros meses correspondiente del año 2018 y con la ayuda del supervisor de la actividad se hace una clasificación de los motivos que afecta el desempeño del proceso.

Tabla 6.*Descripción de las causas de incumplimiento*

Causa	Descripción de la causa
Alto kilometraje en la microruta	Hace referencia a la excesiva cantidad de kilómetros descritos en la microruta, que se aumenta por vías peatonales, escaleras o canchas.
Rendimiento del operario	Es la relación que hay entre la distancia que un operario recorre y el tiempo que utiliza en hacer dicho recorrido.
Inseguridad en la zona	Consiste en el peligro que puede enfrentar el operario al desarrollar la actividad en una zona roja.
Contaminación en la zona	Se refiere a zonas con gran contenido de papeles, hojas, arenillas o materiales que toman mayor tiempo.
Clima	Consiste en la variabilidad del clima que pueda afectar el desarrollo de la actividad.
Tránsito en la vía	Hace referencia al flujo de vehículos que contiene la zona, es decir, si es muy concurrida o no.

Nota: Datos adaptados del área de PQR'S de la EMAB

Luego de la clasificación de las causas de incumplimiento de la microrruta se procede a representarlas en un diagrama de causa y efecto.

Es un método gráfico mediante el cual se representa y analiza la relación entre un efecto (problema) y sus posibles causas. Existen tres tipos básicos de diagrama de Ishikawa, los cuales dependen de cómo se buscan y se organizan las causas en la gráfica.

El método que se escogió para el desarrollo de este diagnóstico cualitativo es el método de estratificación o enumeración de causas, la construcción por este método va directo a las principales causas potenciales, sin agrupar de acuerdo con las 6M. La selección de estas causas se hace a través de una sesión de lluvia de ideas. (Pulido, 2013).

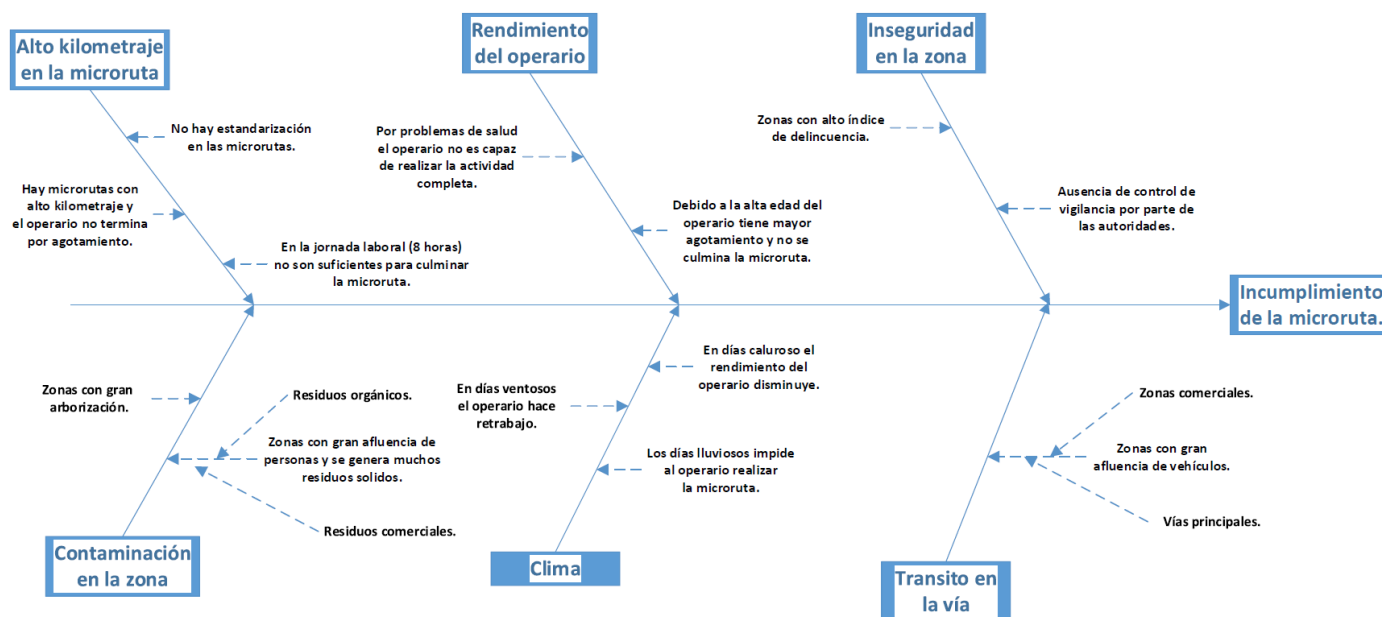


Figura 5. Diagrama de causa y efecto

Dado a lo anterior en la figura 5, se dispone a escoger una muestra de una microrruta para cada causa que presente dicha problemática. A estas microrutas se les hace seguimiento por medio de GPS donde arroja el recorrido por el operario y las horas en que se ejecuta.

4.2.1.1 Alto Kilometraje en la Microruta. Para esta causa se tiene en cuenta la microruta 2054, que por medio de entrevistas a los operarios y a al supervisor se identifica que se aumenta el kilometraje por vías peatonales y escaleras.

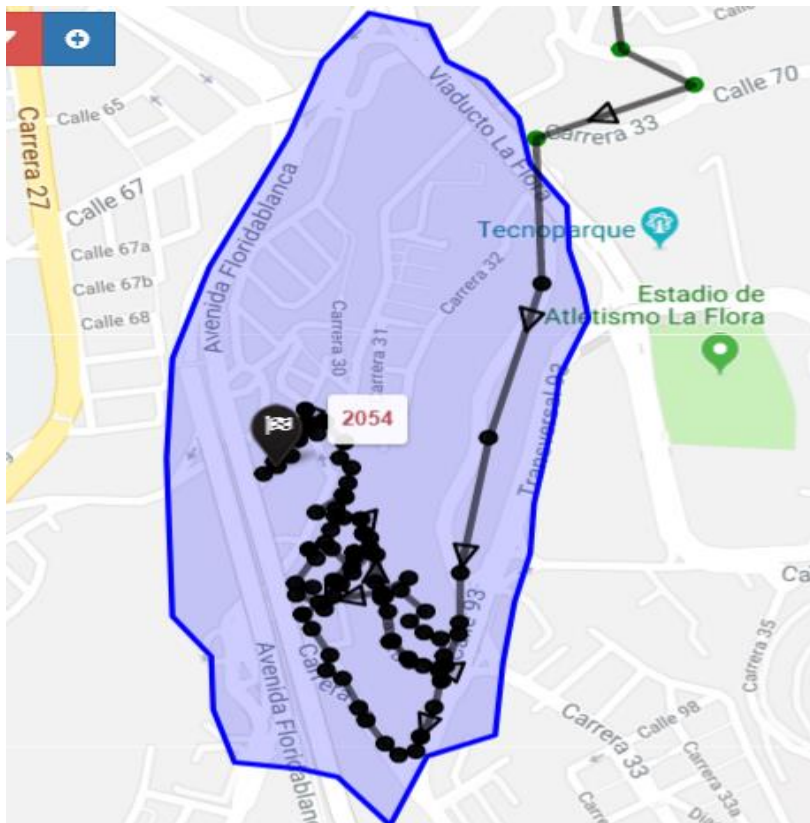


Figura 6. Geozona de la microruta 2054

Se revisa el reporte durante la jornada si está realizando la actividad y en la figura 6 se evidencia que el operario no realiza la microruta 2054 completa, por la excesiva cantidad de kilómetros derivados por vías peatonales y escaleras.

4.2.1.2 Inseguridad en la Zona. Con respecto a esta causa se tiene en cuenta la microrruta 1003 que se encuentra en la dirección calle 55 n con carrera 28 barrio villa rosa.

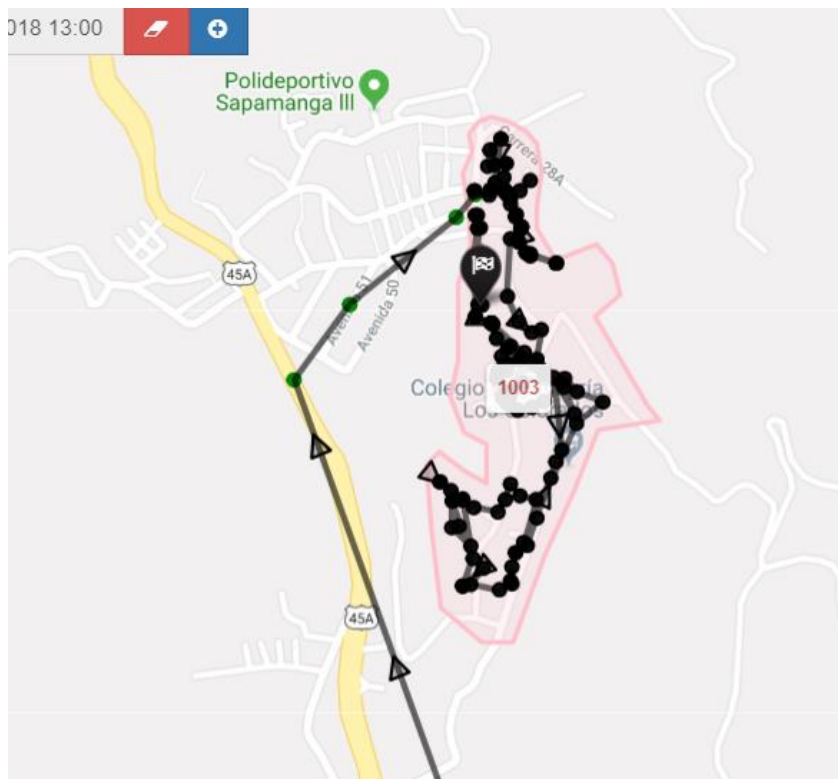


Figura 7. Geozona de la microrruta 1003

En la figura 7 se muestra lugares donde el operario no entra por la amenaza que presenta la zona y corre el riesgo de ser atacado.

4.2.1.3 Rendimiento del Operario. Con respecto a esta causa se considera la microrruta 2041 la cual tiene una medición de 3,5 kilómetros y el supervisor reporta que no es una

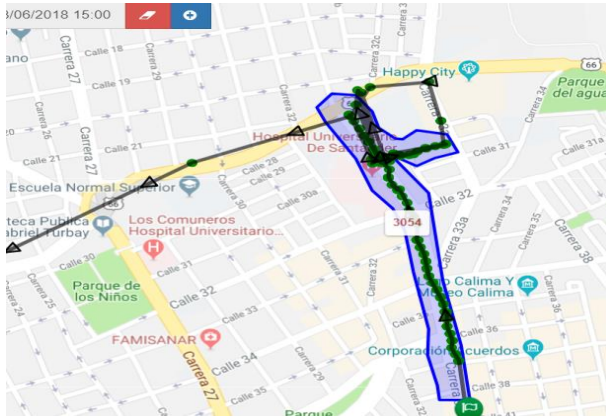


Figura 9. Geozona de la microrruta 3054

4.2.1.5 Clima. Para esta causa se selecciona la microrruta 1014 ubicada en el barrio Betania, debido que contiene escaleras empinadas, presentando riesgo en días lluviosos dado a que pueda resbalar y sufrir un accidente por lo cual el operario no realiza la microrruta completa. Se puede observar la microrruta en la figura 10.

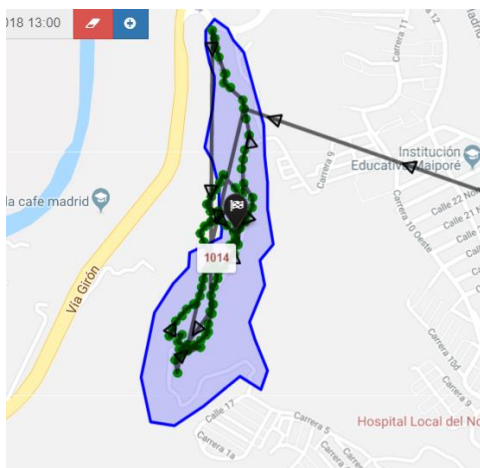


Figura 10. Geozona de la microrruta 1014

4.2.1.6 Tránsito en la Vía. En relación con esta causa se plantea la microruta 1062, dado que la falla al incumplimiento se debe a la vía concurrida por vehículos, por lo tanto, no puede ejecutar correctamente la actividad. En la figura 11 se observa la microruta.

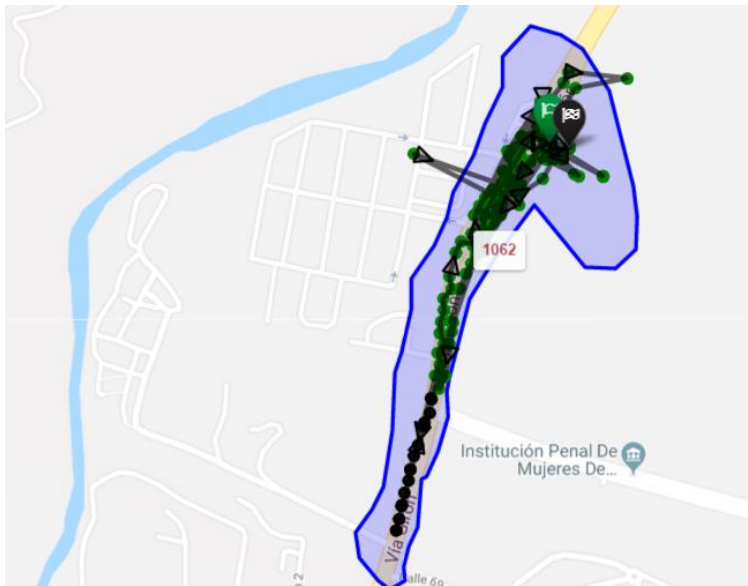


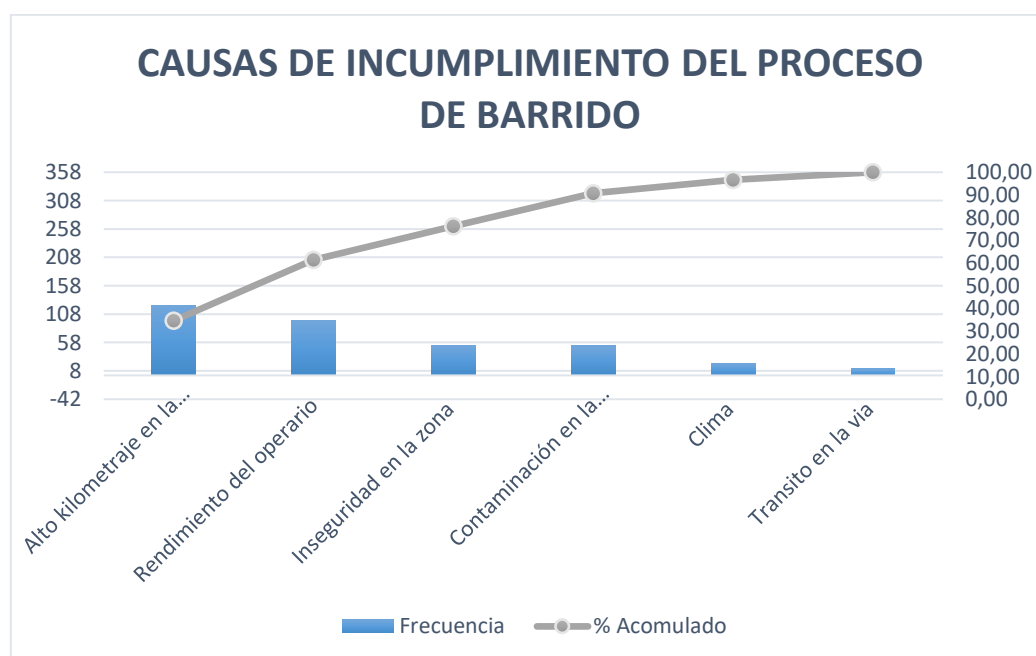
Figura 11. Geozona de la microruta 1062

Luego de clasificar las variables que causan el incumplimiento en el mes, se totaliza las quejas para el primer trimestre del año 2018 considerando los motivos descritos, y luego realizar un diagrama de Pareto para hacer el análisis e identificar las causas más influyentes en la reducción del desempeño en el proceso.

Tabla 7.*Datos del número de causas por incumplimiento en el primer trimestre en el año 2018*

Causas	Frecuencia (número de quejas)	Acumulado	% Acumulado	% Frecuencia
Alto kilometraje en la microruta	124	124	34,64	34,64
Rendimiento del operario	96	220	61,45	26,82
Inseguridad en la zona	53	273	76,26	14,80
contaminación en la zona	52	325	90,78	14,53
Clima	21	346	96,65	5,87
Tránsito en la vía	12	358	100	3,35
	358			

Nota: Datos adaptados del área de PQR'S de la EMAB

*Figura 12. Diagrama de Pareto causas de incumplimiento*

En la figura 12, se muestra las causas del incumplimiento de barrido, identificando las mayores causas y sus respectivas cantidades, en donde se observa que la causa con mayor cantidad de incumplimiento se encuentra con el alto kilometraje de las microrutas. Poco menos del 80% de las causas del incumplimiento de barrido se encuentra entre las tres primeras, que son alto kilometraje de la microruta, rendimiento del operario, inseguridad en la zona.

4.2.2 Validación de Kilómetros Barridos por Microruta. Por lo anterior, se hace necesario realizar un nuevo trazado del recorrido de las microrutas por medio de un software de diseño “AUTOCAD” especificando punto de inicio, punto de culminación y el sentido del recorrido, obteniendo una longitud con un margen de error menor que la de “Google Maps”. Luego se compara el kilometraje total arrojado por el software con el kilometraje del contrato y se encuentra una elevada diferencia.

Visualizar tabla de comparación del kilometraje total arrojado por el software con el kilometraje del contrato en el apéndice C.

En la figura 13 se muestra un ejemplo del formato que se menciona anteriormente

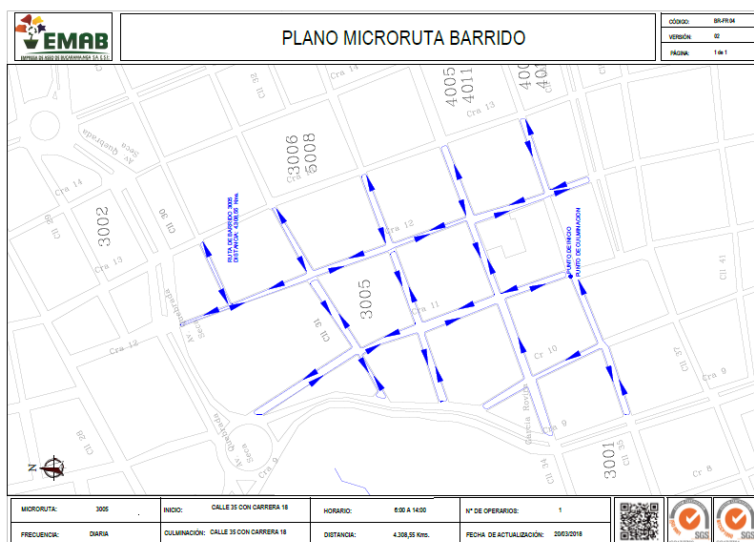


Figura 13. Plano de la microruta barrido de la ruta 3005

Teniendo en cuenta que la medición por medio de software carece de precisión por lo que el mapa no contiene las escaleras, canchas, parques y peatonales que el operario de barrido realiza, se procede a realizar una medición en la zona por medio de un odómetro, un instrumento de medición utilizado en agrimensura con un margen de error mínimo. La actividad se desarrolla en compañía del operario de barrido y el plano de la microruta, realizando un análisis de validación, en la cual se corrobora la totalidad de kilómetros real barrido sea equivalente a los kilómetros contratado, registrando recorrido del operario, punto de inicio y punto de culminación. Además, también se registra por medio de observación las otras causas que impide el buen desempeño de la actividad en la microruta.

Luego de esto se realiza una tabla con cada microruta, los kilómetros por contrato y los kilómetros de medición con el odómetro, la tabla se puede ver en el apéndice D.

Comparando y analizando el kilometraje, se concluye que en la medición con odómetro se cuenta con 184 microrutas que tienen una gran variabilidad respecto a lo contratado, teniendo en cuenta que 154 microrutas marcaron más kilometraje de lo contratado y 30 marcaron un menor kilometraje al registro de lo contratado, también se observa 100 microrutas que no tienen una variabilidad significativa a lo contratado.

4.2.3 Tiempos. Dado al análisis realizado anteriormente en la validación de kilómetros, se procede a observar detalladamente los tiempos que se utilizan para completar la actividad.

Para recaudar los datos se utiliza un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que consiste en recibir las señales calculando la posición en tiempo real de los operario por medio de una plataforma virtual, de esta forma permite llevar un control sobre la actividad, arrojando datos específicos, como los tiempos de posición que corresponden a los tiempos que el operario está realizando la actividad, tiempos de parada que hace referencia a los tiempos de inactividad del operario, los tiempos de movimientos que indican el tiempo que toma el operario en realizar otras actividades, las distancias por tramos, la velocidad media en que el operario se desplaza y el recorrido total. Para esto es necesario demarcar una Geozona en la zona a ejecutar la actividad de manera que genere alarmas registrando la hora de entrada y la hora de salida, facilitando el reporte de los eventos que transcurre durante la jornada laboral. Se puede observar en el apéndice E un ejemplo de la ruta 1054 en el horario laboral de como la plataforma presenta los reportes.

5. Análisis del diagnóstico general

Para conocer las propuestas de mejora que se formularan en el plan de mejoramiento del proceso de barrido, es necesario realizar un análisis del diagnóstico que reconozca las mejoras del proceso en general, incluyendo las microrutas que puedan ser implementadas por la empresa.

Por lo anterior, se hizo necesario definir las causas más influyentes en el primer semestre del año 2018 que afecta en el funcionamiento del proceso. A continuación, se mencionan las causas:

Alto kilometraje, se evidenció como la que más afecta la ejecución del proceso, generando incumpliendo en la calidad, por el cual se hace prioridad dar solución a esta causa.

Rendimiento del operario, esta causa se ve ligado con la anterior ya que el exceso de kilómetros a barrer comprendidos en las microrutas afecta de cierta forma el rendimiento del operario y genera un incumplimiento. El mejoramiento de esta causa es directamente proporcional a la reducción de kilómetros tratados en la anterior causa.

Inseguridad en la zona, se genera en sectores denominados “zonas rojas” por el alto índice de delincuencia. Esta causa, no será tratada ya que no es competencia reducir índices de delincuencia en el presente proyecto, sin embargo, quedará como recomendación para la empresa.

Contaminación en la zona, se evidencia en zonas con alto contenido de arborización y/o zonas comerciales. Esta causa, se tendrá en cuenta en la formulación de las propuestas de mejora para el rediseño de las microrutas.

Clima, esta causa se evidencia en días húmedos afectando el cumplimiento de la actividad, sin embargo, no será tratada porque no es posible controlar este fenómeno natural.

Tránsito en la vía, se evidencia en vías principales donde se presencia una gran cantidad de vehículos. Esta causa se tendrá en cuenta en el rediseño de las microrutas.

Con lo anterior se busca formular un mejoramiento que ataque cuyas causas para dar el cumplimiento efectivo del proceso de barrido.

6. Revisión de literatura

De acuerdo con las etapas planteadas en este proyecto, se busca dar cumplimiento al segundo objetivo que infiere en la ampliación del conocimiento haciendo una revisión de literatura en el proceso de barrido y los problemas de optimización asociados. Para esto se estableció una búsqueda a través de las bases de datos académicas que tiene suscripción la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander.

De esta forma, la investigación surge a partir del interrogante: ¿Cómo hacer más eficiente el proceso de barrido de calles utilizando la optimización matemática?

Para dar respuesta a esta pregunta, se realiza una ecuación de búsqueda utilizando las bases de datos “Science Direct” y “Scopus”, observada en la siguiente tabla:

Tabla 8.

Ecuaciones de búsqueda utilizada en las bases de datos seleccionadas

Ecuación de búsqueda para Scopus: TITLE-ABS-KEY= (“sweeping street”*) AND (“waste OR managment*”) AND (“Arc*” OR “Routing*” OR “problem”)	
Ecuación de búsqueda para Science Direct:	Tema: (Sweeping street*) AND Tema:(waste OR managment*) AND Tema: (Arc* OR routing* OR problem)

Una vez ejecutada la búsqueda, se obtuvieron 54 y 251 resultados de documentos para las bases de datos Scopus y Science Direct respectivamente, para un total de 305 resultados en los que se encuentran artículos, capítulos de libros, documentos de sesión, revisiones, entre otros tipos de documentos. Asimismo, se procedió a realizar una exclusión de criterios dada a la alta recepción de documentos en la búsqueda, la cual se muestra en la tabla 9:

Tabla 9.

Criterios de Exclusión

Criterio	Definición
Exclusión	• Tipos de documentos: Artículos de revista. • Documentos con año de publicación anterior al 2010 • Áreas o temáticas de interés: Informática e investigación de operaciones.

Para el análisis de los documentos obtenidos, se tuvieron en cuenta los documentos que correspondía al tipo de artículos de revistas en un periodo de tiempo del 2010 al 2018, teniendo en cuenta que eran el tipo de documento y años de publicación con mayor número de resultados. Además, solo se consideró el área de conocimiento de la informática e

investigación de operaciones. Luego de realizar la exclusión teniendo en cuenta los criterios señalados, se obtuvo 19 y 35 documentos en las bases de datos Scopus y Science Direct respectivamente. Cabe aclarar que, realizando una lectura rápida de los 54 artículos, se seleccionaron 10 artículos que se relacionaron con el tema, para luego realizar un análisis de los diferentes casos de investigación buscando hacer más eficiente el proceso de barrido por medio de la optimización matemática, lo cual se presenta la siguiente información:

En la gestión de residuos, cuanto mayor es la densidad de población, más residuos se generan. Este hecho afecta claramente a la gestión de residuos porque cuanto mayor es el volumen de residuos, más complicado será gestionar los servicios de limpieza. (Iriarte & Chattopadhyay, 2010)

La gestión integral de residuos comprende los servicios de limpieza entre ellos la recolección, transporte, barrido de calles, tratamiento de lixiviados, disposición final. Para llevar un correcto funcionamiento de lo que requiere un sistema en la gestión de residuos.

Este trabajo de grado se planea desarrollar en un enfoque particularmente en el servicio de barrido de calles. Por ellos es importante revisar los aportes realizados por diferentes autores a través de los años que han estudiado como ejecutan y aumentan la efectividad del barrido de calles.

El barrido de calles es una parte integral de los servicios de higiene urbana y, en consecuencia, de la gestión municipal de residuos sólidos. (Bartolozzi, Baldereschi, Iraldo,

& Daddi, 2018). Por un lado, los estudios se han centrado en el impacto positivo del servicio en el medio ambiente, con autores que destacan cómo podría reducir las emisiones de polvo de las carreteras pavimentadas y así contribuir en la mejora de la calidad del aire en entornos urbanos, en términos de concentración de material particulado (Amato & Karanasiou, 2012). Y por otro lado se centra en la reducción de los desechos sólidos como un impacto ambiental en las diferentes ciudades del mundo donde se realiza el servicio de barrido de calles con la idea de cuantificar y evaluar la limpieza de calles mejorando su calidad.

En este sentido, existen varios factores que afectan en la eficiencia de la gestión de los servicios de limpieza y recolección de residuos; sin embargo, solo hay algunas contribuciones disponibles en la literatura sobre los diversos aspectos asociados con el nivel de limpieza de las calles. Como Sevilla, Rodríguez, Garcia-Maraver y Zamorano exponen en su revisión literaria una evaluación para cuantificar el nivel de suciedad en un caso de Granada España, tres etapas donde utilizan herramientas como el sistema de posicionamiento y comunicaciones y sistemas de información geográfica para controlar el cumplimiento de horario de trabajo, de igual forma haciendo una observación en el área respecto a las longitudes de las calles, el ancho de las acera, contaminación en calles, selección de los residuos, los usuarios que contiene y tránsito en la vía, para finalmente por medio de un análisis de datos estadísticos con el coeficiente de Pearson y la utilización del software SPSS concluyera que tuvo una muestra de correlación del 0.74 en un nivel general, diciendo que es aceptable o que se cataloga como un resultado positivo. (Sevilla, Rodriguez, Garcia-Maraver, & Zamorano, 2013)

De igual manera (Lopez, Gutierrez, Collantes, Gil, & Revilla, 2017) en su estudio desarrollaron indicadores de calidad para la evaluación de los servicios de limpiezas y barrido de calles y un software para recopilación de datos y visualización de resultados en la ciudad de Santander - España, así ellos con el desarrollo de 59 indicadores dividiéndolos según su área concluyeron que los indicadores es una herramienta apropiada para la evaluación del barrido de calle y a partir de ello optimizar el servicio de limpieza y barrido de calles.

En el marco de la investigación de operaciones algunos autores estiman casos reales para estudio y construcción de los diferentes modelos de operación analizados en la aplicación de la entrega de correos, recolección de basuras, ruta de buses escolares y el barrido de calles que se manejan bajo restricciones y parámetros similares.

(Blazquez, Beghelli, & Meneses, 2012) desarrollaron en el noreste de Santiago de Chile una metodología para reducir partículas finas de PM10 utilizando rutas de barrido de bajo costo, para esto partieron del problema de enrutamiento por arco como su problema original, transformándolo a un problema de nodos “TSP Asimétrico” para obtener un ruteo optimo, haciendo comparaciones de rutas resultantes con las rutas calculada, utilizando dos solucionadores como Google Map y ArcGIS, obteniendo como resultado una reducción del 37% en la distancia total recorrida haciendo el barrido más eficiente.

Teniendo en cuenta que el presente proyecto se pretende resolver por medio del problema de enrutamiento de arco ARP, es válido revisar autores que hicieron presente en estudios analizando este tema es sus modelos de programación.

(Nossack, Oro, Pesch, & Zhang, 2017) Propusieron 2 formulaciones, una MIP y experimentos computacionales de conducta usando datos reales de RouteSmart Technologies, inc. Para darle solución a un problema del cartero rural de viento con un zigzag dependiente del tiempo, para esto primero se centraron en el efecto de la opción de zigzag y luego en el efecto de las ventanas de tiempo, obteniendo como resultado que cuando hay más opciones de zigzag el costo total es menor pero cuanto el costo de zigzag es 3.8 más grande que el normal todavía se podría buscar solución en el zigzag, es decir, el costo puede ser alto y así encontrar oportunidades de ahorro, respecto a las ventanas de tiempo en cuanto el número de ventanas es mayor y menor el ancho más fácil es la instancia, sin embargo resaltan en su estudio que no todas las instancias están resueltas a la optimalidad. Asimismo (Golden, Nossack, Pesch, & Zhang, 2017) propusieron dar solución a un problema del cartero rural ventoso con zigzags y ventanas de tiempo (WRPPZTW), donde consideraron una variante del WRPP agregando la opción adicional a los segmentos de la calle en zigzag durante ciertos momentos del día, en la cual dependía de si la calle es estrecha o el tráfico es liviano, es posible dar servicio a ambos lados de la calle en un solo paso zigzagueando o si la calle es ancha o el tráfico es pesado, se debe dar servicio a la calle por dos cruces simples. En este caso convirtieron el problema de enrutamiento de arco a un problema de enrutamiento de nodo.

De igual forma se presenta algunos autores que realizaron estudios incluyendo arcos capacitados, tema de investigación que se desglosa de ARP.

(Usberti, Morelato, & Morelato, 2013) realizaron su estudio en una metaheurística de alta gama para resolver CARP, basado en un procedimiento de búsqueda adaptativa aleatorizado codicioso (GRASP) con reencaminamiento evolutivo de ruta, donde seleccionaron valores a partir de un conjunto de valores posibles en función del costo de solución promedio inducido para uno de ellos, no restringieron el trabajo a la búsqueda en el espacio de soluciones factibles, sino que también decidieron explorar las rutas que atravesaban los límites factibles/no factibles, lo cual se logra por medio de una búsqueda local no factible, reduciendo el costo de una solución factible localmente óptima a través de movimiento de capacidad no factible. Como conclusión en sus resultados expusieron que GRASP superó a todas las demás metaheurísticas con respecto a la desviación límite inferior y al número de mejores soluciones encontradas a pesar del tiempo de ejecución adicional.

(Martinez, Loiseau, Resende, & Rodriguez, 2011) desarrollaron el algoritmo para CARP basado en las ideas de Biased Random Algorithms genéticos clave (BRKGA) y búsqueda local, donde se apoyaron bajo el marco propuesto Gon, Calves y Almeida, incluyendo características como la mutación y una codificación clave para el CARP. En su codificación los vectores claves obtienen valores aleatorios, la longitud de cada vector era igual al número de arcos requeridos en la instancia y los delimitadores de rutas se agregaron a los vectores para permitir la detención rápida de cada vehículo en la solución de la ruta, en su formulación del modelo resaltaron que para obtener la solución completa del problema, la ruta con menor costo entre los nodos incidentes se debe determinar los arcos sucesivos en cada ruta y por último concluyeron como resultado que obtuvieron soluciones óptimas o casi óptimas demostrando en sus análisis computacionales que la heurística es efectiva.

(Borges, Plastria, Ferreira, & Sousa, 2014) Exponen en un estudio un problema de enrutamiento de ubicación- arco donde permite una división de demanda y buscan minimizar el kilometraje muerto siendo un problema exacto. Realizan enfoques heurísticos para abordar el LARP, así como las propuestas para instancias de referencia, desarrollando y utilizando métodos constructivos de mejora. Concluyendo con dos métodos constructivos, tres mejoras heurísticas y cuatro metaheurísticas; por la falta de instancias idearon un nuevo conjunto de casos adaptados al CARP, en cuanto a las heurísticas el TS- GRASP supero otros enfoques e hizo competitivo los tiempos computacionales teniendo un equilibrio en ubicación y costos de ruta, asimismo se dejó abierto el trabajo para estudios futuros en el desarrollo de nuevos conjuntos de benchmark.

Como anteriormente se menciona en los casos de investigación, se observa que se ha realizado estudios bajo el marco de problema de enrutamiento con arco basado en soluciones heurísticas en diferentes ámbitos de aplicación, sin embargo en el barrido de calles para la gestión de residuos sólidos, no se evidencia estudios específicos en el tema, ya que los problemas utilizados se direccionan al cartero rural con restricciones de tiempo, adiciones de zigzag o incluyendo cierta capacidad en sus modelos. El presente proyecto busca realizar a un aporte a la aplicación del barrido de calle para la gestión de residuos sólidos en la EMAB dando solución a la optimización de rutas por medio del problema de enrutamiento con arco.

7. Formulación e Implementación de Propuestas de Mejora

7.1 Mejoramiento en la Documentación del Proceso de Barrido

7.1.1 Planos de Microrutas Establecidas

Objetivo de la propuesta: Levantar planos de las microrutas actuales de barrido.

Desarrollo de la propuesta: En la documentación encontrada del proceso de barrido se encontraron unos mapas dibujados en google map, material con que trabajaba los operarios, sin embargo no resultan ser claros por falta de señalización, por lo tanto se empezó a realizar reuniones con los operarios para corroborar microruta por microruta para así ejecutar el trazado de las microrutas en AutoCAD de modo que se cuente con los mapas digitales e impresos de las microrutas de barrido y así hacer la debida entrega de las 284 microrutas a cada operario, además de tener un archivo en la empresa. Ver un ejemplo en el apéndice F.

7.1.2 Formatos de Calidad con Respecto a Microrutas

Objetivo de la propuesta: Establecer un formato de calidad para la descripción grafica de las microrutas.

Desarrollo de la propuesta: una vez de haber realizado el trazado de las microrutas de barrido con la utilización de AutoCAD se crea un formato teniendo en cuenta los estándares de calidad en las cuales se incluyeron, logo de la empresa, logo de calidad de la SGS, y los requerimientos de la norma que especifica contener dato como el horario, frecuencia, punto de inicio, punto de culminación, código de microruta, distancia, cantidad de operarios y fecha de actualización. Esto para el cumplimiento

de esta y la debida entrega de los planos al operario. Ver un ejemplo en el apéndice G.

7.1.3 Base de Datos de la Microrutas

Objetivo de la propuesta: Organizar una base de datos con la descripción de las microrutas de barrido.

Desarrollo de la propuesta: Dado a la falta de una bitácora donde se recepcione la información del proceso de barrido, se formuló una base de datos con la descripción de la ubicación de las microrutas además de datos específicos como puntos de inicio y culminación, horario, días atendidos, frecuencia, código de la microruta, longitud por microruta, longitud por semana, la cual se clasifica por macroruta a la que pertenece, de modo que se organizó para la macroruta 1 y 2 contiene un total de 87 y 73 microrutas respectivamente siendo ejecutadas por el operador logístico bello renacer y la macroruta 3 contiene un total 124 microruta la cual son ejecutadas por el operador logístico ciudad brillante. Ver en el apéndice H.

7.1.4 Herramienta Pedagógica con el fin de Facilitar la Identificación de Datos del Proceso de Barrido en el Área de PQR

Objetivo de la propuesta: Facilitar la identificación de las direcciones de quejas recibidas del proceso barrido para el área de PQR.

Desarrollo de la propuesta: uno de los problemas evidenciados durante el diagnóstico realizado para el proceso de barrido se hallaron en el área de PQR, la cual a la hora del personal de servicio al cliente recibir las quejas por parte del usuario, no

tenía la información al instante para dar respuesta al usuario, haciendo esto un proceso más largo de modo que se transfería al supervisor del área encargado para que el transmitiera la información y así el área de PQR notificaba al usuario en un lapso de 15 días. Por lo tanto, se buscó la forma que a la hora de que la persona servicio al cliente recibiera la queja por vía telefónica y/o presencial, esta pudiera acceder a un sistema digital mostrando la dirección indicada por el usuario, ubicándola en un mapa e identificar la microruta que opera en el sector con sus respectivas características como la frecuencia, días atendidos, horario, código de microruta y operador logístico que la realiza. Así las cosas, se utilizó un mapa en formato dwg de AutoCAD y se subió a un visor en línea de Autodesk, de tal forma la persona de servicio al cliente en el mapa buscaba la dirección identificando el código de la microruta y a que operador logístico pertenecía, luego con la base de datos buscaba los datos característicos de la microruta. Esta solución se determinó en primera instancia de modo que se ejecutó por dos meses, pero resultó un tema ineficiente por demora de la herramienta, en lo que la empresa decidió invertir en un software denominado ArcGIS que es un sistema que permite recopilar, organizar y distribuir información geográfica. De modo que se hizo el respectivo procedimiento de exportar y organizar datos, además de capacitaciones al personal de tal forma de iniciar el uso del sistema en la recepción de datos, monitoreo y publicaciones al usuario, permitiendo automáticamente revisión de las microrutas en un visor en línea facilitando la búsqueda de los datos brindando al usuario una información exacta y al instante. Ver el apéndice I.

7.1.5 Actualización de los Manuales del Proceso de Barrido

Objetivo de la propuesta: Actualizar los manuales del proceso de barrido.

Desarrollo de la propuesta: otro problema evidenciado en el proceso de barrido es la desactualización en la documentación de los manuales del proceso de barrido del año 2007, la cual durante el tiempo de operación han tenido cambios que no están registrados en los manuales, por lo tanto, se hizo necesario una actualización de los manuales donde se describe el procedimiento del proceso con sus respectivas actividades, las herramientas a utilizar y demás información. Ver en el apéndice J.

7.2 Reestructuración en la Microrutas de Barrido

Objetivo de la propuesta: Estandarizar las microrutas de barrido.

Desarrollo de la propuesta: Por medio del análisis del diagnóstico se identificaron las dos causas que más afectan la ejecución del proceso de barrido, precisando el alto kilometraje en las microrutas y el rendimiento del operario. Por lo tanto, la empresa ve la necesidad de realizar la estandarización de todas las microrutas basándose en un estudio realizado en Bogotá, el cual menciona, los operarios cumplen con la jornada laboral de 8 horas sin desgaste, sin agotamiento y con una correcta culminación de la actividad, siempre y cuando las microrutas de barrido deben estar en un intervalo de 4,0 a 4,2 kilómetros certificando la eficiencia del operario en la función.

De esta forma, se procedió a realizar la respectiva reducción en las microrutas con alto kilometraje y el aumento en las microrutas con bajo kilometraje, logrando la

estandarización en las mismas, haciendo uso de AutoCAD sin dejar de lado la medición realizada con el odómetro. Así las cosas, se obtuvo un aumento de 27 microrutas, por lo tanto, se pasó de contar 284 microrutas a un total de 311 microrutas. Del mismo modo, la reestructuración de las microrutas busca una eficiencia y calidad en la ejecución del proceso de barridos, debido a la estandarización de las microrutas se puede decir que los operarios tienen igualdad de cargas, contando con la capacidad de completar la actividad y aumentando el rendimiento del operario.

Cabe destacar que luego de realizar la reestructuración, a la empresa se le añade 1.489 kilómetros al mes de barrido de una nueva zona que era operada por las empresas Limpieza urbana y Veolia, con el fin de completar la cifra a realizar por la empresa designada en el PGIRS, por lo tanto, se hizo necesario la creación de 15 microrutas nuevas, obteniendo finalmente un total de 326 microrutas de barrido.

Una vez terminas, las microrutas fueron entregadas a sus operadores logísticos realizando la socialización de las nuevas microrutas a los operarios.

Ver en el apéndice K una base de datos con la reestructuración de las microrutas.

7.2.1 Medición de la Reestructuración de Kilómetros en Microrutas. Luego de terminar la reestructuración de las microrutas de barrido se realizó la entrega de las nuevas microrutas a los operadores logísticos Ciudad Brillante y Bello Renacer, se revisaron, se ajustaron y se socializaron al operario asignado a cada microruta para iniciar su ejecución.

Una vez iniciada la ejecución, se realizó un seguimiento de las microrutas haciendo un análisis de la recepción de quejas de barrido en el área de PQR que se generaron en el mes de septiembre y se corroboraron haciendo una medición de tiempos por medio del sistema de posicionamiento global junto a la inspección realizada en campo con ayuda del supervisor.

De tal modo se generaron durante el mes de septiembre 42 quejas correspondientes al proceso de barrido, de las cuales se hizo el respectivo estudio a cada queja, tomando en cuenta su ubicación para proceder a realizar la inspección en campo por parte del supervisor. Una vez el supervisor realizó la visita en campo, inspeccionando el barrido ejecutado por el operario se encontraron que 17 quejas sin trascendencias que el usuario realizaba, por lo tanto se redujeron a 21 quejas donde se identificó que 10 de ellas provenían de sectores bastante contaminados como son el centro, la carrera 15, san francisco y san Alonso, además 7 de las quejas provenían de sectores donde se presencia un alto flujo de tránsito en vías como es la carrera 33, carrera 27 y carrera 21, restando 4 quejas que se clasificaron en sectores que contienen un alto número de áreas comunes como escaleras, parques y/o peatonales. A continuación se observa una tabla de la clasificación de las quejas generadas en septiembre en el proceso de barrido.

Tabla 10.*Quejas recibidas en septiembre del 2018*

Quejas sin trascendencia	21
Quejas en zonas contaminadas	10
Quejas con alto flujo de tránsito	7
Quejas con alto contenido de áreas comunes	4
Total	42

Nota: Datos adaptados del área de PQR'S de la EMAB

Dada a la clasificación de las quejas generadas permitió realizar un seguimiento de los tiempos por medio del GPS, de tal forma que se tomó las ubicaciones de las quejas generadas

para identificar a que microruta pertenencia, en la siguiente tabla se observa la identificación de las microrutas con relación a la ubicación del sector al que pertenece.

Tabla 11.*Microrutas identificadas*

Código de microruta identificada	Sector
8062	Carrera 15
8066	Centro
8051	B. San francisco
8002	Carrera 27
8013	Carrera 33
8096	Carrera 21
6010	San Alonso
6021	San Alonso

Nota: Datos adaptados del área de PQR'S de la EMAB

Luego de identificar las microrutas según su ubicación, se procedió a recolectar los datos de tiempos durante tres semanas, así se obtuvo la siguiente tabla de resultados:

Tabla 12.*Medición de tiempos de las microrutas identificadas*

Código de microruta	Tiempo promedio de descanso (min)	Tiempo promedio de barrido (min)	Tiempo total de ejecución de la actividad (min)
8062	45	487	542
8066	35	465	500
8051	40	478	518
8002	50	539	589
8013	46	488	524
8096	38	541	479
6010	47	472	519
6021	55	487	532

Nota: Datos adaptados del área de planeación de la EMAB

Dada a los datos descritos anteriormente se observa que algunos tiempos de estas microrutas no logran cumplirse, excediendo los 480 minutos designados para ejecutar la actividad aun destacando que los tiempos que toman los operarios como pausas activas se aplica el mínimo posible.

7.2.2 Análisis de Restructuración de Kilómetros en Microrutas. A partir del seguimiento de la restructuración realizada con su respectiva medición se analizaron los resultados obtenidos de tal modo que se concluye que:

- Las microrutas ubicadas en sectores como el Centro, B. San Francisco, la carrera 15 y San Alonso que se caracteriza por ser una zona altamente contaminada dada a la presencia de empresas industriales y comerciales, se vieron afectadas por la restructuración realizada debido a que anteriormente se maneja las microruta con una longitud entre 3 y 3,5 km, de modo que se generaron inconformidades por los operadores logístico expresando que las microrutas presentaban una sobrecarga laborar para el operario que se ve representada con desgaste e incumplimiento del servicio prestado.
- Se encontró una falla en la restructuración, debido a que se identificaron áreas en campo que no se contemplaron en el momento de dibujar las microruta dado a que el mapa que se utilizó no contenía dicha áreas, influyendo en la medición de los kilómetros a barrer y afectando directamente el tiempo que requiere la actividad para su perfecta culminación.
- Se presentó en el sector de la Joya que la microruta registrada anteriormente en la zona contaba con una medición de 8,3 km, debido la restructuración se pudo

dividir la zona para que se ejecutara con dos operarios según la estandarización deseada por la empresa, sin embargo la geografía del sector se hace compleja y presenta gran arborización lo que explica que aun disminuyendo a 4,2 km la estandarización no es suficiente para satisfacer el debido cumplimiento que requiere el servicio.

8. Diseño del Modelo de Programación Para el Barrido

Según el análisis descrito anteriormente y tomando como base la revisión de literatura, se procede a dar cumplimiento al objetivo 3 que se plantea en el proyecto, la cual consta del diseño del modelo de programación con el fin de buscar una solución óptima a los problemas evidenciados en la restructuración de las microrutas del proceso de barrido, utilizando el problema de ruteo por arcos ARP con distancias eulerianas, fundamentado entre dos vértices del grafo donde se pretende resolver el problema, la cual se puede distinguir el caso de enlaces no dirigidos con idéntico costo en ambas direcciones. En este caso los enlaces reciben el nombre de aristas y se pueden recorrer en ambos sentidos, se hace importante resaltar dado que es el caso aplicado en este proyecto tratando el tema de limpieza de calles. Además se diferencia del ruteo por arcos capacitado, por el simple hecho de no contar con un costo o carga en la arista que es característico del CARP, teniendo como ejemplos la recolección de basuras por vehículo.

8.1. Características del Modelo

Tabla 13.

Características del Modelo

Criterios	Consideraciones
Optimización matemática.	Problema de ruteo por arcos (ARP)
Alcance del problema	Establecer microrutas para el barrido de calles en un tiempo límite de 8 horas.
Objetivo del problema	Balance de kilómetros y reducción de desplazamientos.
Parámetros	• Matriz de distancia • Matriz de tiempos de recolección • Matriz de tiempos de desplazamiento • Matriz de recolección (las matrices se consideran como elementos para definir tiempos y recorridos)
Restricciones	• Frecuencias por semana • Tiempo de la jornada laboral • Un operario por microruta.

8.2 Modelo Matemático

Índices:

- ij , vértices/nodos.
- k , personas u operarios que barren.

Parámetros:

- D_{ij} : distancia entre el vertice i al vertice j
- TC_{ij} : tiempo de recolección entre i a j
- TD_{ij} : tempo de desplazamiento entre i a j .
- Z_{ij} : recolección entre i a j .
- T : tiempo máximo de la ruta.

Variables:

- X_{ijk} : 1 si el operario k se desplaza del nodo i al nodo j , 0 D.L.C.

- Y_{ijk} : 1 si el operario k recolecta del nodo i al nodo j , 0 D.L.C.
- B_k : 1 si el operario k se utiliza, 0 D.L.C.

Función Objetivo:

$$\text{minimizar } \sum_k \left[\sum_i \sum_j TC_{ij} * Y_{ijk} + TD_{ij} * X_{ijk} \right]$$

Sujeto a:

$$2 \left[\sum_k Y_{ijk} \right] \geq (Z_{ji} + Z_{ij}) \quad \forall arco (i, j) \quad (1)$$

$$\sum_j X_{ijk} + \sum_j Y_{jik} - \sum_j X_{jik} - \sum_j Y_{jki} = 0 \quad \forall k, \forall i \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_j TC_{ij} * Y_{ijk} + TD_{ij} * X_{ijk} \leq T(B_k) \quad \forall k \quad (3)$$

$$\sum_j (X_{0jk} + Y_{0jk}) \geq B_k \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} X_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall k \quad (5)$$

$$X_{ijk} \in \mathbb{Z}; \quad Y_{ijk}, B_k \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (6)$$

8.3 Explicación del Modelo

La función objetivo considera minimizar los tiempos de recolección y de desplazamiento totales. (1) Permite asegurarse que realmente se recolecte en los arcos que hay denotados en la matriz Z_{ij} (2) Indica que a cada nodo i , el operario que llega a este es el que debe salir. (3) Controla el tiempo total de recorrido por operario que no sea mayor al tiempo T estimado (si el operario k es utilizado). (4) Indica que si el operario es utilizado, este debe salir del

origen para recolectar o para desplazarse hacia un nodo j cualquiera. (5) Restricciones de eliminaciones de subtours. (6) Condiciones de no negatividad de las variables.

9. Técnica Heurísticas

Teniendo en cuenta el planteamiento del modelo de optimización anterior se procedió a dar cumplimiento a la cuarta etapa del proyecto que indica el diseño de la herramienta informática, la cual parte del modelo explicado anteriormente, no obstante se realizaron modificaciones al modelo inicial dado que este estaba diseñado para dos operarios pero se requirió un aumento de M operarios para el debido cumplimiento del proceso, esto llevo a utilizar una técnica heurística aplicando un algoritmo que permita una solución factible. Además, cabe resaltar que en el modelo inicial se consideró que los operarios partían del origen observado en la restricción (4) del modelo de programación pero en el algoritmo se diseña basado en la secuencia, es decir, el siguiente operario comienza donde el anterior terminó.

9.1 Diseño de la Herramienta Informática (Algoritmo)

9.1.1 Criterios de Programación

1. Se ubica el punto de origen (vértice).
2. Para desplazarse a otro nodo, mira aristas a recoger y tiempo.
 - Si hay varias a recoger toma mayor tiempo.
 - Si hay varias a recorrer, toma la que conecte al nodo más cercano con conexiones impares.

criterios de parada

$$= \frac{\text{todos los vertices numero total de entradas} = \text{numero total de salidas}(0 \text{ ó pares})}{\sum 1 \text{ en microrutas de recoleccion}}$$

Si no se cumple, busca el primero y agrega a recorrer desde o hacia ese punto.

Mira la matriz de aristas a recoger, busca los unos en esa matriz y revisa esa posición en la matriz, y toma el mayor. Si no hay que recoger, mira la matriz de tiempos de recorrer y toma el menor evaluando el que tenga conexiones impares.

Inicia tomando el origen.

1. Busca en la fila de origen (N. actual) en la matriz de recolección (Bin) las celdas con 1, si :
 - a) No hay 1's, entonces va a matriz de desplazamientos.

Nota: se evita desplazamientos iterativos entre dos mismos nodos, el algoritmo controla que se comience con un nuevo operario.
 - b) Si hay un 1, lo toma y va a matriz de recolección (tiempos), toma tiempo.
 - c) Si hay varios 1's, va a la matriz de recolección, toma el mayor tiempo.
2. Elimina la arista ij y ji en matriz recolección (Bin), si fue en el 1(a ó c).
3. Suma 1 en la celda, correspondiente a la arista seleccionada, en la matriz solución.
4. Suma 1 en la columna de salida i y en la columna de entrada j de los nodos correspondiente.
5. Suma la distancia total en la casilla costo.
6. Registra el nodo j en la secuencia.

ARP para varios operarios.

Registrar:

- Nodo origen, el seleccionado inicialmente
- Nodo fin, será el nodo que tenga mayor entrada que salida.

9.1.2 Matriz de Recolección Binaria. Se formuló una matriz de recolección binaria en el Excel, la cual se escogió un sector de la ciudad ubicando los nodos que conecta cada calle (arista) para especificar punto de origen y destino de las calles en el que se recolecta.

9.1.3 Matriz de Tiempos de Recolección. Luego de obtener la matriz de recolección binaria, se procedió a formular la matriz de tiempos de recolección a partir de la matriz binaria en el que se revisa los unos que representan las calles a barrer y se tomó los tiempos de barrido en cada calle por medio de GPS, se saca el promedio de los datos tomados durante una semana y se anota los tiempos de registrados en la medición.

9.1.4 Matriz de Tiempos de Desplazamientos. En la formulación de la matriz de tiempos se procedió de la misma manera que en la matriz de recolección, se tomó como matriz principal la matriz binaria y se parte de ella para registrar los datos tomados por medio de GPS durante una semana de los tiempos que tarda en recorrer la calle sin recoger.

9.2 Verificación de la Herramienta Informática

A continuación se hace una breve explicación de cómo se desarrolla la herramienta aplicando un ejemplo de 14 nodos. Teniendo en cuenta los criterios expuestos en el diseño de la herramienta, se realiza los siguientes pasos para buscar la solución óptima del modelo.

Paso 1: se debe crear la matriz binaria de recolección con la cantidad de nodos a utilizar en este caso se hace con 14 nodos incluyendo el origen y se debe especificar con un uno (1) la arista donde debe barrer y un espacio vacío donde no se ejecuta el barrido. Como se observa en la figura 14.

MATRIZ RECOLECCIÓN (BIN)														
PUNTO	ORIGEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ORIGEN		1								1				
1	1			1					1					
2		1						1						
3			1		1		1							
4				1		1								
5					1		1							1
6				1		1						1		
7			1				1		1					
8		1						1		1			1	
9	1								1		1			
10										1			1	
11							1						1	1
12									1		1	1		
13						1						1		

Figura 14. Matriz binaria de recolección

Paso 2: para plantear la matriz de tiempos de recolección se toma como base la matriz binaria de 1's y se anota los tiempos que tarda en recolectar el operario en casilla donde está los 1's en las casilla que no contienen 1's se agregan M, la cual al convertir el aplicativo las toma como ceros (0), como se observa en la figura 15.

MATRIZ T. RECOLECCIÓN															
PUNTO	ORIGEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	M	3,015	M	M	M	M	M	M	M	4,5	M	M	M	M	
	3,015	M	M	3,21	M	M	M	M	1,2	M	M	M	M	M	
	M	4,125	M	M	M	M	M	1,11	M	M	M	M	M	M	
	M	M	1,095	M	2,595	M	2,265	M	M	M	M	M	M	M	
	M	M	M	2,595	M	0,45	M	M	M	M	M	M	M	M	
	M	M	M	M	0,45	M	2,28	M	M	M	M	M	M	2,385	
	M	M	M	2,265	M	2,205	M	M	M	M	M	3,11	M	M	
	M	M	1,11	M	M	M	4,275	M	2,22	M	M	M	M	M	
	M	2,34	M	M	M	1,455	M	2,22	M	3,3	M	M	2,52	M	
	1,17	M	M	M	M	M	M	M	1,35	M	2,415	M	M	M	
	M	M	M	M	M	M	M	M	M	2,415	M	M	5,385	M	
	M	M	M	M	M	M	M	2,385	M	M	M	M	2,52	5,385	
	M	M	M	M	M	M	M	M	3,15	M	4,5	8,55	M	M	
	M	M	M	M	5,45	M	M	M	M	M	M	8,55	M	M	

Figura 15. Matriz de recolección

Paso 3: de igual manera para plantear la matriz de tiempos de desplazamiento se realiza el mismo procedimiento utilizado en la matriz de tiempos de recolección, donde se toma como base la matriz binaria de 1's y se anota los tiempos que tarda en desplazarse el operario en casilla donde está los 1's en las casilla que no contienen 1's se agregan M, la cual al convertir el aplicativo las toma como ceros (0), como se observa en la figura 16.

MATRIZ T. DESPLAZAMIENTO															
PUNTO	ORIGEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
ORIGEN	M	3,015	M	M	M	M	M	M	M	4,5	M	M	M	M	
1	3,015	M	M	3,21	M	M	M	M	1,2	M	M	M	M	M	
2	M	4,125	M	M	M	M	M	1,11	M	M	M	M	M	M	
3	M	M	1,095	M	2,595	M	2,265	M	M	M	M	M	M	M	
4	M	M	M	2,595	M	0,45	M	M	M	M	M	M	M	M	
5	M	M	M	M	0,45	M	2,28	M	M	M	M	M	M	2,385	
6	M	M	M	2,265	M	2,205	M	M	M	M	M	3,11	M	M	
7	M	M	1,11	M	M	M	4,275	M	2,22	M	M	M	M	M	
8	M	2,34	M	M	M	1,455	M	2,22	M	3,3	M	M	2,52	M	
9	1,17	M	M	M	M	M	M	M	1,35	M	2,415	M	M	M	
10	M	M	M	M	M	M	M	M	M	2,415	M	M	5,385	M	
11	M	M	M	M	M	M	2,385	M	M	M	M	M	2,52	5,385	
12	M	M	M	M	M	M	M	M	3,15	M	4,5	8,55	M	M	
13	M	M	M	M	5,45	M	M	M	M	M	M	8,55	M	M	

Figura 16. Matriz de tiempos de desplazamiento

Paso 4: Una vez planteadas las matrices principales (recolección binaria, tiempos de recolección y tiempos de desplazamientos) se copia las matrices en la hoja principal de la aplicación informática y se procede a correr la heurística obteniendo solución óptima, donde el costo se interpreta como el tiempo total en minutos que toma en realizar la secuencia que forma la microrruta, cada secuencia es una microrruta es decir que se asignara a un operario, como se observa en la siguiente figura 17 desarrollada en el ejemplo de 14 nodos.

COSTO		SECUENCIA													
		ORIGEN													
25,95	1	6													
24,345	2	6													

Figura 17. Solución de la herramienta

En las siguientes figuras se puede observar cómo se ejecuta el ejemplo anterior usando Google Maps en una sector real de Bucaramanga, en el cual se plantea los nodos enumerando los vértices de las calles con el ejemplo de 14 de nodos, donde el nodo origen es denotado por el número 14, ya que la herramienta inicia desde el número uno 1 y no desde el número cero (0). Como se observa en la figura 18.

Luego de ubicar los nodos se trazó una línea teniendo en cuenta la secuencia obtenida en la solución de la herramienta informática para formar la microruta que será realizada por el operario, en el caso de los 14 nodos se obtuvo dos microrutas para asignar a dos operarios, en las figuras se muestra el trazado de la microruta obtenido en la solución final.

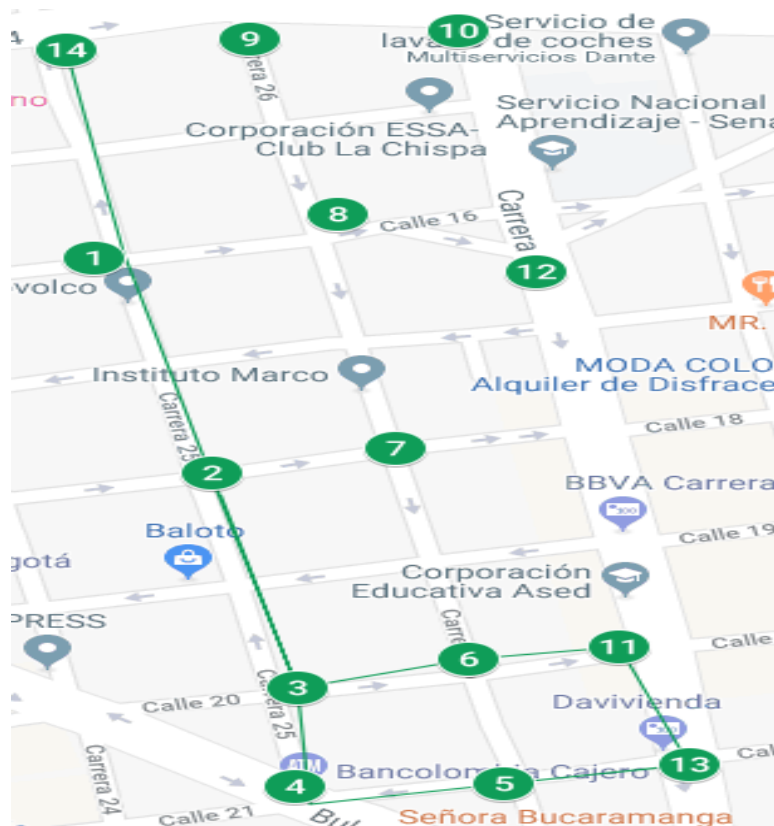


Figura 18. Ejemplo de los nodos

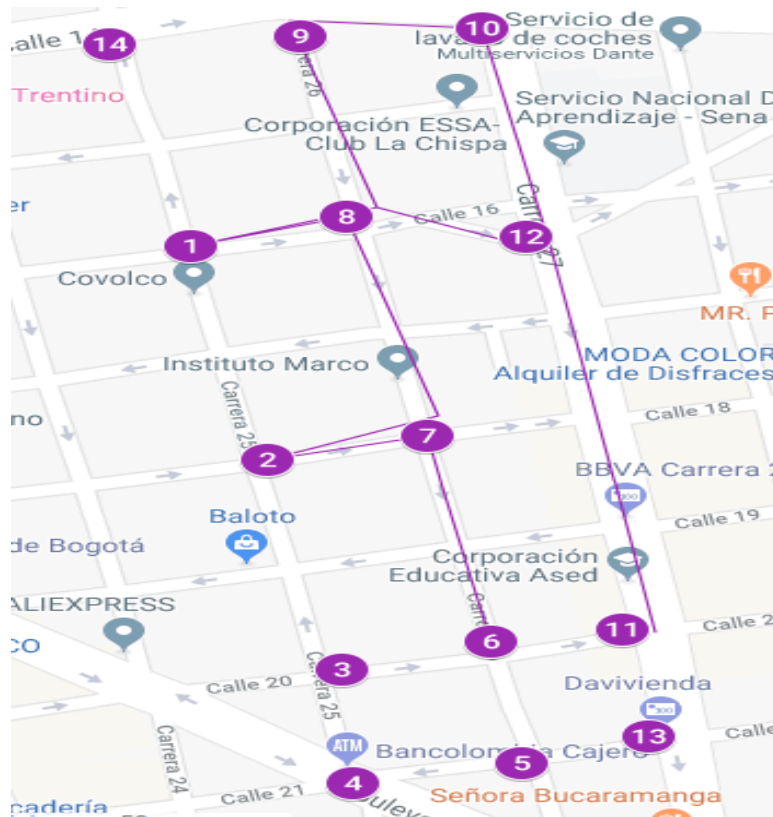


Figura 19. Ejemplo de los nodos

9.3 Implementación de la Herramienta Informática

Luego de hacer la verificación de la herramienta informática en la que se contrastó la validez del aplicativo, se procede a iniciar la implementación de la herramienta informática, para esto se seleccionó el sector del barrio San Alonso y parte del barrio San Francisco, con el fin de realizar la implementación, siendo un sector caracterizado por alta contaminación por arborización, tránsito de personas y comercialización, lo que se refleja en los PQR y en la medición realizada anteriormente en el análisis de la reestructuración señalada por la empresa.

En la ejecución de la implementación se decidió hacerla por separado teniendo como base la división geográfica de los dos barrios, para esto se capturo una imagen de los barrios por

medio de la aplicación de Google Maps, facilitando la ubicación de los nodos en las calles que al programarse en la herramienta son consideradas como aristas, obteniendo grafos de 144 nodos para el barrio San Francisco encontradas en la figura 20 y otro de 247 para el barrio San Alonso. Luego de la ubicación de los nodos, se llevó a cabo el planteamiento de las matrices principales que es conformada por una matriz de recolección binaria o matriz de 1's la cual indica las aristas en las que se debe recolectar, una matriz de tiempos de recolección que indica el tiempo que demora en recolectar un operario por arista y una matriz de tiempos de desplazamientos que registra los tiempos que toma el operario en recorrer la arista. Una vez planteadas las matrices principales, las cuales se pueden visualizar en los apéndices L y M, se procede a dar la solución heurística de las matrices, obteniendo un resultado satisfactorio para la matriz de 144 nodos (ver en 9.3.1 Resultados de la Solución Heurística), con respecto al resultado obtenido por la matriz de 247 nodos, se identificó que después del nodo número 130 no tenía conexión con los nodos anterior, por lo que requirió una división de la matriz de 247 nodos en dos matrices, de tal forma que se ordenaron 130 nodos como lo muestra la figura 21 para plantear su respectiva matriz encontrada en el apéndice N y 118 nodos como se observa en la figura 22 con su respectiva matriz encontrada en el apéndice O, y de tal forma se obtuvo la solución heurística.



Figura 20. Ejemplo de los nodos (Matriz 144)

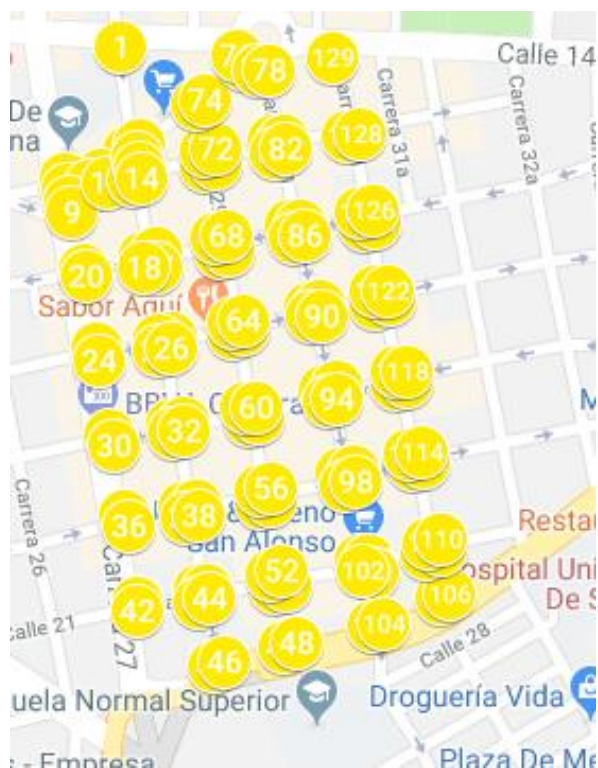


Figura 21. Ejemplo de los nodos (Matriz 130)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y												
1			Cantidad de Puntos o Nodos,																							En esta hoja, dando											
2			incluyendo a la Planta u Origen:	118																						colocando valores m											
3																																					
4	FASE UNO - Matriz de tiempos										1. Copiar matriz de tiempos										2. Borrar matriz de tiempos																
5		ID	MATRIZ RECOLECCIÓN (BIN)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22												
			PUNTO	ORIGEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21												
6	SUMA																																				
7	1	1	ORIGEN		1																																
8	3	2	1	1		1	1																														
9	2	3	2		1			1																													
10	3	4	3		1			1	1																												
11	4	5	4			1	1			1					1																						
12	3	6	5				1			1	1																										
13	4	7	6					1	1			1		1																							
14	2	8	7						1			1																									
15	3	9	8							1	1		1																								
		Aplicativo		Matriz Principal																																	

Figura 23. Fase 1 del aplicativo

Una vez se tenga la matriz principal en la fase uno se pasa a la fase dos donde se debe registrar la longitud máxima por escobita (operario) que se determina por el tiempo total que toma un operario en ejecutar una microrruta, de esta manera se utiliza un tiempo 440 minutos que corresponde al tiempo laboral de cada operario, cabe aclarar que se asigna un tiempo total de 40 minutos de descanso en el que se distribuye por 20 minutos en dos secciones en todo el transcurso de la jornada laboral que se totaliza a 480 minutos, es decir, 8 horas. Una vez se verifique el registro los 440 minutos, se da un clic en el botón “Heurística” como se muestra en la figura 24.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1214																									
1215			FASE DOS - Solución Heurística																						
1216																									
1217																									
1218																									
1219		440	Longitud máxima por escobita																						
1220																									
1221		ID	MATRIZ SOLUCIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
			PUNTO	ORIGEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1222																									
1223		1	ORIGEN		1																				
1224		2	1			2																			
1225		3	2		1																				
1226		4	3				1	1																	
1227		5	4			1								1											
1228		6	5							1															

Figura 24. Fase 2 del aplicativo

Para luego generar la solución heurística obteniendo la secuencia a realizar por cada operario con su respectivo costo que es determinado por tiempos en minutos que corresponde al tiempo promedio de recolección sin considerar tiempos de descanso, por lo tanto la herramienta desarrollo las siguientes soluciones para cada una de las matrices.

9.3.1.1 Solución de la Matriz de 130 Nodos. En la figura 25 se observa la solución de la matriz de 130 nodos encontrándose la solución completa en el apéndice P.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
2022		397																														
2023		398																														
2024		399																														
2025		400																														
2026																																
2027	COSTO		SECUENCIA																													
2028	255,2	1	ORIGEN	2	4	5	6	7	8	9	10	11	15	18	20	19	15	16	67	65	63	21	26	25	22	21	17	16	14	13	12	73
2029	439,2	2	28	25	24	23	22	18	17	65	66	68	67	69	70	81	82	84	125	127	129	80	82	127	128	126	125	123	124	122	121	119
2030	96,73	3	107	108	106	105	107	109	110	112	111	113	114	116	118	120	122	124	126													
2031	159,62	4	37	38	53	54	97	98	111	109	100	99	52	51	49	50	102	103	104	101	102	99	97	95	96	113	115	116	114	112	110	108
2032	195,7	5	40	41	44	46	45	43	44	49	47	48	50	52	54	56	58	60	91	89	62	64	87	88	90	89	87	85	83	84	86	123
2033	53,77	6	71	72	74	72	79	81	83	68	70	72	79	77	78	80	79															
2034	68,99	7	37	40	39	42	43	40	37	36	33	34	37	38	35	55	53	51	41	38												
2035	10,27	8	71	69	14	11																										
2036	3,87	9	71	73	71	13																										
2037	24,25	10	117	118	117	119	120																									
2038		11																														
2039		12																														
2040		13																														

Figura 25. Solución de la matriz de 130 nodos

Al analizar la solución se identificó que la herramienta generó costos menores al costo promedio de 440 minutos considerados como el tiempo promedio de recolección para ser realizado por un operario en una microrruta reflejándose en secuencias cortas. Por lo anterior se hizo necesario unir las secuencias con el fin de aproximarse al costo de promedio 440 minutos y así definir el número de operarios que ejecutaran la operación en el sector. En la siguiente tabla se muestra la organización realizada para la solución de la matriz de 130 nodos:

Tabla 14.
Organización de la secuencia de la matriz de 130 nodos

Número de Operarios	Número de la Secuencia	Total Costo
No. 1	2	439,73
No. 2	1,8,7,3,9	435,06
No. 3	4,5,6,10	433,32

Nota: Datos adaptados de la herramienta

Luego de agrupar las secuencias se llevó a cabo el trazado en Google Maps teniendo en cuenta el orden de los nodos, la cual se puede observar en la figura 26.

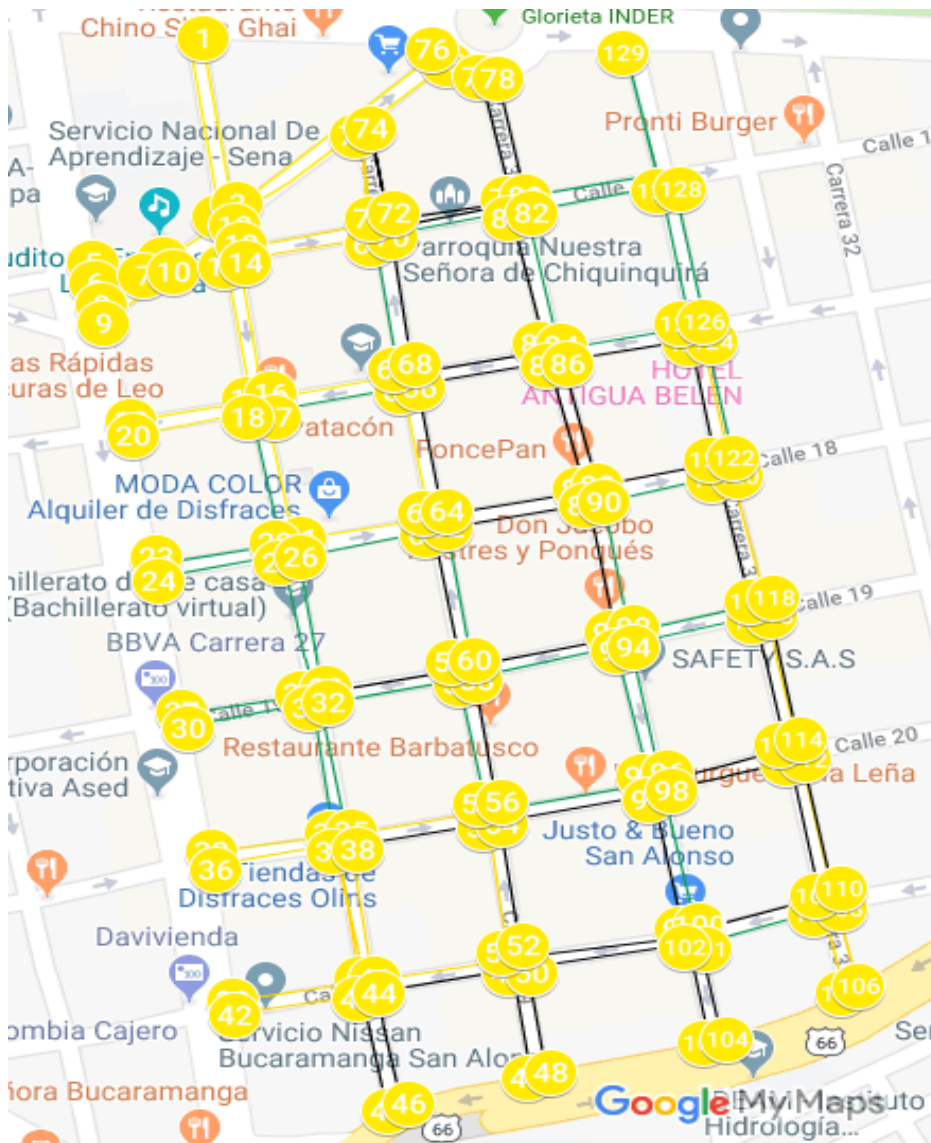


Figura 26. Secuencia de la matriz de 130 nodos

Observando el trazado realizado para ilustrar la organización de la matriz de 130 nodos se argumenta que la herramienta contemplo la recolección en todos los nodos, resultando 3 microrutas para ser ejecutado por 3 operarios con un costo promedio o tiempo de recolección

promedio de 439,73 para el operario 1, 435,06 para el operario 2 y otro de 433,32 para el operario 3. Estos datos se pueden ver en la tabla 14.

9.3.1.2 Solución de la Matriz de 118 Nodos. En la figura 27 se observa la solución de la matriz de 130 nodos encontrándose la solución completa en el apéndice Q.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
2022		397																							
2023		398																							
2024		399																							
2025		400																							
2026																									
2027	COSTO		SECUENCIA																						
2028	434,9	1	ORIGEN	1	3	5	6	4	2	1	3	4	11	10	9	16	15	52	50	16	18	48	46	20	1
2029	358,1	2	51	60	56	57	58	59	61	63	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	107	109	112	113	11
2030	28,58	3	14	15	10	6	8	7	5																
2031	80,04	4	22	44	43	42	45	44	46	47	45	66	64	62	60	61	82	87	115	116	117				
2032	74,31	5	24	26	40	38	36	34	35	37	39	94	92	72											
2033	61,42	6	28	27	28	38	39	41	40	43	24	23	24	22	20	19	21	22							
2034	75,87	7	14	11	12	13	14	53	54	55	51	50	48	49	62	63	65	64							
2035	41,21	8	33	32	31	29	30	33	31																
2036	6,39	9	9	8	9	17																			
2037	21,28	10	26	25	26	28	30																		
2038	18,62	11	79	80	77	78	79																		
2039	6,19	12	52	53																					
2040	14,37	13	58	84	83	59																			
2041	4,38	14	114	115																					
2042		15																							
2043		16																							

Figura 27. Solución de la matriz de 118 nodos

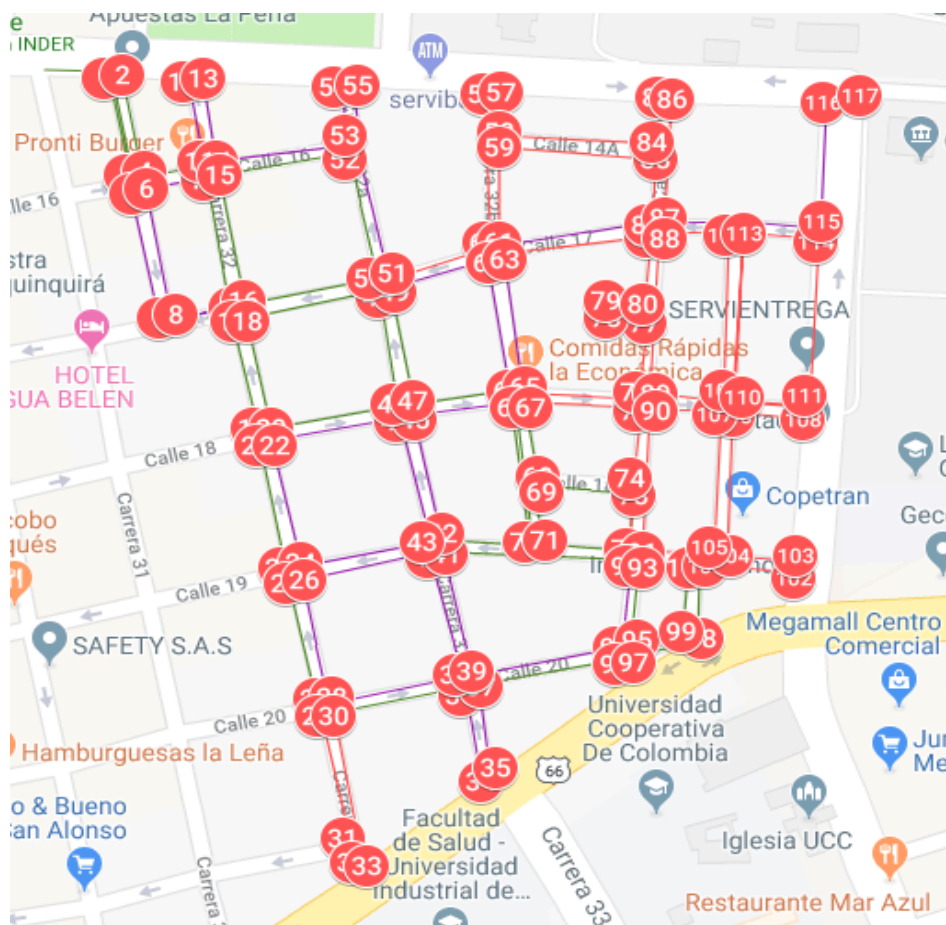
De igual manera como en la solución de la matriz de 130 nodos se identifica los bajos costos en las secuencias donde requiere la organización de las mismas buscando la cercanía al tiempo de recolección promedio de 440 minutos, mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 15.*Organización de la Secuencia de la matriz de 118 nodos*

Número de Operarios	Número de la Secuencia	Total Costo
No. 1	1	434,9
No. 2	2,11,13,8,12	438,19
No. 3	3,4,5,6,7,9,10,14	352,27

Nota: Datos adaptados de la herramienta

Luego de agrupar las secuencias de la misma manera se llevó a cabo el trazado en Google Maps teniendo en cuenta el orden de los nodos, la cual se puede observar en la figura 28.

**Figura 28.** Secuencia de la matriz de 118 nodos

organización de los subtramos con el fin de aproximarse al tiempo de recolección promedio, formando las microruta, mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 16.

Organización de la Secuencia de la matriz de 144 nodos

Número de Operarios	Número de la Secuencia	Total Costo
No. 1	1	435,7
No. 2	2,4,10,8,9,11	436,89
No. 3	3,5,7	438,17
No. 4	6	53,69

Nota: Datos adaptados de la herramienta

De la misma manera que se realizó en las anteriores matrices, se llevó a cabo el trazado de las secuencias en Google Maps teniendo en cuenta el orden de los nodos, la cual se puede observar en la figura 30.



Figura 30. Secuencia de la matriz de 144 nodos

Observando el trazado realizado para ilustrar la organización de la matriz de 144 nodos se argumenta que la herramienta contempló la recolección en todos los nodos, resultando 4 microrutas para ser ejecutado por 4 operarios donde la microruta 1, 2 y 3 tienen una mayor proximidad al tiempo de recolección promedio con 435,7 minutos, 436,89 minutos y 438,17 minutos respectivamente, por otro lado para la microruta 4 resultó un tiempo 53,69 minutos

mucho menor al tiempo de 440 minutos, esto a causa de la terminación del sector escogido. Estos datos se pueden ver en la tabla 16.

10. Validación de los Resultados

Finalizando la cuarta etapa del proyecto en el que se realizó el cumplimiento del diseño de la herramienta y su debida implementación, se inicia la validación de los resultados de la implementación donde se busca contrastar la eficiencia de la herramienta y el cumplimiento del principal objetivo del proyecto la cual busca mejorar y optimizar el proceso de barrido de la empresa de aseo de Bucaramanga EMAB S.A E.S.P.

Para esto se asignaron operarios a las rutas resultantes de la organización de las secuencias obtenidas por la herramienta informática, de modo que se ejecutó la actividad durante una semana permitiendo tomas de tiempos de recolección y descansos por medio del sistema de posicionamiento global (GPS) buscando contrastar la verificación de la actividad con respecto a la herramienta asegurándose de cumplir con el tiempo de la jornada laboral.

10.1 Análisis de la Solución de la Herramienta

Para realizar el análisis de la solución se tomaron los tiempos según el orden de las matrices, registrados en los siguientes resultados.

10.1.1 Resultados de la Matriz de 130 Nodos

Tabla 17.

Medición de tiempos de la matriz de 130 nodos

Operario	Tiempo promedio de descanso (min)	Tiempo promedio de barrido (min)	Tiempo total de ejecución de la actividad (min)
1	42	441	483
2	39	438	477
3	38	437	475

Observando la tabla 17 se puede argumentar que la validación realizada en la matriz de 130 nodos se obtuvo tiempos aproximado al tiempo promedio de recolección que al sumarse con los tiempos de descanso se logra cumplir con lo estipulado para la jornada laboral. Por consiguiente las microrutas 1, 2 y 3 consiguieron un tiempo de ejecución de la actividad de 483 minutos, 477 minutos y 475 minutos respectivamente.

10.1.2 Resultados de la Matriz de 118 Nodos

Tabla 18.

Medición de tiempos de la matriz de 118 nodos

Operario	Tiempo promedio de descanso (min)	Tiempo promedio de barrido (min)	Tiempo total de ejecución de la actividad (min)
1	45	436	481
2	38	438	476
3	41	360	401

De igual manera al analizar los resultados de la tabla 18, vale la pena decir que el tiempo total de ejecución de la actividad resulta cercano al tiempo adecuado para la jornada laboral (480 minutos), considerando que la diferencia de las 2 primeras microrutas no supera los 4 minutos, por ende, la primera microruta se obtuvo un tiempo de 481 minutos y en la segunda

476 minutos. Para la microruta 3 si se encontró un valor menor al tiempo asignado para la jornada laboral, esto ocurre por la terminación del sector escogido, lo que se podría ajustar añadiendo más nodos, es decir, incluir calles aledañas.

10.1.3 Resultados de la Matriz de 144 Nodos

Tabla 19.

Medición de tiempos de la matriz de 144 nodos

Operario	Tiempo promedio de descanso (min)	Tiempo promedio de barrido (min)	Tiempo total de ejecución de la actividad (min)
1	39	437	476
2	41	438	479
3	41	437	478
4	43	55	98

En el análisis de la medición de tiempos de la matriz de 144 nodos se encontró que las microrutas 1,2 y 3 obtuvieron tiempos equivalentes al tiempo establecido para jornada laboral de 480 minutos, en la microruta 4 ocurrió un caso parecido al de la matriz de 118 nodos puesto que el tiempo total de ejecución de 98 minutos es mucho menor al establecido, por lo que es necesario agregar nuevas calles al sector.

10.2 Validación de los Resultados VS. Solución de la Herramienta Informática. (Tiempo/ Costo)

En busca de verificar la solución de la herramienta informática se realizó una comparación con los resultados obtenido en la validación, para eso se analiza por medio de porcentajes de error en cada uno de las microrutas. Considerando la siguiente ecuación:

$$\%Error = \left| \frac{\text{Tiempo de la herramienta} - \text{Tiempo total validado}}{\text{Tiempo total validado}} \right| * 100$$

Donde:

- Tiempo de la herramienta: Costo promedio de la microruta o tiempo promedio de recolección de la microruta, dado por la herramienta.
- Tiempo total validado: Tiempo de la microruta por medio de GPS.

Por consiguiente, se aplica la fórmula de porcentaje de error para cada uno de los resultados de las matrices en la que se analiza solo el tiempo total de recolección, es decir, se excluye tiempo de descanso, registrada en las siguientes tablas:

Tabla 20.

Porcentajes de error de la matriz de 130

Operario	Costo de la solución de la herramienta	Tiempo total validado	% Error
1	439,73	441	0,29%
2	435,06	438	0,67%
3	433,32	437	0,84%

Analizando cada porcentaje de error se puede argumentar que en las microrutas el porcentaje de error no supera el 1%, por consiguiente los tiempos validados por el GPS confirman la eficiencia de la herramienta implementada en estas microrutas.

Tabla 21.

Porcentajes de error de la matriz 118

Operario	Costo de la solución de la herramienta	Tiempo total validado	% Error
1	434,9	436	0,25%
2	438,19	438	0,04%
3	352,27	360	2,15%

Para el análisis del porcentaje de error de la matriz de 118 se puede observar que para las microrutas 1 y 2 se obtuvo un porcentaje de error menor a 1% y la microruta 3 se obtuvo un error de 2,15%, esto es debido a la distancia entre unos tramos que incurren tiempos de desplazamientos.

Tabla 22.*Porcentajes de error de la matriz de 144*

Operario	Costo de la solución de la herramienta	Tiempo total validado	% Error
1	435,7	437	0,30%
2	436,89	438	0,25%
3	438,17	437	0,27%
4	53,69	55	2,38%

Observando en la tabla 22 para las microrutas 1, 2 y 3 se obtiene un porcentaje de error 0,3%, 0,25% y 0,27% respectivamente argumentándose como irrelevante, a diferencia de la microruta 4 que se presenta un porcentaje de 2,38% mayor a las anteriores, esto sucede por la distancia de un tramo al otro en el que se convierte en tiempo de desplazamientos.

10.3 Reestructuración de las Microrutas VS. Resultados de la Herramienta Informática

Con el fin de evidenciar que tan eficiente es la herramienta informática, se realizó una comparación con la reestructuración de las microrutas designada por la empresa, por lo tanto, se comparó cada validación realizada con los tiempos tomados por el GPS, y se analiza la tabla 12 “Medición de tiempos de las microrutas identificadas” que registra los tiempos tomados en la validación de la reestructuración en el capítulo 7, la tabla 17 “Medición de tiempos de la matriz de 130 nodos”, la tabla 18 “Medición de tiempos de la matriz de 118

nodos” y la tabla 19 “Medición de tiempos de la matriz de 144 nodos” que registra los tiempos tomados en la validación de los resultados de la herramienta informática en el capítulo 10.

Por consiguiente se argumenta que el uso de la herramienta informática resulta eficiente puesto que en la programación se tuvo en cuenta los tiempos en promedio que demora en recolectar y desplazarse un operario, implicando en esos tiempos las causas que más afectaban en el sector diferente a la reestructuración manual de la microrutas ya que en esta solo se tuvo en cuenta distancias, lo que se reflejó en las validaciones, es decir, los tiempos contenidos en la tabla 12 se encuentran por encima del tiempo laboral de 480 minutos, en los que se supera hasta 108 minutos.

Por otro lado los tiempos contenidos en la tabla 17 de la matriz de 130 nodos muestra que la microruta 1 no supera más de 3 minutos según el tiempo laboral y las microrutas 2 y 3 sus tiempos de ejecución son próximos al tiempo establecido. También en la tabla 18 de la matriz de 118 nodos muestra una proximidad al tiempo laboral establecido en el que la microruta 1 solo sobrepasa un minuto, y en la microruta 3 contiene tiempos menores que podrían ajustarse añadiendo más calles o aristas a las microrutas. Por último en la tabla 19 de la matriz de 144 nodos se observa que los tiempos son similares al tiempo laboral para las tres primeras microrutas, pero para la cuarta microruta si se nota una gran diferencia por debajo del tiempo laboral aclarando que se podría ajustarse añadiendo calles aledañas al sector escogido. Por lo que se podría deducir que en la utilización de la herramienta aplicándola en los sectores logra establecer un cumplimiento en el tiempo incluyendo los factores expresados anteriormente que podría contener los sectores a la hora de ejecutar el barrido.

11. Conclusiones

- Mediante el diagnostico cualitativo y cuantitativo realizado en el proceso de barrido se logró obtener información de la organización y funcionamiento de sus microrutas, en donde se pudo identificar las causas que impiden el debido cumplimiento del servicio prestado, entre estas causas se evidenció el alto kilometraje en la microrutas, rendimiento del operario, inseguridad en la zona, transito en la vía, contaminación en la zona y los efectos del clima, las cuales se ven reflejadas en los PQR'S impidiendo el nivel de cumplimiento del proceso.
- En la implementación del mejoramiento de la documentación se logró ordenar, documentar y actualizar manual del proceso, planos de las microrutas, base de datos, formatos de calidad y herramienta pedagógica para el área de PQR. De modo a que esto ayudo a cumplir con los requerimientos legales por lo entes de control y el sistema de calidad.
- Con la reestructuración propuesta por la empresa, en la cual se estandarizaban todas las microrutas a un kilometraje entre 4 a 4,2 kilómetros, con el fin que todos los operarios estén en igualdad al momento de realizar la labor, en la medición realizada para validar esta propuesta se encontraron falencias puesto que se fundamentó en las distancias de las microrutas y no se tuvo en cuenta los tiempos de recolección.
- Con la implementación de la herramienta informática se lograron resultados favorecedores en busca de la eficiencia de las microrutas de barrido, confirmandose

por medio de la validación de los resultados obtenidos por la herramienta, teniendo en cuenta que los porcentajes de error arrojados son insignificantes.

- Con la creación del manual de la herramienta informática se buscó documentar el paso a paso, con el objetivo de que las personas que tengan algún tipo de relación con este, tengan la información necesaria para conocer la manera adecuada de llevarlo a cabo, el paso a paso a seguir y los tiempos establecidos para cada uno de ellos.

12. Recomendaciones

- Se recomienda mantener actualizado el repositorio de la documentación que informa el funcionamiento del proceso de barrido, con el fin de mantener en orden la información en el momento de responder a las auditorías realizadas por los entes de control.
- En las causas inseguridad en la zona, tránsito en la vía y efectos del clima, las cuales se salen del alcance de este proyecto, se recomienda que la empresa siga trabajando en el mejoramiento de estas, en donde se podría incluir que las rutas donde se implique la causa tránsito de vía readecuarlas en el horario nocturno y así no tener inconveniente con el tránsito.
- Se recomienda continuar con el seguimiento de la herramienta informática por parte del profesional de procesos encargado de esta labor, con el fin de lograr que todas las microrutas de barrido sean eficientes.

Referencias Bibliográficas

Harrington , J. (1993). *EL MEJORAMIENTO DE PROCESOS*. Obtenido de eumed.net enciclopedia virtual.

Hernández Sánchez, L. F. (2015). *Un problema de barrido de calles*.

Jimeno Bernal, J. (2015). *análisis de causa*. Obtenido de Copyright © 2018 PDCA Home: <https://www.pdcahome.com/7642/analisis-de-causa-raiz-metodologia-para-investigar-y-resolver-incidencias/>

Sáez , A., & Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latinay el Caribe. *Omnia*, 14.

Yordá Pérez, J. (2014). *El problema del cartero chino*.

Yordá Pérez, J. (2014). *El problema del cartero chino*.

Amato, & Karanasiou. (2012). Factores de misión de la resuspensión del polvo del camino de una autopista del mediterraneo.

Axhausen, K., & Smith, R. (1984). *Evaluation of Heuristic Transit Network Optimization*. Transportation Research Record.

Bartolozzi, Baldereschi, Iraldo, & Daddi. (2018). La aplicación de la evaluación del ciclo de vida (ACV) en la gestión de residuos sólidos municipales: un estudio comparativo sobre servicios de barrido de calles. *Revista de producción mas limpia*.

Blazquez, Beghelli, & Meneses. (2012). Recolección y manejo de residuos sólidos sostenibles.

Borges, Plastria, Ferreira, & Sousa. (2014). Ciencia de Localización.

Campos , V. (2004). *Problemas de Rutas*. Dpt. Estadística i Investigación Operativa Universidad de Valencia.

CRA720. (2015). Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. Obtenido de daury: <https://www.youtube.com/watch?v=o-EjwvexOFk&t=15s>

DECRETO2981. (2013). Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo.

Golden, B., Nossack, J., Pesch, E., & Zhang, R. (2017). ¿Problemas de enrutamiento con las dependencias de tiempo o qué tan diferentes son la recolección de basura o la entrega de periódico del barrido de calles o el invierno? *elsevier*.

Golden, B., Nossack, J., Pesch, E., & Zhang, R. (2017). Problemas de enrutamiento con las dependencias de tiempo o cuán diferentes son la recolección de basura o la entrega de periódicos de barrido de calles o de invierno.

Hodson. (2001). Estudio de tiempos. *UNIVERSIDAD AUTONOMA* .

Iriarte, & Chattopadhyay. (2010). Residuos solidos.

Lázaro Rico, M., Escobedo, M., de la Riva, J., & Juárez, C. (2014). *Técnicas Utilizadas para el Estudio de Tiempos*.

Ley142. (1994). SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS.

Lopez, Gutierrez, Collantes, Gil, & Revilla. (2017). Recogida de residuos.

Martinez, Loiseau, Resende, & Rodriguez. (2011). Algoritmo BRKGA para el problema de enrutamiento de arco capacitado.

Mauttone, A., Cancela, H., & Urquhart, M. (2013). DISEÑO Y OPTIMIZACION DE RUTAS Y FRECUENCIAS.

Nossack, Oro, Pesch, & Zhang. (2017). *los problemas en la planificación de rutas dependientes del tiempo o cuan diferente es la recolección de basura o la repartición de periodicos, del barrido de calles o de la remoción de nieve en invierno .*

PGIRS. (2017-2022). *Plan de gestion integral de residuos solios del municipio de bucaramanga.*

Pulido. (2013). *El metodo de las 6M.*

Sevilla, A., Rodriguez, M. L., Garcia-Maraver, A., & Zamorano, M. (2013). Un índice para cuantificar la limpieza de las calles: el caso de Granada (España).

Usberti, Morelato, P., & Morelato, A. (2013). elsevier. *GRASP con cambio de ruta evolutivo para el problema de enrutamiento de arco capacitado.*

