

UN PROCEDIMIENTO HEURÍSTICO PARA EL DISEÑO DE LAS RUTAS DE
RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS DE LA EMPRESA
PIEDRECUESTANA DE SERVICIOS PÚBLICOS E.S.P., PARA EL MUNICIPIO DE
PIEDRECUESTA, SANTANDER.

Ismael Acevedo Morales

ID 000176528



Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Facultad de Ingeniería Industrial

Proyecto de Grado

Bucaramanga

2.015

UN PROCEDIMIENTO HEURÍSTICO PARA EL DISEÑO DE LAS RUTAS DE
RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS A LA EMPRESA
PIEDRECUESTANA DE SERVICIOS PÚBLICOS E.S.P., PARA EL MUNICIPIO DE
PIEDRECUESTA, SANTANDER.

Ismael Acevedo Morales

ID 000176528

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

Directora:

Marcela Villa Marulanda



Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Facultad de Ingeniería Industrial

Bucaramanga

2.015

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Firma del Presidente jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 13 de Enero de 2.014

Contenido

Introducción.....	11
1. Generalidades de La Empresa	12
1.1 Identificación	12
1.2 Actividad Económica	13
1.3 Reseña Histórica.....	13
1.4 Logo	14
1.5 Misión	14
1.6 Visión	14
1.7 Organigrama	15
2. Definición del Problema.....	16
2.1 Formulación del Problema.....	17
3. Antecedentes.....	18
4. Justificación.....	21
5. Objetivos.....	23
5.1 Objetivo General.....	23
5.2 Objetivos Específicos.....	23

6.Marco Teórico	24
6.1 <i>Métodos de Recolección</i>	24
6.1.1 <i>Esquina o de Parada Fija</i>	24
6.1.2 <i>Acera</i>	25
6.1.3 <i>"Llevar Y Traer" o Intradomiciliario</i>	27
6.1.4 <i>Contenedores</i>	27
6.2. <i>Equipos de Recolección y Transporte Primario</i>	28
6.2.1. <i>Equipos Recolectores de Alta Tecnificación</i>	30
6.2.2. <i>Equipos Especializados Para La Recolección De Residuos Sólidos</i>	30
6.2.3. <i>Equipos no Convencionales Para la Recolección de Residuos Sólidos</i>	30
6.2.4. <i>Sistemas de Recolección por Contenedores Altamente Especializados</i>	30
6.2.5. <i>Vehículos Compactadores Con Mecanismos De Carga Trasera, Frontal Y Lateral</i>	31
6.2.6. <i>Vehículos Compactadores de Carga Lateral</i>	32
6.2.7. <i>Vehículos Compactadores de Carga Trasera</i>	32
6.2.8. <i>Vehículos Sin Mecanismo De Compactación, De Carga Lateral O Trasera</i> 32	
6.2.9. <i>Vehículos Tipo Volteo</i>	33
6.2.10. <i>Otros Vehículos y Sistemas</i>	33
6.3. <i>Aspectos a considerar en las rutas de recolección</i>	34
7. Diagnóstico de la situación actual de las rutas de recolección de residuos sólidos	36
7.1 <i>Generación de residuos sólidos</i>	36
7.2 <i>Transporte y recolección de residuos sólidos</i>	38
7.3 <i>Diagnóstico de la situación actual de las 4 rutas</i>	39

8. Principales parámetros, aspectos y factores para el diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos	42
8.1 Ruta de calles	42
8.2 Ruta de carreras	44
8.3 Hoyo Grande	46
8.4 Ruta de piezas.....	48
9. Procedimiento heurístico para diseñar la ruta de recolección de residuos	51
9.2 Pasos para el desarrollo del procedimiento heurístico	53
10. Análisis de las rutas propuestas	58
10.1 Ruta Encima	59
10.2 Ruta Azul	60
10.3 Ruta Carreras	61
10.4 Ruta Dorada	62
Conclusiones.....	65
Recomendaciones	66
Bibliografía.....	67

Lista de tablas

<i>Tabla 1 Generación de Residuos Solidos.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2 Diagnóstico rutas actuales de la Empresa Piedecuestana de Servicios P.D.S</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3. Generalidades de las rutas</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4. Ruta de piezas</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 5 Propuesta Rutas planteadas para la Empresa Piedecuestana de Servicios P.D.S</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 6 Ruta encima.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 7 Ruta azul.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 8 Ruta carreras</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 9 Ruta dorada.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 10 Análisis de los resultados.....</i>	<i>63</i>

Lista de figuras

<i>Figura 1</i>	<i>Logotipo Empresa Piedecuestana E.S.P.</i>	14
<i>Figura 2</i>	<i>Estructura organizacional Empresa Piedecuestana E.S.P.</i>	15
<i>Figura 3</i>	<i>Método de esquina o parada fija</i>	25
<i>Figura 4</i>	<i>Método de acera</i>	26
<i>Figura 5</i>	<i>Método Intradomiciliario</i>	27
<i>Figura 6</i>	<i>Método de Contenedores</i>	28
<i>Figura 7.</i>	<i>Ruta de calles</i>	43
<i>Figura 8</i>	<i>Ruta de carreras</i>	45
<i>Figura 9</i>	<i>Ruta de hoyo grande</i>	47
<i>Figura 10</i>	<i>Ruta de piezas</i>	49
<i>Figura 11</i>	<i>Panel de búsqueda</i>	54
<i>Figura 12</i>	<i>Barra de herramientas</i>	54
<i>Figura 13</i>	<i>Crear camino o línea</i>	55
<i>Figura 14</i>	<i>Marcas de posición</i>	56
<i>Figura 15</i>	<i>Crear rutas</i>	57
<i>Figura 16</i>	<i>Ruta encima</i>	59
<i>Figura 17</i>	<i>Ruta azul</i>	60
<i>Figura 18</i>	<i>Ruta carreras</i>	61
<i>Figura 19</i>	<i>Ruta dorada</i>	62

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: UN PROCEDIMIENTO HEURÍSTICO PARA EL DISEÑO DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS DE LA EMPRESA PIEDECUESTANA DE SERVICIOS PÚBLICOS E.S.P., PARA EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER.

AUTOR(ES): Ismael Acevedo Morales

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Industrial

DIRECTOR(A): Marcela Villa Marulanda

RESUMEN

El manejo inadecuado y la falta de planeación al momento de recolección de los residuos sólidos generan grandes impactos al medio ambiente y económico para las empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios. En la empresa Piedecuestana de Servicios Públicos existe la problemática por sus elevados tiempos y distancias muertas dentro de cada ruta perteneciente a la entidad, por la falta de utilización de herramientas tecnológicas y procedimientos. Con el fin de evaluar y conocer la situación actual, se realizó un diagnóstico y el análisis respectivo del mismo. Después de conocer la situación actual de la Empresa se procedió a realizar una serie de pasos para tratar de mitigar el problema mediante la utilización de la herramienta google Earth, se conoció la distancia total recorrida, tiempo total empleado en cada ruta, número de trabajadores utilizados para cada una, sectores que abarca cada ruta y cuáles son las calles que recorre cada vehículo de la empresa. Con los datos obtenidos y teniendo la serie de factores que influyen el diseño de rutas se inicia a trabajar en ellas. Finalmente se propone el diseño de nuevas rutas de recolección de residuos sólidos en el municipio de Piedecuesta Santander con destino a la empresa Piedecuestana de servicios públicos E.S.P., donde se refleja una gran disminución en las distancias y tiempos utilizados en cada ruta, prestando un mejor servicio a los usuarios del Municipio de Piedecuesta y generando que la empresa Piedecuestana de servicios públicos E.S.P. incurra en menos costos.

PALABRAS CLAVES:

Tiempo muerto, distancia muerta, residuos sólidos, servicios públicos

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: A HEURISTIC METHOD FOR THE DESIGN OF ROUTES OF HOUSEHOLD SOLID WASTE COLLECTION BY THE PIEDECUESTANA ESP UTILITY COMPANY IN THE MUNICIPALITY OF PIEDECUESTA, SANTANDER.

AUTHOR(S): Ismael Acevedo Morales

FACULTY: Facultad de Ingeniería Industrial

DIRECTOR: Marcela Villa Marulanda

ABSTRACT

Improper handling and lack of planning at the time of collection of solid waste generates major impacts to the environment as well to the economical aspects on companies providing public services. At the Piedecuestana of Public Services Company there is the problem of its high times and dead distances within each route belonging to the entity, for lack of use of technological tools and procedures. In order to evaluate and understand the current situation, a diagnosis and the respective analysis thereof is performed. After knowing about the current situation of the Company it was proceeded to perform a series of steps to try to mitigate the problem by using the google Earth tool, the total distance is known, the total time spent on each route, the number of workers used for each one, each route sectors covered and what are the streets that runs every company's car. With the data obtained and having the number of factors influencing the design of routes it started working on them. Finally the design of new routes for solid waste collection in the municipality of Piedecuesta Santander was proposed intended to the company Piedecuestana of public services E.S.P, which reflects a decrease in the distances and times used on each route, to provide a better service to users of the municipality of Piedecuesta and making that the company Piedecuestana of public services E.S.P to has less costs.

KEYWORDS:

Time Out, dead away, solid waste, utilities

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

En este trabajo se proponen unas rutas de recolección de aseo y se comparan con las rutas actuales de la empresa Piedecuestana de Servicios, con el fin de maximizar la cantidad de recolección de residuos sólidos domiciliarios en un sector del Municipio de Piedecuesta, Santander. Por lo anterior, se sugiere un procedimiento heurístico para llegar a una solución. Con el fin de realizarlo se incluyen cinco pasos: identificar, definir y presentar el problema; explorar las estrategias avanzar en ellas y lograr la solución. Para la determinación de rutas de recolección de residuos sólidos de la entidad, se mejora la eficiencia operativa, ofrece un mejor servicio a los usuarios y por consiguiente, se logra ser la Empresa de servicios públicos más competitiva en el mercado.

El proyecto está conformado por cuatro capítulos que se indican a continuación: El capítulo I está caracterizado por el diagnóstico de la situación actual de las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios de la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P. El capítulo II muestra los principales parámetros, aspectos y factores para el diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios de la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P. El capítulo III refleja el procedimiento heurístico para diseñar la ruta de recolección de residuos en un sector del municipio de Piedecuesta Santander. Por último, el capítulo IV refleja el análisis de una ruta propuesta en términos de los principales criterios identificados con el fin de conocer su efectividad.

1. Generalidades de La Empresa

1.1 Identificación

Nombre O Razón Social

EMPRESA MUNICIPAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE
PIEDECUESTA E.S.P. PIEDECUESTANA DE SERVICIOS PÚBLICOS.

Nit.

804.005.441-4

Naturaleza

Es una empresa industrial y comercial del Estado del orden municipal

Sector

Público

Representante Legal

El Gerente- Cesar Tolosa Núñez

Dirección

Sede Administrativa Carrera 8 # 12-28

Teléfono

6550058

Fax

6550058 Ext. 102

Correo Electrónico

www.piedecuestanaesp.gov

1.2 Actividad Económica

La actividad económica se ve reflejada a partir de los respectivos códigos CIU emitidos por la cámara de comercio y su respectiva descripción:

3600 Captación, depuración y distribución de agua potable¹

3811 Recolección de desechos no peligrosos

3700 Evacuación y tratamiento de aguas residuales

1.3 Reseña Histórica

La Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos Domiciliarios de Piedecuesta “Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.” dio inicio a sus labores en febrero de 1998; creada mediante Decreto 172 del 17 Diciembre 1997 expedido por la Alcaldía Municipal de Piedecuesta dando cumplimiento al Acuerdo Municipal 057 de 1997, que facultaba al alcalde municipal para constituir una empresa industrial y comercial para la prestación de los servicios públicos domiciliarios, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 142 de 1994.

Lo que motivó al alcalde de la época a tomar la iniciativa de conformar la empresa fueron altas tarifas de acueducto que se manejaban en ese momento y solicitó realizar el estudio respectivo, luego del cual consideró crear una empresa con capital del municipio para que administrara los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo para el municipio de Piedecuesta.

¹ Cámara de comercio de Bucaramanga- Código Actividad Económica CIU [en línea] Disponible en: <<http://www.sintramites.com/sintramites/General/ActividadEconomica.aspx>> [citado Junio de 2.014]

1.4 Logo

Figura 1 Logotipo Empresa Piedecuestana E.S.P.



Fuente: Página oficial Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.

<http://www.piedecuestanaesp.gov.co/pds/>

1.5 Misión

La Empresa Municipal de Servicios Públicos Domiciliarios de Piedecuesta - Piedecuestana de Servicios Públicos ESP es una empresa industrial y comercial del estado del orden municipal, que presta los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, buscando siempre la satisfacción de las necesidades de nuestros clientes con productos y servicios de calidad, con responsabilidad social, ambiental y económica que contribuyan con el desarrollo del municipio de Piedecuesta y la región.

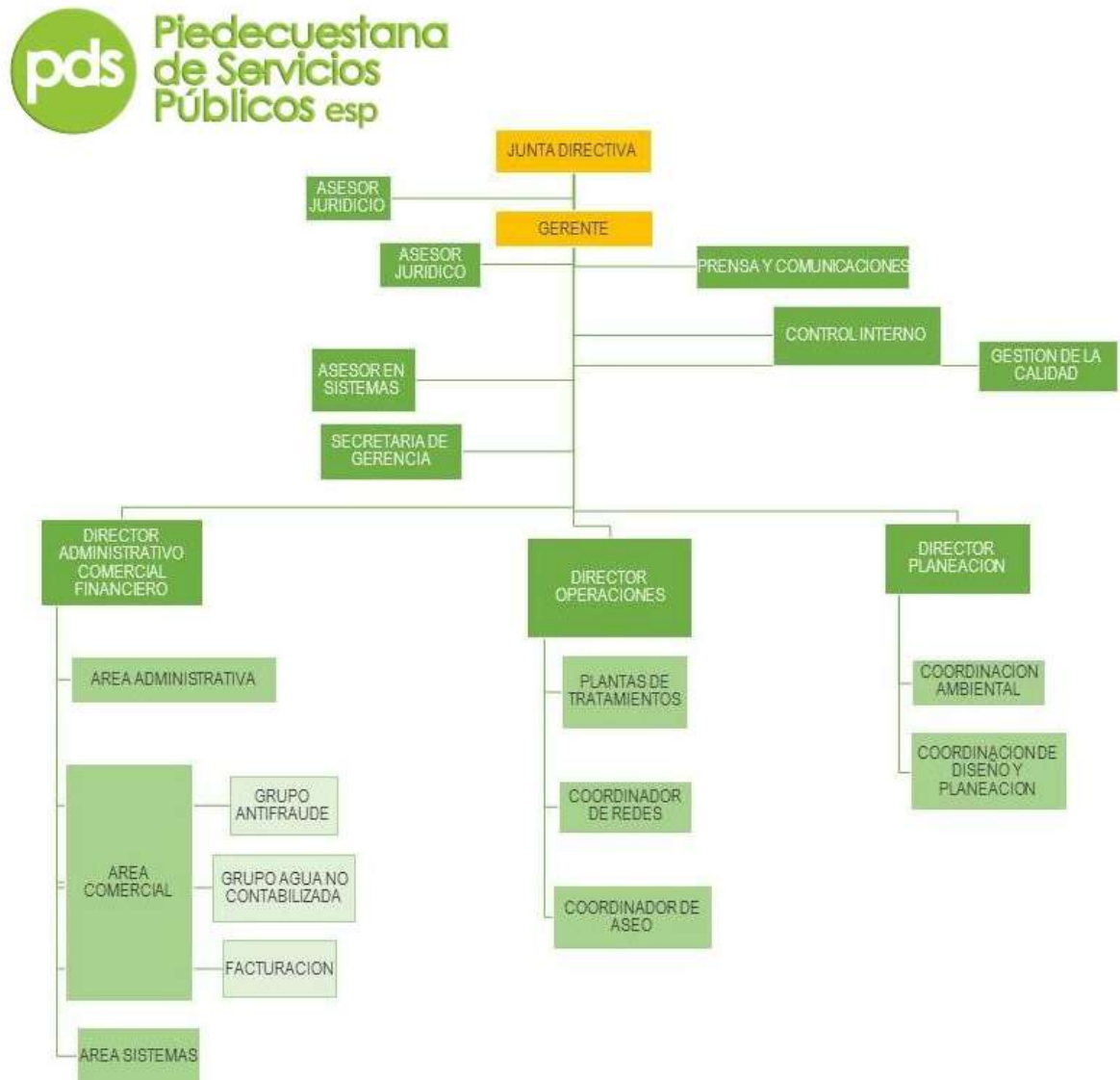
1.6 Visión

Para el año 2016 La Empresa Municipal de Servicios Públicos Domiciliarios de Piedecuesta - Piedecuestana de Servicios Públicos ESP será catalogada a nivel nacional como una empresa santandereana que impulsa el desarrollo social y económico del país, prestando su capacidad técnica y operativa en los servicios de acueducto, aseo y alcantarillado con calidad, eficiencia y eficacia en sus procesos, contribuyendo con el cuidado y preservación del medio ambiente, a través de la modernización de su

infraestructura y la ampliación de cobertura de sus servicios en su área de influencia, con innovación permanente y capacitación de su equipo humano.

1.7 Organigrama

Figura 2 Estructura organizacional Empresa Piedecuestana E.S.P.



Fuente: Página oficial Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.

<http://www.piedecuestanaesp.gov.co/pds/index.php/entidad/organigrama>

2. Definición del Problema

Para la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P., la problemática relacionada con el manejo de residuos sólidos en los diferentes barrios del Municipio de Piedecuesta, radica en el cruce que se está presentado actualmente con algunas rutas de recolección de residuos sólidos y esto genera sobrecostos de operación, recursos humanos, técnicos y económicos para la entidad, lo que provoca que la prestación de servicio público de aseo no se lleve a cabo de manera eficiente.

Cuando se habla de cruces, se refiere a que dos camiones o más transitan por una misma calle, o coincide su recorrido por calles que son abarcadas por otro vehículo debido a la falta de planificación de la empresa y específicamente en las rutas de recolección de residuos sólidos.

El conjunto de operaciones que forman parte de la gestión de la Piedecuestana de Servicios Públicos en cuanto a los residuos sólidos domiciliarios del Municipio de Piedecuesta, involucra elementos tales como la generación, la recolección y transporte de los residuos, barrido y limpieza de calles, reciclaje y disposición final, existiendo la supervisión de las rutas de recolección de aseo pero sin ningún tipo de control.

En cada uno de los elementos antes mencionados inciden una serie de factores que provocan una inadecuada gestión de las rutas de recolección de los residuos sólidos domiciliarios, desde la carencia de control de rutas actuales de aseo hasta la falta de evaluación y diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios.

Actualmente la Dirección de operaciones de la entidad, lidera el proceso de recolección de basura de la siguiente manera: con la descripción geográfica del Municipio de Piedecuesta el supervisor de recolección traza las rutas de manera aleatoria en el momento en que está en funcionamiento el vehículo de manera empírica, sin soporte tecnológico,

con el fin de cubrir el total de la población sin tener en cuenta la duplicación de recorridos en cuanto a transporte de recolección.

2.1 Formulación del Problema

Lo anterior da origen a la formulación de las siguientes preguntas problema:

¿Cuál es el impacto que generan las rutas de recolección de aseo actuales a la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P. y al Municipio de Piedecuesta, Santander?

¿Cuáles son los aspectos específicos a tener en cuenta en el municipio de Piedecuesta, para el diseño de una ruta de recolección de residuos sólidos?

¿Qué beneficios y desventajas le implica a la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P., analizar el proceso de recolección a través de escenarios numéricos?

3. Antecedentes

En la elaboración del proyecto “UN PROCEDIMIENTO HEURÍSTICO PARA EL DISEÑO DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS DE LA EMPRESA PIEDECUESTANA DE SERVICIOS PÚBLICOS E.S.P., PARA EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER” se tomaron como base varios estudios para la realización del trabajo.

En la Corporación de Abastos de Bogotá, para el desarrollo del proceso de recolección interna de los residuos, analizan la existencia de rutas, el horario y la frecuencia de recolección y su implicación en la generación de olores y la proliferación de vectores asociados a la descomposición de tales residuos, esparcimiento de residuos de los barrios, y el estado de limpieza de los vehículos de recolección y transporte de residuos sólidos. (Bustos, 2006)².

Otro estudio para realizar avances en la sectorización fue llevado a cabo por el centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. Los autores evaluaron inicialmente el procedimiento de cálculo para determinar el tamaño y límites de los sectores y subsectores de basura para la ejecución de la diagramación del esquema de ruta de recolección en el área de residuos sólidos³.

En el X Congreso de Ingeniería de Organización realizado en Valencia en el año 2006, se estudio la optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios, donde se concluyo que al diseñar de forma intuitiva se incrementaban los tiempos y los gastos se combustible.⁴

² Bustos Lourdes y otros; Manejo Integral de Residuos en la Corporación de Abastos de Bogotá.2006 [citado septiembre de 2.014].

³ Diseño de rutas de recolección de residuos sólidos [en línea] Disponible en: <

<http://www.bvsde.paho.org/acrobat/disenio.pdf>>[Citado en febrero de 2.015]

⁴Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos [en línea] Disponible en: <http://www.adingor.es/Documentacion/CIO/cio2006/docs/000226_final.pdf >[Citado en febrero de 2.015]

Según el XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, se utilizó la herramienta software MARS, el diseño de rutas óptimas de recolección de residuos sólidos domiciliarios. Según el autor, este software es una herramienta técnica para la solución de problemas tan complejos como son las rutas de recolección de residuos sólidos, para lo cual se utilizó el algoritmo de ramificación y se utilizó un programa en VISUAL BASIC para EXCEL denominado MARS V.13, con el propósito que sea usado por todas aquellas personas interesadas en el tema.⁵

En el Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Adolfo López Mateos; diseñaron en la ciudad de Antizapán de Zaragoza un programa de recolección de desechos sólidos domiciliarios como aplicación del problema del Agente Viajero. La aportación de esta Investigación es el desarrollo de una propuesta de eficiencia al sistema de recolección de desechos domiciliarios no peligrosos; dicha investigación se desarrolla bajo un enfoque sistémico.⁶

La secretaría de desarrollo social de México, comparte el Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales, indica que la recolección de residuos puede ser realizada de formas diferentes, optimizando el servicio.⁷

En la Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, “Optimización de rutas en una empresa de recolección de residuos sólidos en el distrito de los Olivos”. La tesis tiene como objetivo implementar el método más adecuado de optimización de rutas para una empresa de transporte de residuos sólidos con el fin de mejorar su rentabilidad, debido a que dentro del sector de recolección de residuos, el tema de optimización lineal de rutas no ha sido explorado ni sustentado de manera contundente en el panorama nacional, como así lo demuestra el análisis de la empresa. Esto contrasta

⁵ Diseño de rutas optimas de recolección de residuos sólidos domésticos mediante el software MARS [en línea] Disponible en: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-150.pdf>>[Citado en febrero de 2.015]

⁶ Diseño del Programa de recolección de desechos sólidos domiciliarios para el Municipio de Atizapán de Zaragoza como aplicación del problema del Agente Viajero MARS [en línea] Disponible en: <http://azul.bnct.ipn.mx/tesis/repositorio/337_2005_ESIME-ZAC_MAESTRIA_raul_reyes.pdf> [Citado en febrero de 2.015]

⁷ Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales [en línea] Disponible en: <http://www.sustenta.org.mx/3/wp-content/files/MT_RutasRecoleccion.pdf> [Citado en febrero de 2.015]

con el hecho de que la distribución de rutas es la operación de ingresos más significativos para las empresas de este sector⁸.

Según la Universidad Nacional Autónoma de México, se analizó el Sistema de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos en el Centro Histórico de Morelia, aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este estudio tiene como objetivo proponer un procedimiento para diseñar rutas de recolección de residuos sólidos utilizando sistemas de información geográfica (SIG). Para la aplicación de este software es necesario la obtención de los principales atributos de la red vial: como los son: nombre, sentido, ancho y velocidad de la vía. Así como los tiempos empleados en la operación de las rutas de recolección para determinar los tiempos de vaciado dependiendo del método empleado, el tiempo de recorrido y el tiempo muerto⁹.

La Universidad Andrés Bello, diseño un Sistema de Recolección Utilizando Herramientas Geo-Tecnológicas. Esta metodología considera la interacción entre modelos de programación lineal entera y heurística que determinan soluciones de alta calidad a problemas complejos¹⁰

⁸ Pontificia universidad católica del Perú facultad de ciencias e ingeniería Optimización de rutas en una empresa de recojo de residuos sólidos en el distrito de los Olivos [en línea] Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4603/TAQUIA_JOSE_OPTIMIZACION_RUTAS.pdf?sequence=1> [Citado en febrero de 2.015]

⁹ Análisis del Sistema de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos en el Centro Histórico de Morelia [en línea] Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2431/gutierrezgalicia.pdf?sequence=1> [Citado en febrero de 2.015]

¹⁰ Diseño de un Sistema de Recolección Utilizando Herramientas Geo-Tecnológicas [en línea] Disponible en: <http://www.itschile.cl/media/Claudia_Arribas_ITS_2008_FINAL.pdf> [Citado en febrero de 2.015]

4. Justificación

Este proyecto responde a la necesidad de la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P. de contar con un diagnóstico de la situación actual de las rutas de recolección de aseo donde se evalúe la efectividad de cada una de las rutas existentes y se diseñe una mejora de las rutas de recolección de residuos sólidos que sirva a la entidad como herramienta para planear la prestación del servicio de recolección de aseo en el Municipio de Piedecuesta con la mayor eficiencia posible, con el fin de contribuir bajo este enfoque a la construcción del desarrollo sostenible de nuestra región.

La recolección de residuos consiste en transportar los residuos sólidos desde su almacenamiento en la fuente generadora hasta el vehículo recolector y luego trasladarlos hasta el sitio de disposición final. El objetivo de la prestación del servicio de aseo de la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P. es proteger la salud pública y el medio ambiente al menor costo.

Lo anterior significa que el servicio mencionado se debe ofrecer de manera eficiente. La recolección de residuos es uno de los servicios prestados susceptible de ser diseñado dado que, como se verá más adelante, se puede realizar el mismo trabajo de maneras muy diferentes.

Al aplicar la aproximación determinística – heurística se intenta resolver el problema de la ruta de recolección proponiendo un procedimiento heurístico para examinar alternativas posibles y seleccionar la mejor. El procedimiento heurístico desarrolla un sistema de nodos elaborado definiendo las calles de la red de la comunidad y las características de cada segmento de calle, por ejemplo, la longitud de la calle y el número de servicios entre nodos, diseño del tráfico, y la cantidad de basura generada.

Mediante la aplicación del procedimiento heurístico se busca una solución factible al problema, de una manera más eficiente y en un tiempo razonable esto quiere decir que los resultados obtenidos son mejores a los que se tienen actualmente, sin embargo no se asegura que esta sea la solución pero su propósito es encontrar la más cercana al óptimo.

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Proponer un procedimiento heurístico para el diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios a la Empresa Piedecuestana de Servicios E.S.P, para el municipio de Piedecuesta, Santander

5.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar el diagnóstico de la situación actual de las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios.
- ✓ Identificar los principales parámetros, aspectos y factores para el diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios.
- ✓ Proponer una heurística para diseñar la ruta de recolección de residuos en un sector.
- ✓ Analizar una ruta propuesta en términos de los principales criterios identificados con el fin de conocer su efectividad.

6. Marco Teórico

El diseño de rutas de recolección involucra aspectos, ya que en esta actividad deben de ser consideradas, tanto las características naturales y demográficas de la localidad como: topografía, vialidades, concentración de la población, habitantes, comercios, hospitales, escuelas, cantidad de residuos, etc., como de las características y condiciones del personal y equipo con que se cuenta.

A continuación se presentan los aspectos que deben de ser considerados para realizar el diseño y la reestructuración de las rutas de recolección de aseo:

6.1 Métodos de Recolección¹¹

El primer paso en el diseño o reestructuración de las rutas de recolección será el de definir el método de recolección a emplear, el cual depende tanto de las características de la localidad como de los usos y costumbres de la población así como de la zona en la que se realice la recolección.

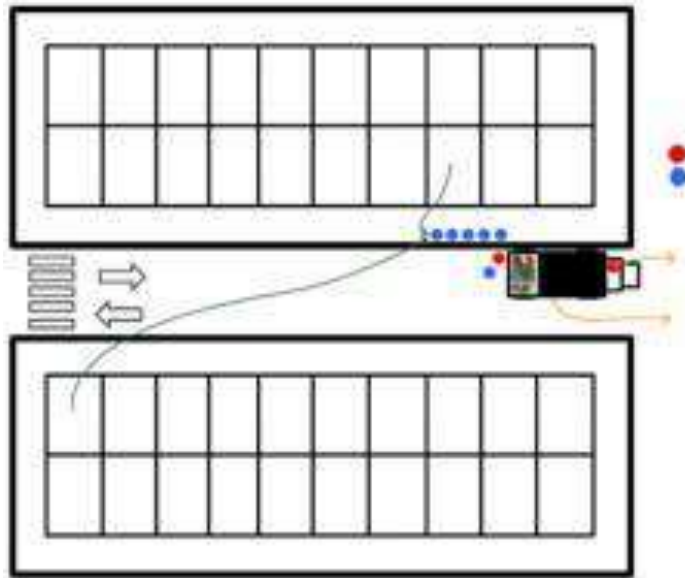
En ese sentido es común que en las zonas habitacionales se empleen los métodos de recolección de parada fija y acera, mientras que el de contenedores y de “llevar y traer” es el más utilizado para las fuentes de generación no domésticas, las características de cada uno de estos métodos se describen detalladamente:

6.1.1 Esquina o de Parada Fija

Se puede decir que es el método más económico y, es aquel mediante el cual los usuarios del sistema llevan sus recipientes hasta donde el vehículo recolector se estaciona para prestar el servicio (Ver figura N.3)

¹¹ Universidad pontificia bolivariana. Guía para el manejo integral de residuos solidos Área metropolitana del valle de aburra Medellín 2.010, pág. 68 primera edición [Citado Noviembre de 2.014]

Figura 3 Método de esquina o parada fija



Fuente: Elaborado por la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.

Una vez que los usuarios han llegado hasta el vehículo, forman una fila ordenada para que un operador les tome el recipiente y lo entregue a otro que se encuentra dentro de la carrocería del vehículo, el cual vacía su contenido y lo regresa al operario que se le entregó para que, a su vez, se lo devuelva al usuario, quien después de ser atendido se retira del vehículo.

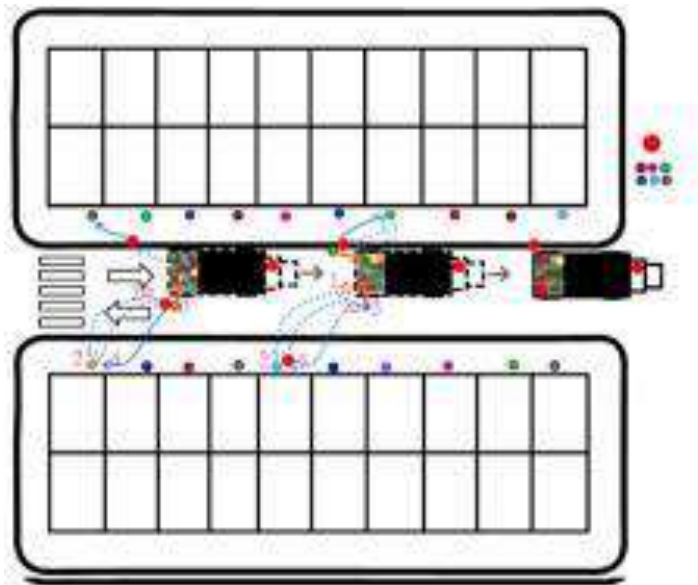
La operación anterior se repite tantas veces como sea necesario, hasta atender a todos los usuarios que lo hayan solicitado.

6.1.2 Acera

En este método, el personal operario del vehículo recolector toma los recipientes con basura que sobre la acera han sido colocados por los usuarios del servicio, para después trasladarse hacia el vehículo recolector, con el fin de vaciar el contenido dentro de la sección de carga de dicho vehículo; regresándolos posteriormente al sitio de la acera de donde los tomaron, para que los usuarios atendidos los introduzcan ya vacíos a sus domicilios (Ver Figura 4).

Para que se cumpla debidamente lo antes descrito se requiere, además de amplio civismo por parte de los usuarios del sistema, que el vehículo recolector transite a bajas velocidades en ambos sentidos de la calle; por consiguiente, es lógico pensar que este método tiene más posibilidades de ser implantado ordenadamente en aquellas localidades que cuentan con calles de doble sentido y, de preferencia, con camellones.

Figura 4 Método de acera



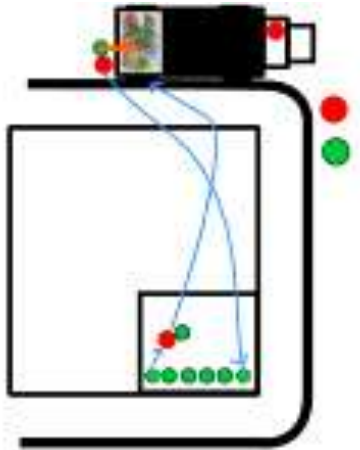
Fuente: Elaborado por la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.

Este método, además de ser más costoso que el de esquina, presenta el inconveniente de que animales domésticos y no domésticos (perros, gatos y ratas entre otros), pueden verse atraídos por recipientes con basura sobre la acera, pudiendo en un momento dado, dispersar sobre la misma al buscar su alimento y, dando por resultado que la recolección se lleve a cabo en forma más lenta. Para evitar o atenuar este inconveniente, suele recomendarse el uso de bolsas de polietileno herméticamente cerradas, así como el empleo de canastillas elevadas en las aceras donde se colocan los recipientes con los residuos; sin embargo, esto puede involucrar un costo adicional para los usuarios, que no siempre están dispuestos a cubrir.

6.1.3 "Llevar Y Traer" o Intradomiciliario

Este método es semejante al anterior, (Ver Figura 5) con la variante de que los operarios del vehículo recolector, entran hasta las casas habitación por los recipientes con basura, regresándolos hasta el mismo sitio de donde los tomaron, una vez vaciado dentro del vehículo. Naturalmente, este método de recolección suele resultar más costoso que el de acera y, aún más que el de esquina.

Figura 5 Método Intradomiciliario



Fuente: Elaborado por la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.

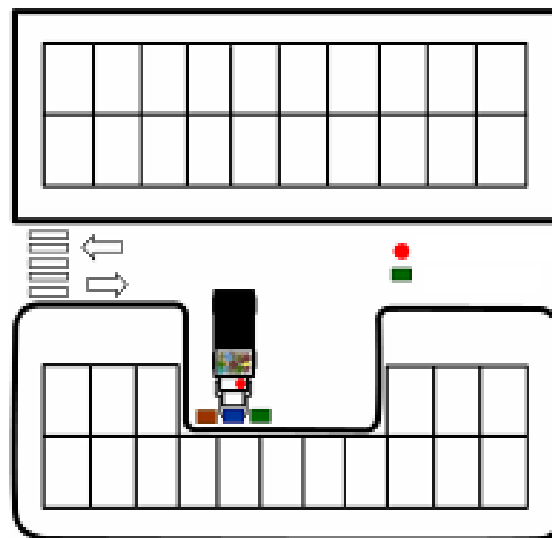
6.1.4 Contenedores

El Método de Contenedores (Ver Figura 6), es semejante al de esquina en cuanto a que el vehículo recolector debe detenerse en ciertos puntos predeterminados para llevar a cabo la prestación del servicio. Puede decirse que este método es el más adecuado para realizar la recolección en centros de gran generación o de difícil acceso; como pueden ser hoteles, mercados, centros comerciales, hospitales, tiendas de autoservicio y zonas marginadas, entre otras.

La localización de los contenedores, deberá disponerse de tal manera que el vehículo recolector tenga un fácil acceso a ellos y que, además, pueda realizar maniobras sin problemas.

No debe pensarse, no obstante, que en todos los casos los métodos de recolección mencionados se cumplen tal y como fueron descritos, puesto que de una u otra manera siempre existe alguna variante en cuanto al equipo, participación del usuario y número de empleados que prestan servicio (por señalar tan sólo algunas de ellas), que los diferencian de los antes mencionados.

Figura 6 Método de Contenedores



Fuente: Elaborado por la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.

6.2. Equipos de Recolección y Transporte Primario¹²

Con respecto a los equipos de recolección y transporte primario, se sugiere que, siempre que sea factible (por las características físicas y poblacionales de la localidad), se empleen vehículos con carrocerías de gran capacidad, provistos de compactadoras para abatir los costos de recolección.

¹² Universidad pontificia bolivariana. Guía para el manejo integral de residuos solidos Área metropolitana del valle de aburra Medellín 2.010, pág. 70 primera edición [Citado Noviembre de 2.014]

Las carrocerías de volteo, aunque son preferidas por localidades con cierta tendencia rural, debido a su versatilidad y menor costo, no son adecuadas para la recolección y transporte de basura doméstica desde el punto de vista de salud pública, debido principalmente a que por el hecho de ser descubiertas y carentes de sello hermético en el fondo, propician el esparcido de residuos y líquidos contenidos en la misma basura, a lo largo de sus recorridos dentro y fuera de sus rutas de operación.

En términos generales, puede decirse que existen carrocerías para vehículos recolectores de carga lateral, trasera y frontal. Estas últimas se usan exclusivamente para la carga mecánica de contenedores, mediante un dispositivo consistente en un par de brazos, que ensamblan con el contenedor, elevándolo y vaciándolo por la parte superior de la caja compactadora.

Los vehículos dotados de carrocerías de carga trasera de dos ejes, son muy eficientes, pues la recolección se efectúa en forma más cómoda y menos fatigosa para el personal operativo debido a su altura de carga no mayor de 1.20 m. Además, permiten por lo general prescindir de un operario y así, reducir la tripulación del vehículo y los costos de operación.

Ahora bien, debe dejarse bien asentado que no siempre es adecuado el uso de vehículos especializados para la recolección de los residuos sólidos, ya que no en todos los casos la traza urbana brinda las facilidades de acceso, penetración, maniobrabilidad y pendiente, requeridas para la utilización y máximo aprovechamiento de tales vehículos. En muchos casos la utilización de unidades de las consideradas como "no convencionales", pueden dar mejores resultados tanto en costo como en rendimiento y eficiencia, que los obtenidos con el uso de unidades recolectoras especializadas.

Al respecto de lo mencionado anteriormente, debe entenderse como "unidad no convencional de recolección", todo aquel vehículo utilizado para la prestación de este servicio, en sustitución de cualquier equipo de recolección considerado como especializado. De esta manera, desde un carretón movido por tracción animal, hasta un

vehículo tipo volteo, pueden constituir una unidad de recolección no convencional. Normalmente, este tipo de unidades se utilizan en zonas sin caminos de penetración, o bien en todas aquellas de difícil acceso.

Con base en todo lo anterior, los equipos de recolección pueden ser clasificados de la siguiente manera:

6.2.1. Equipos Recolectores de Alta Tecnificación:

Son todos aquellos que por adaptación o por diseño original, están capacitados para realizar maniobras de carga y descarga de contenedores.

6.2.2. Equipos Especializados Para La Recolección De Residuos Sólidos:

Son aquellos que por su diseño original, están capacitados para la prestación del servicio de recolección (y posterior descarga) de basura con cierta comodidad; como son todos los vehículos compactadores de carga trasera y lateral; y algunos otros de carga lateral sin mecanismos de compactación pero con placa empujadora de basura.

6.2.3. Equipos no Convencionales Para la Recolección de Residuos Sólidos: Cualquier vehículo utilizado para la prestación del servicio en cuestión, que no presente las características mencionadas para los equipos especializados y de alta tecnificación.

A continuación se ofrece una muy breve descripción de algunos de los equipos de recolección de basura más comúnmente usados en el medio urbano colombiano, con relación a lo anteriormente descrito.

6.2.4. Sistemas de Recolección por Contenedores Altamente Especializados

Estos sistemas están diseñados para atender la demanda del servicio, exclusivamente a través de la utilización de contenedores.

Son equipos altamente tecnificados donde la variante radica casi exclusivamente en cuanto al mecanismo empleado para la carga y descarga de contenedores con capacidad normalmente alta (desde 6 hasta 22m³).

Cuando se usan adecuadamente, su eficiencia de recolección es muy alta. Estos sistemas no son recomendables para la recolección domiciliaria con métodos tradicionales; sino más bien para cuando no se cuenta con un acceso adecuado y/o en zonas de gran generación. Su utilización también es recomendable en mercados, hospitales, tiendas de autoservicio, multifamiliares de gran tamaño, industrias, etc.

La diferencia básica con respecto a los vehículos compactadores de carga trasera, frontal o lateral con mecanismos para contenedores, radica en el tamaño de los contenedores por atender, ya que normalmente un sistema como los aquí indicados, maneja contenedores 2 a 5 veces más grandes que los que pueden atender vehículos con mecanismo de contenedores adaptado; amén de que estos últimos, después de atender al contenedor lo dejan nuevamente en su sitio, mientras que los sistemas altamente especializados sustituyen un contenedor lleno por uno vacío.

6.2.5. Vehículos Compactadores Con Mecanismos De Carga Trasera, Frontal Y Lateral.

Estos vehículos son generalmente de 12 a 30 m³ de capacidad volumétrica, con mecanismo de carga y de descarga de contenedores, cuya capacidad varía desde uno hasta seis metros cúbicos, según la potencia de dicho mecanismo.

Su eficiencia de recolección es muy alta cuando se usa adecuadamente, por lo que no debe ser utilizado en la recolección domiciliaria con los métodos tradicionales de esquina, acera o de llevar y traer.

Su principal uso es para la recolección de basura en centros de gran generación como mercados, multifamiliares, unidades habitacionales y supermercados, etc.

6.2.6. Vehículos Compactadores de Carga Lateral

Pueden ser de caja cuadrada o cilíndrica con mecanismo de compactación. La carga de basura se hace lateralmente. Su capacidad de carga varía normalmente de 10 a 16m³, pudiendo en algunos casos ser más elevada.

Su principal ventaja es que cuenta con un mecanismo sencillo de compactación, además de que se le puede adaptar un mecanismo para la carga y descarga de contenedores. Su principal desventaja es que la altura de carga y su diseño obligan a que un empleado viaje dentro de la caja para recibir la basura, por lo que la compactación no se hace con la regularidad debida.

6.2.7. Vehículos Compactadores de Carga Trasera

En este tipo de vehículos, la carga de basura se hace a través de una tolva que se encuentra ubicada en la parte posterior de la carrocería.

Normalmente son de entre 10 y 20 m³ de capacidad, con equipo opcional para carga de contenedores.

Sus principales ventajas son que la altura de carga es baja, que los operarios no tienen acceso a la basura para "pepenarla" una vez que el mecanismo compactador de carga se ha hecho funcionar y, que puede atender contenedores pequeños en su ruta de recolección.

6.2.8. Vehículos Sin Mecanismo De Compactación, De Carga Lateral O Trasera.

La utilización de este tipo de vehículos cada día se hace más frecuente, debido a los altos costos de inversión y mantenimiento del equipo especializado.

Su capacidad normalmente varía de 8 a 16 m³. La carga de basura se hace en la mayoría de los casos en forma lateral, aunque para ciertas cajas es mejor hacerlo por la parte trasera.

El bajo costo de inversión y los reducidos requerimientos económicos de mano de obra especializada para su mantenimiento, son sus principales ventajas.

Su principal desventaja es la disminución en cuanto al tonelaje de basura que puede transportar; ya que por falta de mecanismo de compactación, el peso volumétrico alcanzado dentro de la carrocería por los residuos, difícilmente rebasa los 350 kg/m³.

No es recomendable adaptar a este tipo de vehículos, mecanismos para la carga y descarga de contenedores.

6.2.9. Vehículos Tipo Volteo

Estos vehículos con mecanismos de descarga tipo volteo, pueden llegar a contar con puertas laterales para facilitar la carga dentro de la carrocería del vehículo así como son extensiones para alimentar su capacidad volumétrica y aprovechar la gran capacidad de soporte de carga del chasis.

Las principales ventajas son: su bajo costo comparado con un camión más tecnificado y, que la descarga por volteo es mucho más rápida que cuando se tienen cajas fijas.

Las desventajas obvias son las siguientes: la altura de carga es muy elevada, el acomodo de la basura dentro de la caja es manual, se requiere de un empleado adicional en la cuadrilla de trabajo. Asimismo al adicionarle a la caja volumen hacia arriba, se corre el riesgo de elevar el centro de gravedad por encima de las especificaciones de diseño de los vehículos.

6.2.10. Otros Vehículos y Sistemas.

Estos tipos de equipos de recolección, incluyen los no convencionales, como serían los vehículos de arrastre manual o de animales, las acémilas, la recolección por medio de animales o vehículos motorizados pequeños.

Este tipo de vehículos se utiliza en sitios muy específicos, en donde las condiciones del terreno, la topografía y la amplitud de las calles no permiten la entrada de los vehículos convencionales.

De igual manera en localidades pequeñas, en donde la cantidad de basura recolectada no justifica la utilización de equipos grandes, o en el caso de que los presupuestos asignados al servicio de limpia no sean suficientes, se utilizan para la recolección este tipo de equipos.

6.3. Aspectos a considerar en las rutas de recolección¹³

- ✓ Número y tipo de equipo seleccionado.
- ✓ Tamaño de la tripulación.
- ✓ Frecuencia de recolección.
- ✓ Distancia entre paradas y estaciones.
- ✓ Distancia al sitio de transferencia o disposición final.
- ✓ Maniobrabilidad de los contenedores.
- ✓ Topografía del terreno.
- ✓ Tráfico en la ruta.
- ✓ Condiciones de los caminos.

Otras consideraciones para el ruteo son:

- ✓ Las rutas no deben de estar fragmentadas o traslapadas.
- ✓ Cada ruta deberá ser compacta, atacando un área geográfica y estar balanceada.
- ✓ El tiempo total de cada ruta deberá ser razonablemente el mismo.
- ✓ La recolección deberá comenzar lo más cercano al encierro.
- ✓ Las calles de un solo sentido se tratarán de atacar desde el principio de ellas.
- ✓ Se deberán minimizar las vueltas en U y a la izquierda.
- ✓ Las partes elevadas se atacarán primero.

¹³ Universidad pontificia bolivariana. Guía para el manejo integral de residuos solidos Área metropolitana del valle de aburra Medellín 2.010, pág. 29 primera edición [Citado Noviembre de 2.014]

- ✓ Generalmente, cuando sólo se recolecta de un lado de la acera, es preferible rodear las manzanas.
- ✓ Cuando la recolección es por los dos lados de la acera, es preferible recolectar en línea recta por varias manzanas.

7. Diagnóstico de la situación actual de las rutas de recolección de residuos sólidos

7.1 Generación de residuos sólidos

La población de Piedecuesta se encuentra distribuida en 112 barrios y se calcula que la ciudad de Piedecuesta produce alrededor de 826 toneladas de residuos sólidos por día, esta información fue suministrada por la empresa. En la Tabla 1 Se muestra el número de usuarios que hay que cada barrio de Piedecuesta, por tanto se puede tener una estimación de la cantidad de residuos generados.

Tabla 1 Generación de Residuos Solidos

Sectorización Piedecuesta			
Nombre de sector	Barrios que conforman el sector	Número de usuarios	Total de usuarios por ruta
Ruta 1. Calle	Bomba la isla pizza ritmo (Punto de Inicio)	3	3457
	(92300) Refugio	933	
	(92030) Portal de talado de casas	98	
	(92310) Paysandú	74	
	(90204) Paraíso I	50	
	(92210) Paraíso II	110	
	(92210) Brisas de guatiguara I	95	
	(92213) Brisas de guatiguara III	54	
	(92230) Divino niño	327	
	(92281) Junín I	3	
	(92282) Junín II	106	
	(92283) Junín III	22	
	(92284) Junín IV	26	
	(9225) Callejuelas apartamentos	140	
	(92220) Callejuelas casas	14	
	(96020) Santillana	42	
	(92400) Bosques de Aranjuez	39	
	(93560) Portal de la hacienda	19	
	(93040) Palermo I	287	
	(93050) Palermo II	137	
(92270) Portal de Santillana	26		
(92223) Camelot Aptos	69		
(92420) Santelmo I	171		
(92224) Villa Sofía casas	28		
(93425) Portal imperial	38		
(92250) La rioja	42		
(92410) La argentina	425		
(92430) Santelmo II	79		
Ruta 2.	(94480) Villas de navarra	130	2476

Sectorización Piedecuesta			
Nombre de sector	Barrios que conforman el sector	Número de usuarios	Total de usuarios por ruta
Carreras	(92020) Habitares de la macarena	169	
	(94410) Castellana Etapa I	296	
	(94350) San Luis	55	
	(94330) Puerto madero	74	
	(94450) Villanueva	635	
	(94390) villas de coaviconsa	42	
	(94470) Villanueva del campo	1	
	(94420) Paseo Alcalá	169	
	(94430) Paseo Cataluña	254	
	(94425) Paseo Galicia	37	
	(92030) Portal de talado	98	
	(94460) Villaluz	158	
	(93025) Torres de campo verde	20	
	(94476) Navarra real	118	
	(92440) Entre parques	103	
(94210) La argentina antigua	117		
Ruta 3. Piezas	(91450) Pinares de granada	66	3463
	(91430) Nuevo pinares	18	
	(91440) Pinares campestre	178	
	(91410) Altos de granada	81	
	(93330) Granadillo	250	
	(91330) Villas de san juan	275	
	(91310) San Carlos	547	
	(91320) San francisco	613	
	(91200) San Cristóbal, escuela normal superior	446	
	(91020) La colina	176	
	(91010) Cabecera del llano	569	
	(91030) San marcos	40	
	(94096) Portal del molino	48	
	(94094) Molino del campo	104	
	(94098) Vda. los llanitos	4	
	(90201) Condomio monterreal	2	
	(90401) Camino del molino	1	
(94095) Molino del viento	45		
Ruta 4. Hoyo grande	(93060) Villa lina	142	2869
	(93210) El trapiche	55	
	(93260) Suratoque	98	
	(93240) La tachuela	298	
	(93200) Albania	95	
	(93030) Chacarita	209	
	(93010) Buenos aires	134	
	(93000) Bariloche	231	
	(93220) La candelaria	386	
	(93325) Portal de la cantera	46	
	(91470) San jeronimo	6	
	(94040) Hoyo grande	452	
	(93370) Monserrate	82	
	(93300) Bellavista	58	
	(93270) Villas del rosario	264	

Sectorización Piedecuesta			
Nombre de sector	Barrios que conforman el sector	Número de usuarios	Total de usuarios por ruta
	(93230) La feria	313	

Fuente: Empresa Piedecuestana Departamento de Operaciones y Autor

La empresa Piedecuestana (PDS), cuenta con una base de datos donde se encuentran los barrios codificados.

La producción promedio por usuario al mes es de 70 Kg de residuos sólidos, el cual significa que cada usuario que está inscrito a la empresa está produciendo 5,83 Kg.

La empresa Piedecuestana asignó un nombre para cada ruta que se realiza en el municipio, reflejando los barrios que conforman cada ruta, el número total de usuarios y la cantidad de residuos sólidos generados por ruta.

7.2 Transporte y recolección de residuos sólidos

Actualmente, el 75% de los residuos sólidos generados en la ciudad son recolectados por la empresa de Piedecuestana de Servicios Públicos, y el 25% restante, por vehículos privados de Limpieza Urbana y Caralimpia.

El transporte de residuos sólidos de Piedecuesta se realiza por 7 rutas. Como se aprecia en la Tabla 2, se realizó el diagnóstico de 4 rutas de recolección de la empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.

Tabla 2 Diagnóstico rutas actuales de la Empresa Piedecuestana de Servicios P.D.S

RUTAS	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	DIST. RECOLECCIÓN	TIEMPO MUERTO	DIST.MUERTA	TIEMPO SALIDA	DIST.SALIDA	TOTAL TIEMPO	TOTAL KM
Calles	503 Min	12,03 Km	93 Min	10,1 Km	8 Min	1,15 Km	604 Min	23,28
Carreras	705 Min	18,25 Km	88 Min	12,1 Km	5 Min	0,71 Km	798 Min	31,06
Hoyo Grande	565 Min	8,4 Km	86 Min	17,31 Km	20 Min	4,18 Km	671 Min	29,89
Piezas	492 Min	6,49 Km	151 Min	14,86 Km	6 Min	0,39 Km	649 Min	21,74

Fuente: Autor

La Tabla 2 cuenta con el nombre de las rutas y las diferentes características de cada una de ellas que fueron seleccionadas debido a que contaban con mayor número de factores críticos. El tiempo de recolección es la actividad de recoger los residuos sólidos generados, para que puedan ser transportados al lugar de disposición final, a diferencia del tiempo muerto que es donde el camión se desplaza de un lugar a otro sin recolectar ningún tipo de residuos sólidos generados por los usuarios.

El tiempo y la distancia de salida tienen que ver son los datos tomados desde el punto donde el camión de la Piedecuestana de Servicios, recoge los últimos residuos generados por los usuarios hasta la ruta principal que comunica con el lugar de disposición final de los desechos.

Cabe resaltar el tiempo y las distancias muertas de las rutas que se encuentran en marcha actualmente en la empresa, debido a que se encuentran desfasadas, esto se debe a la falta de diseño de cada una de estas y la falta de utilización de herramientas tecnológicas. El 18,45 % del tiempo total en promedio tiene que ver con tiempos muertos para la empresa, el cual representa pérdidas, sobre costos para la empresa y una baja calidad del servicio prestado a sus usuarios.

7.3 Diagnóstico de la situación actual de las 4 rutas

7.3.1 Recolección

Según se pudo apreciar con la información disponible, el principal problema de la recolección es la falta de cobertura, lo cual se debe a lo siguiente:

La distribución del recorrido de las 4 rutas es ineficiente porque los compactadores no están destinados a dar servicio a una misma ruta sino del municipio, esto provoca que las unidades recolectoras no transporten el 100% de su capacidad y se realicen más viajes al carrasco.

Mala distribución de las unidades recolectoras en las 4 rutas.

El personal de los compactadores selecciona a primera mano los residuos, incurriendo en tiempo de su jornada y limitando con ello la cobertura del servicio de recolección.

1.3.2 Transporte

El transporte de residuos sólidos enfrenta los siguientes problemas:

Los continuos viajes a la disposición final de cada vehículo recolector significan costos operativos por desgaste de los vehículos y limitan la cobertura del servicio de recolección en esos tiempos.

El tiempo promedio de recolección de las 4 rutas comprenden 566,25 min, debido a que los tiempos muertos abarcan 104,5 Min y distancia muerta de 13,5925 Km dentro de cada ruta.

La distancia promedio de recolección es de 11,29 Km, esta se reduce por su cruce entre todas las rutas de recolección, por tanto, se realizan desplazamientos innecesarios dentro de las rutas.

El diagnóstico de la situación actual consistió en la implementación de medidas técnicas, administrativas y organizacionales que permitieron identificar la operación del servicio de recolección.

Del mismo modo, identificar las etapas de transporte y disposición final de residuos sólidos como:

a) Trazado de las rutas de recolección

Esta medida consistió en graficar las 4 rutas de recolección, las áreas de recolección entre los operadores de cada ruta, de manera que a un conjunto de calles de una misma zona se

refleja la coincidencia con el servicio de otra ruta y el traslado innecesario de compactadores entre rutas. Se reflejó la medida de los kilometrajes dentro de las rutas.

b) Control de tiempos de cada ruta

Esta medida complementa el trazado de las rutas de recolección con el fin de observar la eficiencia de tiempos.

8. Principales parámetros, aspectos y factores para el diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos

Tabla 3. *Generalidades de las rutas*

Generalidades de las rutas		
	Distancia muerta	Distancia recorrida por el camión, sin recolectar ningún tipo de residuos.
	Distancia de recolección	Distancia recorrida por el camión, donde recolecta los residuos generados por los usuarios.
	Distancia hasta la Autopista	Distancia recorrida desde el punto final de la ruta hasta llegar a la autopista.
	Autopista	Ruta principal al depósito final.
	Montones de residuos sólidos	Montones generados por los usuarios, debido al difícil acceso de los camiones.

Fuente: Autor

8.1 Ruta de calles

Como se observa en la Figura 7, las principales calles abarcadas por esta ruta son: la calle sexta, séptima y octava, en las cuales es donde se recolecta la mayor cantidad de residuos sólidos de esta ruta, debido a que estas calles corresponden a la zona industrial y donde se encuentra la mayor cantidad de locales comerciales. Estas calles son recolectadas en las horas de la mañana debido a que los locales comerciales abren sus puertas en esas horas.

Esta ruta es abarcada por un camión doble troque con una capacidad máxima de 16-18 toneladas dependiendo del volumen de los residuos recolectados. Cuenta con 1 conductor y 3 operarios que son los encargados de depositar los residuos sólidos desde el sitio de almacenamiento hasta el camión.

Figura 7. Ruta de calles



Fuente: Autor

La ruta de calles cuenta con un tiempo total de 604 minutos que equivale a 10,07 horas como se aprecia en la Tabla 2. Recolecta la mayor cantidad de residuos sólidos con un total 27 toneladas en promedio, lo que significa que la ruta debe ser abarcada en dos viajes por el camión doble troque.

Tabla.4 Ruta de calles

RUTAS	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	DIST. RECOLECCIÓN	TIEMPO MUERTO	DIST.MUERTA	TIEMPO SALIDA	DIST.SALIDA	TOTAL TIEMPO	TOTAL KM
Calles	503 Min	12,03 Km	93 Min	10,1 Km	8 Min	1,15 Km	604 Min	23,28 Km

Fuente: Autor

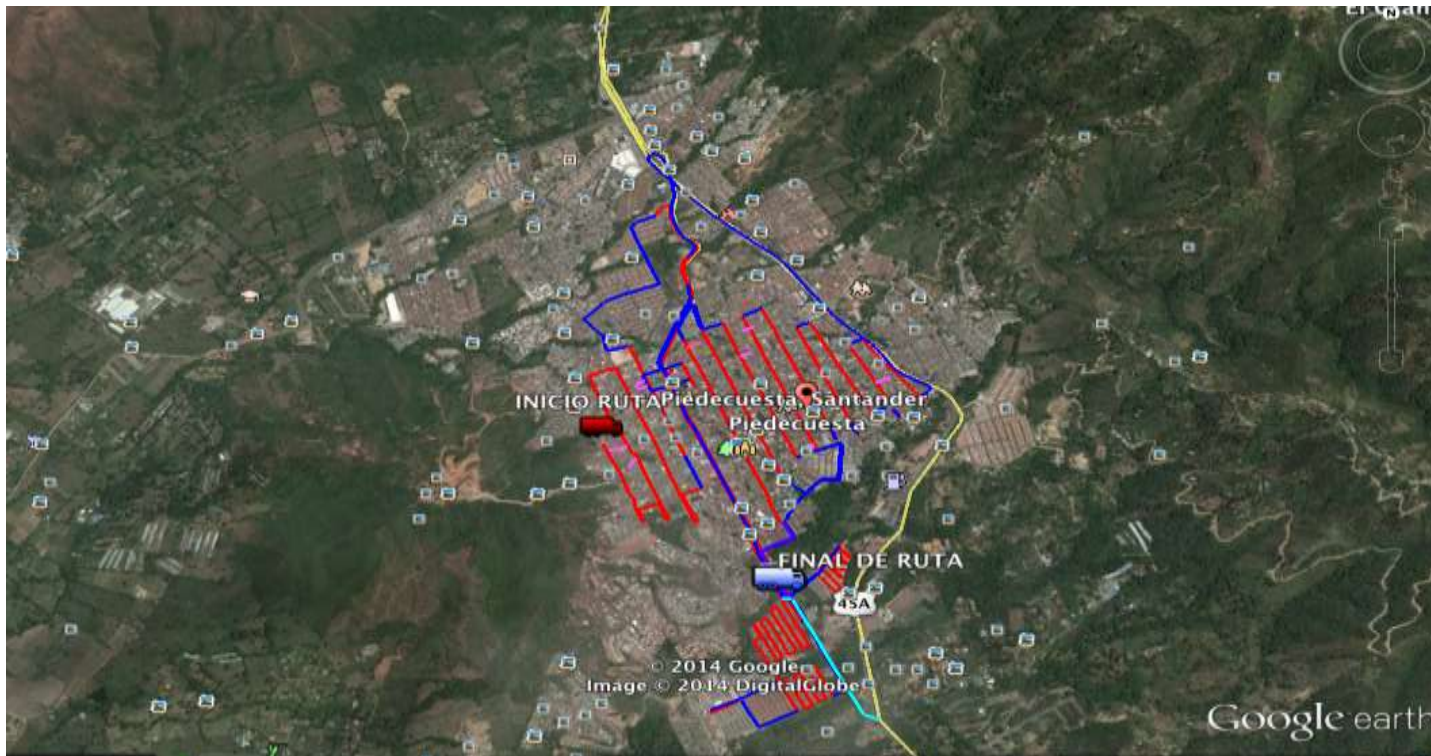
8.2 Ruta de carreras

Como se observa en la Figura N.8, las principales carreras abarcadas por esta ruta son: la carrera sexta, donde se encuentra la plaza principal de mercado del municipio de Piedecuesta y pequeños supermercados. Séptima, octava y novena, donde están ubicados locales comerciales, restaurantes, tiendas, pequeños supermercados y graneros.

Los residuos generados en estas carreras son recolectados en las horas de la mañana, debido a que los locales abren sus puertas en horas de la mañana.

Esta ruta es abarcada por un camión doble troque con una capacidad máxima de 16-18 toneladas dependiendo del volumen de los residuos recolectados. Cuenta con 1 conductor y 3 operarios que son los encargados de depositar los residuos sólidos desde el sitio de almacenamiento hasta el camión.

Figura 8 Ruta de carreras



Fuente: Autor

La ruta carreras cuenta con un tiempo total de 798 Minutos que es equivalente a 13,3 horas como se aprecia en la Tabla N.5. Recolecta un total de 22-24 toneladas en promedio de residuos sólidos, lo que significa que la ruta debe ser abarcada en dos viajes por el camión doble troque.

Tabla 5 Ruta de carreras

RUTAS	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	DIST. RECOLECCIÓN	TIEMPO MUERTO	DIST.MUERTA	TIEMPO SALIDA	DIST.SALIDA	TOTAL TIEMPO	TOTAL KM
Carreras	705 Min	18,25 Km	88 Min	12,1 Km	5 Min	0,71 Km	798 Min	31,06 Km

Fuente: Autor

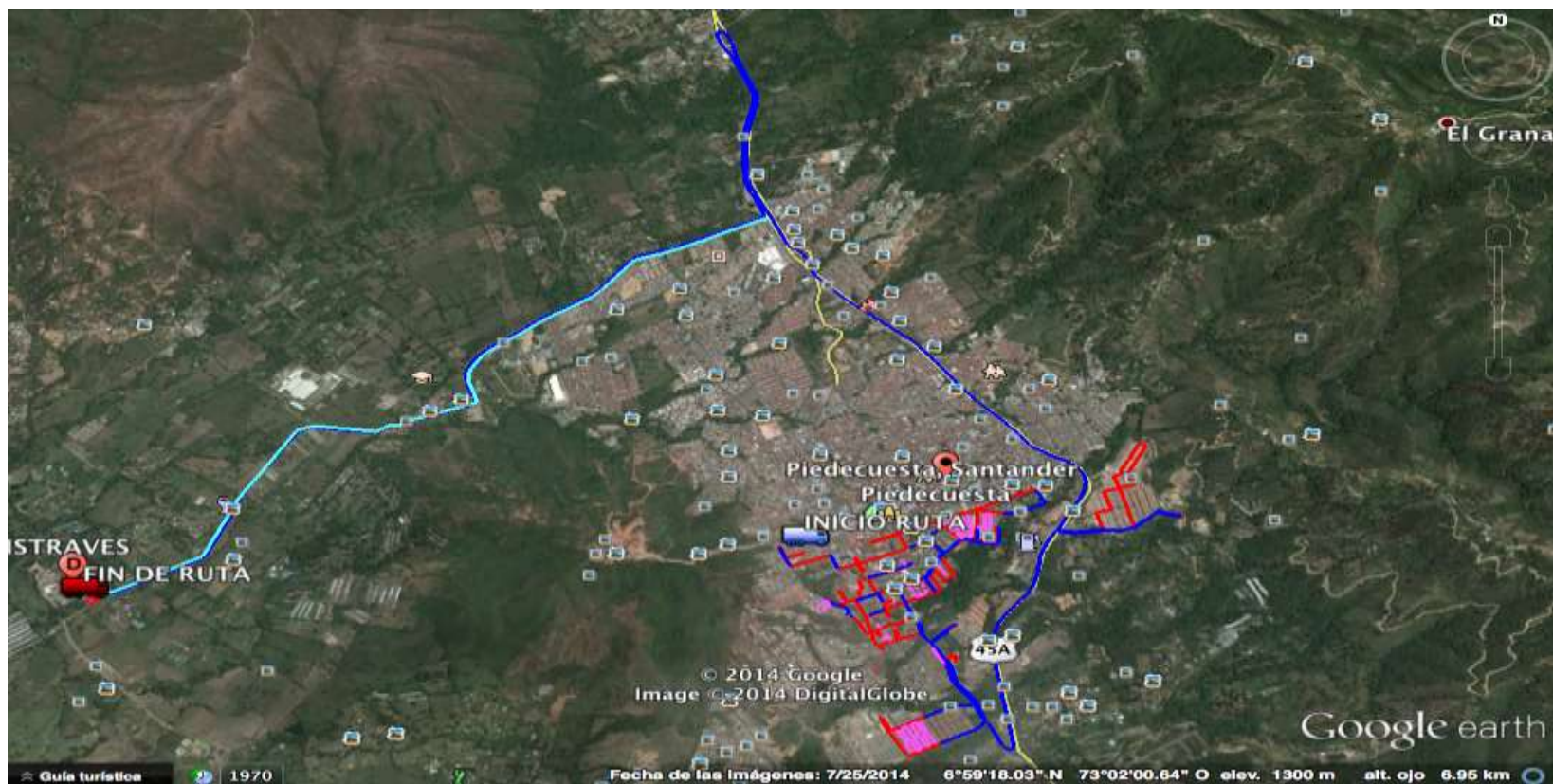
8.3 Hoyo Grande

Los principales barrios abarcados dentro de esta ruta son: Hoyo grande, la candelaria, la feria y la tachuela, en los cuales se encuentra la mayor cantidad de usuarios ubicados en conjuntos cerrados residenciales y casas que componen estos barrios. La producción promedio es de 1449 Kg por frecuencia de ruta.

Es importante tener en cuenta la pieza que se encuentra localizada en la empresa Distraves, ya que genera una gran cantidad de kilogramos de residuos sólidos.

Se puede observar en la figura N.9 las grandes distancias muertas que debe recorrer el compactador sencillo para desplazarse a los diferentes puntos de recolección en comparación de las otras. Esta ruta se realiza con un compactador sencillo, debido a que la ruta cuenta con vías angostas, peatonales.

Figura 9 Ruta de hoyo grande



Fuente: Autor

La tabla N.6 muestra los datos de los factores de esta ruta, donde cabe resaltar la distancia muerta recorrida por el compactador sencillo ocupa más del 50% del total de distancia recorrida, la ruta conocida como Hoyo Grande. Esta es acompañada por 1 conductor y 2 operarios que son los encargados de depositar los residuos sólidos desde el sitio de almacenamiento hasta el compactador sencillo. El camión compactador sencillo tiene una capacidad máxima de 8 a 9 toneladas, por tanto para cubrir esta ruta se necesita de dos viajes.

Tabla 6 Ruta de hoyo grande

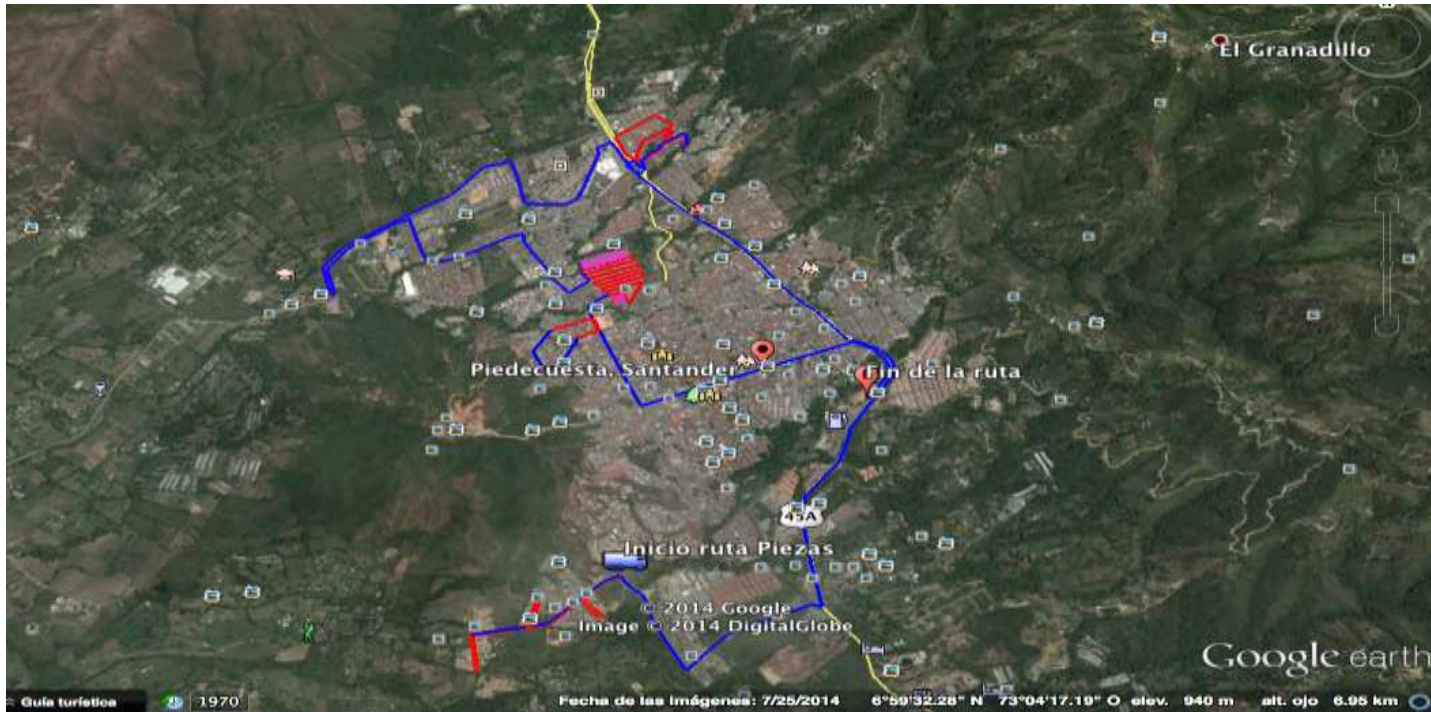
RUTAS	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	DIST. RECOLECCIÓN	TIEMPO MUERTO	DIST.MUERTA	TIEMPO SALIDA	DIST.SALIDA	TOTAL TIEMPO	TOTAL KM
Hoyo Grande	565 Min	8,4 Km	86 Min	17,31 Km	20 Min	4,18 Km	671 Min	29,89 Km

Fuente: Autor

8.4 Ruta de piezas

Esta ruta como muestra la Figura 10 y la Tabla N.7 abarca los barrios San Carlos, San Francisco y Cabecera del llano en los cuales se encuentra la mayor cantidad de usuarios registrados con la Piedecuestana de Servicios y donde se generan 2.200 km/frecuencia. Esta ruta debe ser abarcada con un camión doble troque con capacidad de 16 a 18 toneladas promedio. Cuenta con 1 conductor y 3 operarios que son los encargados de depositar los residuos sólidos desde el sitio de almacenamiento hasta camión doble troque esta es la ruta que más tiene distancia muerta.

Figura 10 Ruta de piezas



Fuente: Autor

Tabla 4. Ruta de piezas

RUTAS	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	DIST. RECOLECCIÓN	TIEMPO MUERTO	DIST.MUERTA	TIEMPO SALIDA	DIST.SALIDA	TOTAL TIEMPO	TOTAL KM
Piezas	492 Min	6,49 Km	151 Min	14,86 Km	6 Min	0,39 Km	649 Min	21,74

Fuente: Autor

Después del análisis de los antecedentes previos, se pueden identificar los siguientes problemas:

Cruces que se están presentando en las rutas actuales.

Las largas distancias que debe recorrer el camión.

Las jornadas extensas.

9. Procedimiento heurístico para diseñar la ruta de recolección de residuos

La herramienta que se utilizó para el desarrollo del procedimiento heurístico fue Google Earth¹⁴. Esta herramienta se caracteriza por su particular movimiento descendente y por su capacidad de acercarse a cualquier ubicación. Google Earth es la mejor solución de servicios cartográficos que los medios de comunicación pueden elegir. Google Earth incluye imágenes de satélite de todo el mundo (que abarcan a un 75% de la población mundial en alta resolución), cientos de ciudades en 3D y archivos de imágenes históricas, todo ello a disposición de los medios de comunicación.

Las principales características de esta herramienta son:

- Cobertura de satélite en todo el mundo.
- Edificios 3D: utiliza los nuestros o crea los tuyos propios.
- Relieve: montañas, valles y fondo del mar.
- Los datos de mapas más extensos.

9.1 Cómo diseñar una buena ruta

Es necesario conocer algunas variables inmediatas que estén estrechamente relacionadas con la forma como la comunidad interactúa con el ambiente o con características propias de éste, y que tienen importancia desde el punto de vista de la recolección.

Clima: información relacionada con:

- Días de lluvia
- Periodos lluviosos y secos en el año Frecuencia y duración de lluvias
- Temperatura del ambiente, en general, en la localidad.

¹⁴ Herramienta Google Earth [en línea] Disponible en: <http://www.google.com/intl/es_es/earth/media/features.html> [Citado en diciembre de 2.014]

Esta información será útil para determinar la frecuencia de la recolección y para planificar las operaciones de recolección, transporte y distribución final, sobre todo cuando para esta última se utiliza relleno sanitario.

Topografía

Aun cuando no con precisión, se requiere conocer la topografía general de la parte a la cual se presta el servicio: cuáles son sus partes altas y bajas y sus principales accidentes geográficos. Esta información puede obtenerse mediante reconocimiento visual y con información de la comunidad, complementada con planos que generalmente suministra el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, o algunas oficinas de administración municipal o departamental, en especial de Planeación.

La topografía definirá los sistemas de recolección (manual o mecánica), las posibles rutas de recolección y dará pautas para el establecimiento de las rutinas de las rutas.

Vías

Nuevamente con las mismas fuentes de información, se requiere ya con cierto detalle, para cada una de las vías de la localidad y con el fin de planificar la recolección y definir las especificaciones de los vehículos y equipos recolectores:

- Tipo de superficie de rodamiento y condiciones especiales.
- Pendientes.
- Trazado.
- Capacidad de tráfico.
- Flujos de tráfico, sobre todo relacionado con picos de tráfico.
- Sentido de tráfico, si está establecido.
- Características especiales, si existen¹⁵.

¹⁵Como diseñar una buena ruta [en línea] Disponible en:
<http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/manejos_residuos/manejo_residuos.html#> [Citado en diciembre de 2.014]

Residuos sólidos

El primer problema técnico que se presenta en cuanto a los residuos sólidos, es conocer cuánta basura y de qué tipo se produce en la ciudad población en estudio. El conocimiento de esta información junto con lo ya antes enunciado, permite establecer, entre otros, cuáles deben ser los equipos de recolección, el personal, el ruteo, la frecuencia de recolección y el establecimiento de tarifas.

9.2 Pasos para el desarrollo del procedimiento heurístico

El procedimiento heurístico es una manera de buscar una solución mediante métodos no rigurosos. Para resolver muchos problemas difíciles de optimización, es necesario llegar a un método sistematizado y móvil, en pocas palabras, un método numérico. Una característica de este tipo de métodos es que no estamos seguros de encontrar la solución óptima, pero la experiencia dice que proporciona una solución factible muy buena en un tiempo mucho menor que el requerido por un método exacto. En muchas ocasiones incluso se llega a la solución óptima. Esto lo caracteriza como un método muy rápido eficaz y eficiente.¹⁶

La forma en que se aplicó el procedimiento heurístico en el desarrollo del proyecto fue mediante la herramienta Google Earth, que brindó la facilidad de diseñar rutas, donde se pueden conocer las distancias que hay en cada una de ellas, los sentidos de las vías, topografía, longitud etc.¹⁷

Los pasos para el desarrollo del procedimiento heurístico son los siguientes:

1. Abrir Google Earth
2. En el panel de búsqueda, escriba la ciudad o municipio “Piedecuesta, Santander” y haga clic en Buscar.

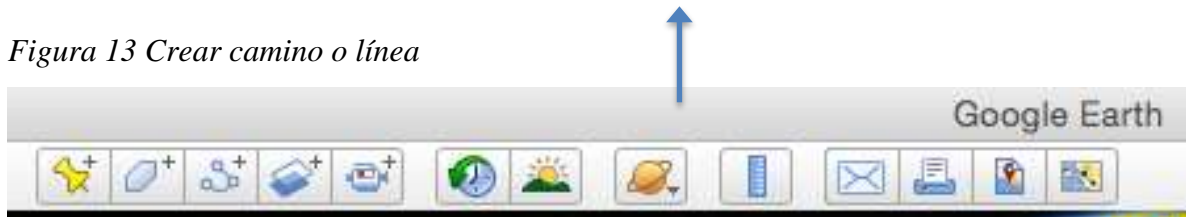
¹⁶ Procedimiento heurístico [en línea] Disponible en <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lat/campos_r_jl/capitulo3.pdf> [Citado en diciembre de 2.014]

¹⁷ Aplicación procedimiento heurístico <<https://inteciencia.wordpress.com>> [Citado en diciembre de 2.014]

4. Todas las opciones de la barra de herramientas tienen un propósito. Busca las herramientas adecuadas para crear una marca de posición, una ruta o un polígono.

Crear un camino o línea.


Figura 13 Crear camino o línea



Fuente: Autor

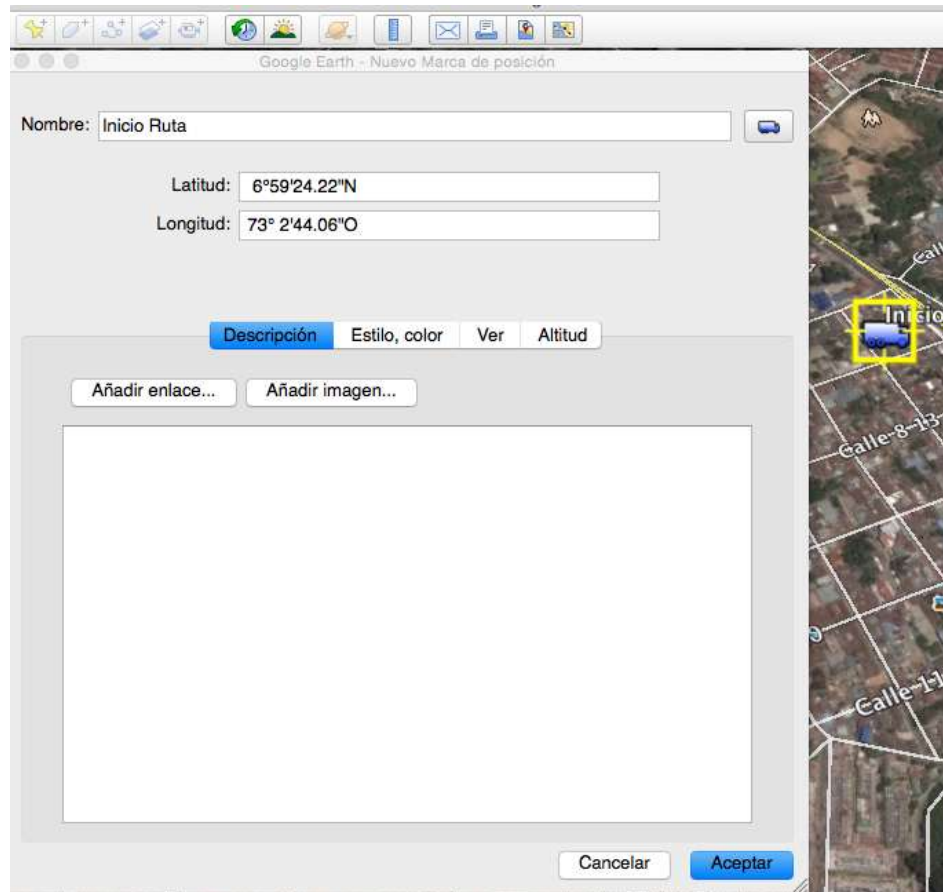
Crear una posición.

5. Cómo añadir marcas de posición

Haz clic en el botón Añadir marca de posición  de la barra de herramientas. Se añadirá automáticamente una marca de posición en Google Earth. También aparecerá el cuadro de diálogo Nueva marca de posición.


Para mover la ubicación de la marca de posición, hacer clic en el ícono y arrástralo, o bien introducir una latitud y una longitud en el cuadro de diálogo Nueva marca de posición.


Figura 14 Marcas de posición



Fuente: Autor

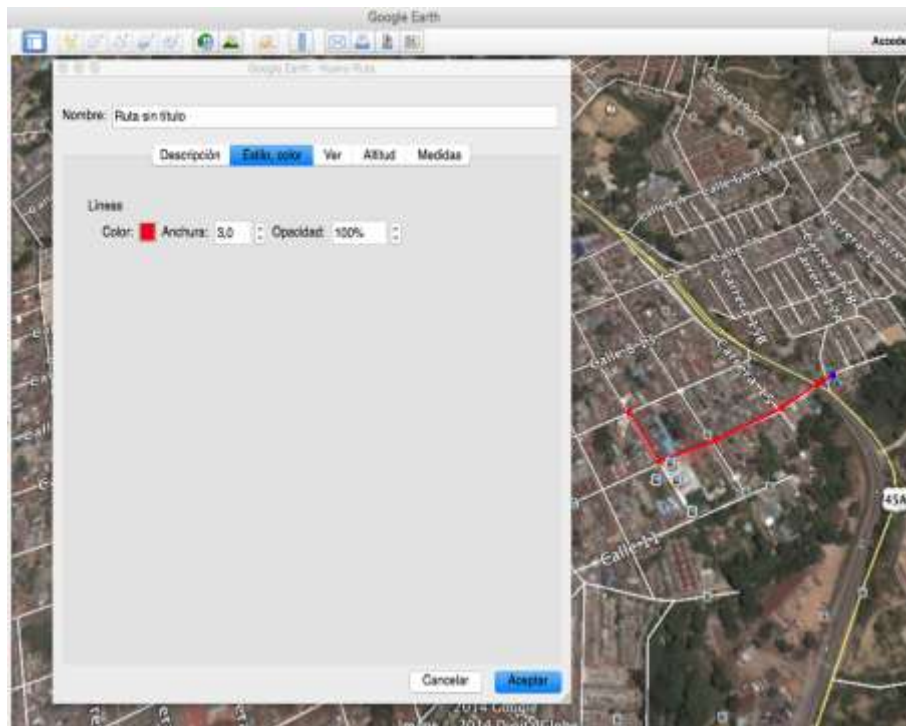
6. Cómo añadir rutas

Hacer clic en el botón Añadir ruta  situado en la parte superior izquierda del mapa.

Se abrirá el cuadro de diálogo Nueva ruta y el cursor cambiará a .

Hacer clic en una serie de lugares en el mapa para formar una ruta. Cada vez que hagas clic se añadirá un nuevo nodo a la ruta. También puedes hacer clic y arrastrar para crear nodos frecuentes que crearán una ruta más homogénea

Figura 15 Crear rutas



Fuente: Autor

10. Análisis de las rutas propuestas

El transporte de residuos sólidos de Piedecuesta se realiza por 7 rutas. Como se aprecia en la Tabla 7, se realizó la propuesta del mejoramiento de 4 rutas de recolección importantes de la empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.

Después de la aplicación de procedimiento heurístico y el uso de herramientas tecnológicas, obtenemos una solución factible al problema planteado. Donde lo primero que se hizo fue sectorizar el municipio de Piedecuesta para así evitar el cruce innecesario de sus camiones, luego buscar la mejor manera de inicio y finalización de la ruta, teniendo en cuenta la posibilidad de acceso a los barrios, que no se cruce con el horario escolar y facilidad al momento de dirigirse al lugar final de disposición.

Se redujo significativamente la distancia y el tiempo total muerto respecto a las rutas ejecutadas actualmente, ya que estos factores son los de mayor influencia en los sobrecostos de la empresa Piedecuestana.

Tabla 5 Propuesta Rutas planteadas para la Empresa Piedecuestana de Servicios P.D.S

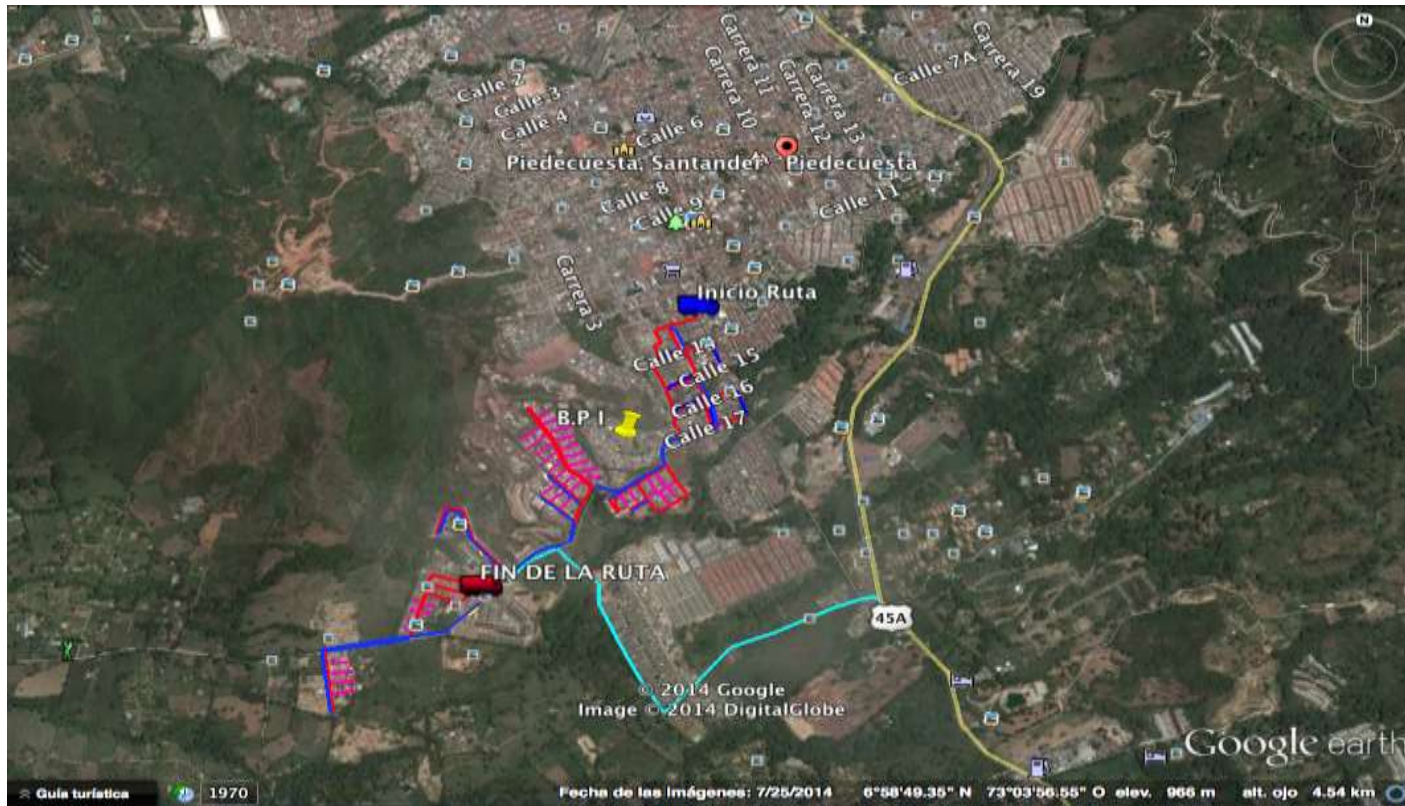
RUTAS	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	DIST. RECOLECCIÓN	TIEMPO MUERTO	DIST. MUERTA	TIEMPO SALIDA	DIST.SALIDA	TOTAL TIEMPO	TOTAL KM
Encima	612 Min	11,82 Km	38,9 Min	6,25 Km	5 Min	0,53 Km	639 Min	16,1 Km
Azul	630 Min	5,1 Km	43,05 Min	7,57 Km	10 Min	1,65 Km	660 Min	10,32 Km
Carreras	600 Min	12,11 Km	38,9 Min	8,48 Km	6 Min	0,77 Km	628 Min	18,36 Km
Dorada	645 Min	6,74 Km	39,38 Min	6,23 Km	9 Min	1 Km	730 Min	11,97 Km

Fuente: Autor

Se propone a la empresa la adopción de las siguientes rutas de recolección de residuos sólidos de la entidad, con el fin de mejorar la eficiencia operativa, ofreciendo un mejor servicio a los usuarios y alcanzar a ser la Empresa de Servicios públicos más competitiva en el mercado:

10.1 Ruta Encima

Figura 16 Ruta encima



Fuente: Autor

Tabla 6 Ruta encima

RUTAS	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	DIST. RECOLECCIÓN	TIEMPO MUERTO	DIST.MUERTA	TIEMPO SALIDA	DIST.SALIDA	TOTAL TIEMPO	TOTAL KM
Encima	612 Min	11,82 Km	38,9 Min	6,25 Km	5 Min	0,53 Km	639 Min	16,1 Km

Fuente: Autor

10.2 Ruta Azul

Figura 17 Ruta azul



Fuente: Autor

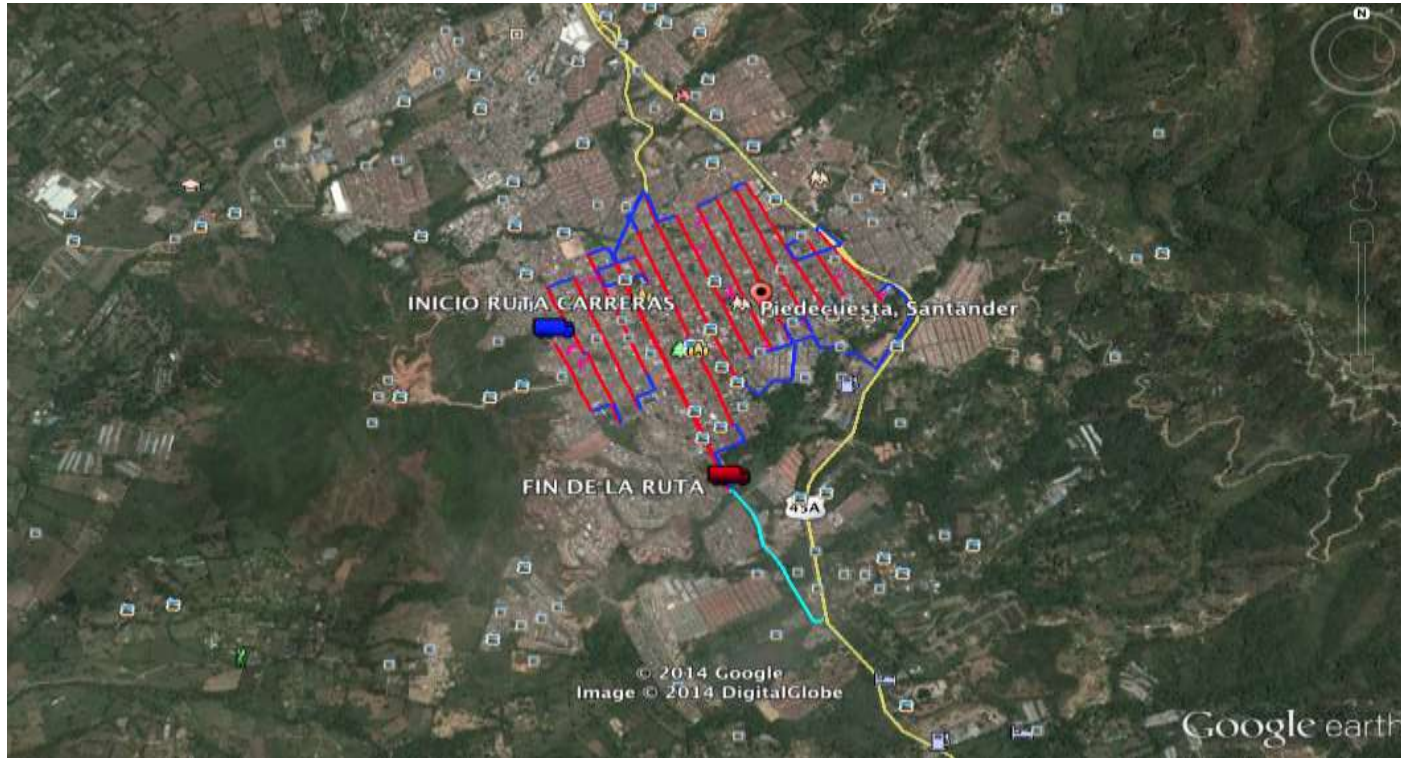
Tabla 7 Ruta azul

RUTAS	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	DIST. RECOLECCIÓN	TIEMPO MUERTO	DIST.MUERTA	TIEMPO SALIDA	DIST.SALIDA	TOTAL TIEMPO	TOTAL KM
Azul	630 Min	5,1 Km	43,05 Min	7,57 Km	10 Min	1,65 Km	660 Min	10,32 Km

Fuente: Autor

10.3 Ruta Carreras

Figura 18 Ruta carreras



Fuente: Autor

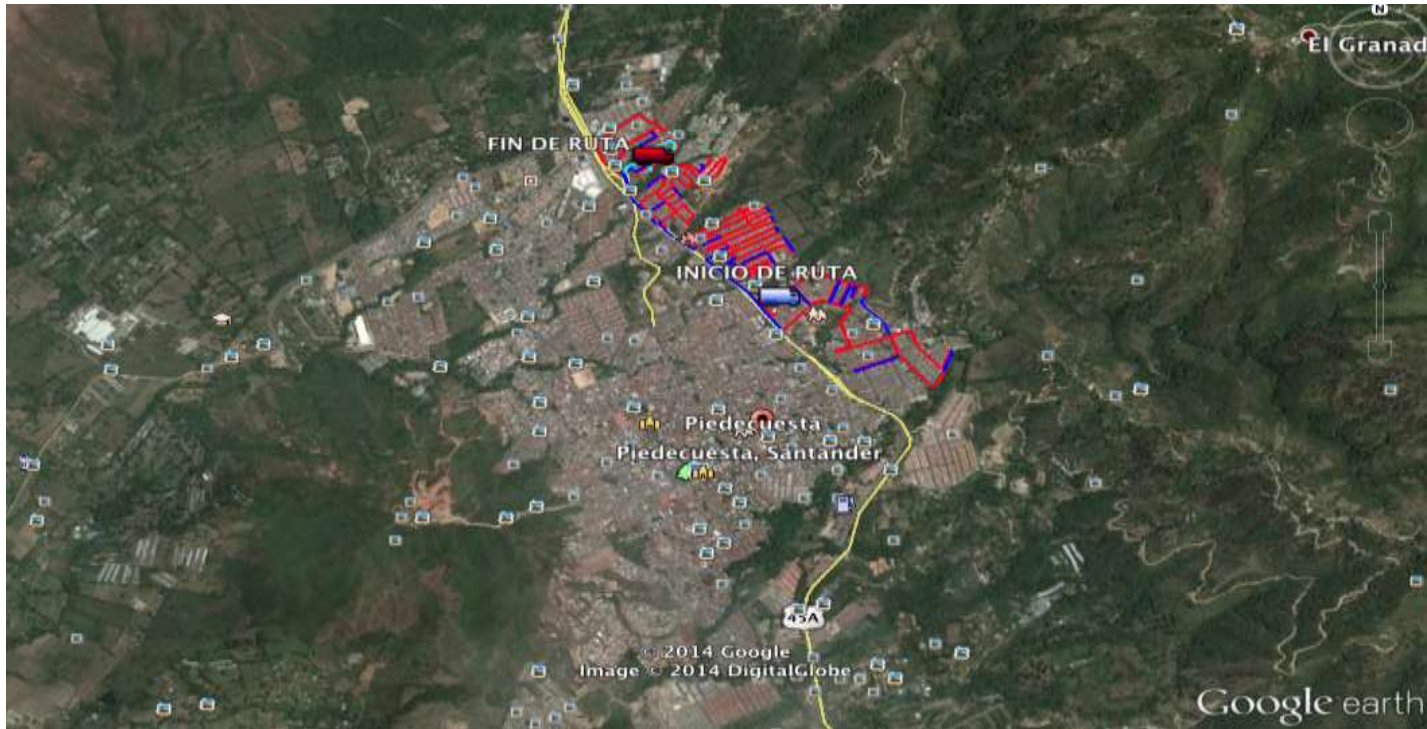
Tabla 8 Ruta carreras

RUTAS	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	DIST. RECOLECCIÓN	TIEMPO MUERTO	DIST.MUERTA	TIEMPO SALIDA	DIST.SALIDA	TOTAL TIEMPO	TOTAL KM
Carreras	600 Min	12,11 Km	38,9 Min	8,48 Km	6 Min	0,77 Km	628 Min	18,36 Km

Fuente: Autor

10.4 Ruta Dorada

Figura 19 Ruta dorada



Fuente: Autor

Tabla 9 Ruta dorada

RUTAS	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	DIST. RECOLECCIÓN	TIEMPO MUERTO	DIST.MUERTA	TIEMPO SALIDA	DIST.SALIDA	TOTAL TIEMPO	TOTAL KM
Dorada	645 Min	6,74 Km	39,38 Min	6,23 Km	9 Min	1 Km	730 Min	11,97 Km

Fuente: Autor

Tabla 10 Análisis de los resultados

TIEMPO PROMEDIO DE RECOLECCIÓN	Se obtiene que el tiempo promedio de recolección las rutas propuestas es mayor en 55,5 min, debido a que se redujeron los tiempos muertos y distancia muerta dentro de cada ruta
DISTANCIA DE RECOLECCIÓN	Se reduce la distancia promedio de recolección en 2,3475 km, ya que se evita el cruce que se presenta en las rutas actuales de la P.D.S, y se evita el desplazamiento innecesario dentro de las rutas
TIEMPO MUERTO	Se reduce significativamente los tiempos muertos de todas las rutas, prestando un mejor servicio a los usuarios, y evitando sobre costos a la empresa.
DISTANCIA MUERTA	Se reduce en 9,335 km,

Fuente: Autor

Para determinar las rutas propuestas, se realizaron 6 ejecuciones por cada ruta de las 4 rutas, identificando tiempo de recolección, distancia de recolección, tiempo muerto, distancia muerta, tiempo de salida y distancia de salida. Las Tablas 7, 8, 9,10 y 11 muestran los resultados de las ejecuciones y resalta los resultados máximo, promedio y mínimo. Además, indica el tiempo de ejecución de cada una de las rutas. La rutas propuestas entrega el tiempo promedio de recolección que es mayor en 55,5 min porque se redujeron los tiempos muertos y distancia muerta dentro de cada ruta, la distancia promedio de recolección es 2,3475 Km, ya que se evita el cruce que se presenta en las rutas actuales de la Piedecuestana de Servicios y el desplazamiento innecesario dentro de las rutas.

Se reduce significativamente los tiempos muertos de todas las rutas, prestando un mejor servicio a los usuarios, y evitando sobre costos a la empresa. Se reduce la distancia muerta en 9,335 es decir se minimiza distancia recorrida. En las Tablas 7, 8, 9, 10 y 11 se encuentran la información de las rutas propuestas. Para un mayor detalle de los resultados obtenidos por medio del procedimiento heurístico, las Figuras N.16, 17,18 y 19 muestran las distancias recorridas por las rutas propuestas.

Resultados de los indicadores actuales Vs propuestos:

1. Tiempo de recolección: 566,25 min Tiempo de recolección propuesto: 621,75 min

Refleja el aumento en 55,5 min en promedio en las cuatro rutas, el camión utilizado tendrá más tiempo de recolección debido a la sectorización y la buena distribución propuesta.

2. Tiempo muerto: 104,5 min Tiempo muerto propuesto: 40,05 min

Es la reducción más significativa en este proyecto, ya que las rutas actuales se diseñan de manera artesanal sin hacer uso en lo absoluto de herramientas tecnológicas ni procedimientos. Así se obtiene una reducción de 64,45 min en promedio en las cuatro rutas propuestas, debido a la utilización de herramientas tecnológicas y procedimientos.

3. Distancia de recolección: 11,29 km Distancia de recolección propuesto: 8,94 km

Muestra una disminución en la distancia de recolección en 2,35 km, los cuales no significan que se va a recolectar menos cantidad de residuos sólidos en las rutas propuestas, por lo contrario existirá una mejor distribución dentro de estas, y el camión se llenara en su totalidad con menos distancia recorrida, por eso se utilizó la metodología de sectorización.

4. Distancia muerta: 54,37 km Distancia muerta propuesta: 28,53 km

Se observa una disminución en el resultado del indicador, esto nos muestra las grandes distancias que debe recorrer el camión actualmente, en muchos de los casos simplemente recoge un montón como se muestra la recolección en Distraves en la ruta de hoyo grande.

Por lo tanto con las rutas propuestas se plantea que el camión no tenga que hacer ningún traslado representativo de un lugar a otro, en el cual no recoja ningún tipo de residuos sólidos, todo lo contrario se propone la menor distancia muerta, para que el servicio prestado a los usuarios sea mejor y evitar sobre costos innecesarios para la empresa.

Conclusiones

En todos los escenarios que se construyeron se obtuvieron resultados favorables en las reducciones en tiempo, siendo el parámetro más influyente en la realización de la recolección en el horario nocturno, seguido de la utilización de un vehículo compactador mediante el cual se tenga la capacidad de recolectar los residuos en menos viajes y realizar la descarga mecánica en el carrasco. Cabe mencionar que el de menor efecto fue el de cambio de método de recolección.

Al emplearse el procedimiento heurístico se logra interactuar con un gran número de parámetros que tradicionalmente no son considerados como los efectos del tráfico en las distintas vialidades, el cambio del tipo de vehículos, la reubicación del sitio de disposición final, el cambio en el método de recolección empleado y/o la supresión de paradas, logrando que se puedan medir los efectos que estos tienen sobre las rutas de recolección.

De los resultados obtenidos en este trabajo se resalta el hecho que en todos los casos que se utilizó el procedimiento heurístico, esta herramienta fue efectiva para el diseño de las rutas y se obtuvo una reducción en tiempo teniendo en cuenta los aspectos que influyen representativamente en el diseño de las rutas como se nombró anteriormente: el clima, topografía, y los residuos sólidos generados por los usuarios, se plantean unas rutas las cuales aseguran una solución factible y beneficiosa tanto para la empresa como para los usuarios que se encuentran registrados con ella.

Recomendaciones

Recolectar los elementos involucrados en el manejo del servicio de recolección y transporte de residuos tales como la población urbana servida, longitud recorrida en cada ruta, tiempo de recolección, entre otros, para analizar aspectos relacionados con la eficiencia y calidad del servicio importantes para el procedimiento heurístico.

La aplicación de los sistemas de información geográfica resultan ser de gran ayuda en el análisis de diseño de rutas de recolección de residuos sólidos, ya que se limita a minimizar el tiempo que se tarda el vehículo en los traslados de un punto a otro y cuantificar el tiempo que se emplea en el vaciado de rejillas y canastas en las áreas de servicio, para determinar el recorrido óptimo.

Bibliografía

Aplicación procedimiento heurístico [en línea] Disponible en: <https://inteciencia.wordpress.com> > [Citado en diciembre de 2.014]

Bustos Lourdes y otros; Manejo Integral de Residuos en la Corporación de Abastos de Bogotá.2006. Disponible [Citado septiembre de 2.014].

Cámara de comercio de Bucaramanga- Código Actividad Económica CIIU [en línea] Disponible:<<http://www.sintramites.com/sintramites/General/ActividadEconomica.aspx>> [Citado Junio de 2.014]

Castillo Sánchez, Mauricio. Guía para la formulación de proyectos de investigación. Bogotá, Cooperativa Editorial Magisterio, 2004. P.30-129. Disponible [Citado Noviembre de 2.014]

Herramienta Google Earth [en línea] Disponible en: <http://www.google.com/intl/es_es/earth/media/features.html> [Citado en diciembre de 2.014]

Méndez Álvarez, Carlos Eduardo. Metodología diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales. Bogotá D.C, Limusa Noriega Editores, 2006.p.1- 357. Disponible [Citado septiembre de 2.014].

Procedimiento heurístico [en línea] Disponible en <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lat/campos_r_jl/capitulo3.pdf> [Citado en diciembre de 2.014]

Ronald H. Ballou. Logística, Administración de la Cadena de Suministros - Quinta Edición
(2.004) Disponible [Citado agosto de 2.014].

Tamayo y Tamayo, M. (1999). El proceso de la Investigación Científica, México Editorial
Limusa. Disponible [Citado agosto de 2.014].

Universidad Pontificia Bolivariana. Guía para el manejo integral de residuos sólidos Área
metropolitana del valle de aburra Medellín 2.010, pág. 70 primera edición.
Disponible [Citado Noviembre de 2.014]