

**CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS
SÓLIDOS CON MOTOCARROS DE LA EMPRESA DE ASEO DE
BUCARAMANGA-EMAB EN EL SECTOR DEL CENTRO DE LA CIUDAD DE
BUCARAMANGA**

LEONARDO DÍAZ QUINTERO

FABIÁN CAMILO URIBE RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS

ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES

BUCARAMANGA

2016

**CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS
SÓLIDOS CON MOTOCARROS DE LA EMPRESA DE ASEO DE
BUCARAMANGA-EMAB EN EL SECTOR DEL CENTRO DE LA CIUDAD DE
BUCARAMANGA**

**LEONARDO DÍAZ QUINTERO
FABIÁN CAMILO URIBE RODRÍGUEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Industrial**

Director:

**MYRIAM LEONOR NIÑO LÓPEZ
PhD en Dirección y Organización de Empresas**

Codirector:

**HENRY LAMOS DÍAZ
PhD en Física-Matemática**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A Dios, quien nos guio por el buen camino, por darnos las fuerzas para seguir adelante y no desfallecer en los momentos difíciles que se presentaron, enseñándonos a encarar las adversidades sin perder nunca la esperanza.

A nuestras familias por el apoyo, consejos, comprensión, amor y por la ayuda en aquellos momentos difíciles.

A nuestros amigos, gracias por sus consejos, compañía y amistad.

Y finalmente a nuestra amiga y compañera de estudio Diana Oviedo, por estar siempre en las buenas y en las malas; por su paciencia, amistad, consejos, comprensión y apoyo, brindándonos ánimos y valor para seguir adelante.

A todos, mil gracias.

AGRADECIMIENTOS

A Myriam Leonor Niño López por su excelente dirección, por su alta exigencia y su entrega total a la academia, gracias a sus recomendaciones y aportes se concluyó satisfactoriamente este proyecto.

A nuestra alma mater, la Universidad Industrial de Santander, por brindarnos la oportunidad de crecer como personas y profesionalmente.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
Introducción	16
Tabla de cumplimiento de objetivos.....	18
1. Planteamiento del problema	19
1.1. Descripción de la empresa	19
1.2. Identificación del problema	20
2. Antecedentes	26
3. Revisión de la literatura	30
4. Justificación.....	35
5. Objetivos	37
5.1. Objetivo general	37
5.2. Objetivos específicos.....	37
6. Metodología.....	38
6.1. Consulta y análisis de fuentes teóricas.....	38
6.2. Investigación.....	38
6.3. Recolección de información.....	38
6.4. Análisis estadístico de la información operativa.....	39
6.5. Caracterización del proceso de recolección de residuos	39
6.6. Identificación de aspectos críticos de mayor impacto	40
6.7. Diseño de una aplicación para el control del proceso	40
7. Limitaciones	41
8. Marco teórico.....	42
8.1. Glosario	42
8.2. Caracterización de procesos	44
8.3. Estudio de trabajo.....	48
8.4. Modelamiento matemático.....	55
8.5. Estadística descriptiva	56
8.6. Estadística inferencial.....	60

9.	Descripción y caracterización del proceso de recolección de residuos con motocarros en el centro de bucaramanga	63
9.1.	Fuentes de información	63
9.2.	Información obtenida	64
9.3.	Fases del proceso de recolección de residuos con motocarro	66
9.4.	Formato de caracterización	77
10.	Aspectos críticos del proceso	78
10.1.	Peso promedio de las bolsas	78
10.2.	Capacidad del proceso	79
10.3.	Puntos de transferencia	81
10.4.	Duración de las transferencias	83
10.5.	Duración de las rutas	84
11.	Propuestas de mejora del proceso de recolección de residuos sólidos con motocarros.....	86
11.1.	Puntos de transferencia fijos.....	86
11.2.	Estandarización del tamaño de las bolsas.....	87
11.3.	Aspectos por mejorar del motocarro	87
11.4.	Diseño de una aplicación en java para el control de la operación	89
12.	Conclusiones.....	93
13.	Recomendaciones.....	95
	Bibliografía.....	96

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1: Duración promedio de trabajo de los motocarros por bloque.....	25
Tabla 2: Símbolos básicos del diagrama de flujo.....	47
Tabla 3: Criterio del número de observaciones de General Electric.....	53
Tabla 4: Subíndices definidos para la operación.....	64
Tabla 5: Parámetros elegidos para caracterizar la operación.....	65
Tabla 6: Clasificación de los usuarios con base en el criterio de la EMAB.....	71
Tabla 7: Clasificación de los usuarios con base en el decreto 2981 de 2013....	71
Tabla 8: Número de transferencias promedio de cada motocarro.....	75
Tabla 9: Peso promedio de las bolsas.....	78
Tabla 10: Capacidad instalada del proceso de recolección con motocarros.....	79
Tabla 11: Tiempo diario debido a factores de tiempo no productivo.....	80
Tabla 12: Capacidad disponible del proceso de recolección con motocarros....	80
Tabla 13: Utilización de la capacidad.....	81
Tabla 14: Distribución de probabilidad de los tiempos de transferencia.....	83
Tabla 15: Duración actual de las rutas.....	85
Tabla 16: Características de las bolsas propuesta.....	87

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1: Mapa de procesos de la Empresa de Aseo de Bucaramanga.....	20
Figura 2: Delimitación de la zona céntrica atendida con motocarros.....	22
Figura 3: Clasificación de los usuarios del servicio de recolección personalizada.....	22
Figura 4: Formato de control del proceso de recolección con motocarros.....	24
Figura 5: Composición de un macroproceso.....	45
Figura 6: Estudio del trabajo.....	48
Figura 7: Diagrama de caja y bigotes.....	59
Figura 8: Diagrama de flujo del subproceso de contratación.....	67
Figura 9: Formato de visitas para solicitudes y/o peticiones.....	68
Figura 10: Diagrama de flujo del subproceso de comercialización.....	69
Figura 11: Subproceso de recolección de residuos.....	72
Figura 12: Uso promedio del tiempo de operación de los motocarros.....	74
Figura 13: Diagrama de Pareto de los puntos de transferencia.....	82
Figura 14: Distribución del tiempo de transferencia.....	83
Figura 15: Gráfico de dispersión del tiempo de servicio de una transferencia....	84
Figura 16: Recolección con motocarros en Mérida, México.....	88

LISTA DE ANEXOS

(Anexos en carpeta adjunta en CD)

	pág.
ANEXO A: Organigrama de la Empresa de Aseo de Bucaramanga.....	20
ANEXO B: Listado de usuarios.....	22
ANEXO C: Formato recolección de datos operativos.....	63
ANEXO D: Formato de entrevistas; conocimiento general de la operación.....	63
ANEXO E: Tabla de caracterización de usuarios.....	65
ANEXO F: Matriz de tiempos de viaje entre nodos.....	65
ANEXO G: Listado de puntos de transferencia.....	65
ANEXO H: Diagrama de flujo del proceso de recolección de residuos con motocarros.....	66
ANEXO I: Manual de funciones del proceso de recolección con motocarros.....	68
ANEXO J: Manual de procedimientos del proceso de recolección con motocarros.....	68
ANEXO K: Cuestionario ejemplo para la evaluación de la satisfacción.....	76
ANEXO L: Matriz de peligros y riesgos del proceso de recolección de residuos con motocarros.....	76
ANEXO M: Cantidad de residuos antes de cada transferencia.....	81
ANEXO N: Pruebas de bondad de ajuste para los tiempos de transferencia.....	83
ANEXO O: Comparación gráfica para los tiempos de transferencia.....	83
ANEXO P: Orden de visita de las rutas durante el trabajo de campo.....	85
ANEXO Q: Aplicación en Java para el control del proceso de recolección de residuos con motocarros EMAPP.....	89
ANEXO R: Propuesta del nuevo formato de control.....	92

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS CON MOTOCARROS DE LA EMPRESA DE ASEO DE BUCARAMANGA-EMAB EN EL SECTOR DEL CENTRO DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA*.

AUTORES: LEONARDO DÍAZ QUINTERO, FABIÁN CAMILO URIBE RODRÍGUEZ**.

PALABRAS CLAVE: RECOLECCIÓN RESIDUOS, CARACTERIZACIÓN PROCESOS, CAPACIDAD PROCESO, TRANSFERENCIA RESIDUOS.

DESCRIPCIÓN: En este trabajo se caracteriza el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarros en el centro de la ciudad de Bucaramanga a partir de fuentes de información primaria, con el fin de estimar estadísticamente el valor de parámetros relevantes del proceso y documentar subprocesos administrativos relacionados. Para facilitar el análisis, se descompone el proceso en tres fases: La fase previa al servicio, compuesta por las actividades de gestión del talento humano, gestión comercial y asignación de usuarios, la fase de prestación del servicio dividida en recolección, transporte y transferencia de residuos y la fase posterior al servicio encargada de las actividades de gestión documental, visitas de seguimiento y preparación del vehículo.

Se analizan cinco aspectos críticos: el peso promedio de las bolsas depositadas por los usuarios, el análisis de capacidad del proceso, los puntos de transferencia que actualmente se utilizan para evacuar los motocarros, la duración de estas transferencias y finalmente, la duración de las rutas; estos aspectos críticos fueron definidos junto con los administrativos encargados de la operación. Por último, se presentan propuestas para mejorar estos aspectos con el fin de administrar mejor el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarro, entre ellas la definición de tres puntos fijos de transferencia, la estandarización del tamaño de las bolsas que facilite el análisis de capacidad del proceso, el diseño del motocarro según la normativa del país y la gestión documental de la operación por medio de una aplicación en JAVA para brindar apoyo en la toma de decisiones a los directivos.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Programa de Ingeniería Industrial. Director: PhD Myriam Leonor Niño López. Codirector: PhD Henry Lamos Díaz.

ABSTRACT

TITLE: SOLID WASTE COLLECTION PROCESS CHARACTERIZATION BY MEANS OF A THREE-WHEELER VAN OF THE BUCARAMANGA PUBLIC SANITATION COMPANY-EMAB IN THE CITY CENTRE*.

AUTHORS: LEONARDO DIAZ QUINTERO, FABIAN CAMILO URIBE RODRÍGUEZ**.

KEYWORDS: WASTE COLLECTION, PROCESS CHARACTERIZATION, PROCESS CAPACITY, WASTE TRANSFER.

DESCRIPTION: In this work, the solid waste collection process in the Bucaramanga's city center is characterized by the analysis of primary information, in order to estimate statistically the main parameters from the process and keep record of administrative subprocesses. Based on this information, the process is organized in three phases: previous to the service phase composed by the human resource management, commercial management and users assignation, the service phase is divided in solid waste transport, collection and transfer and the after service phase includes documental management, customer management and vehicle preparation.

Five critical aspects are analyzed: average weight of the bags used by customers, process capability analysis, transfer spots that are currently used to evacuate the vehicle, transfer duration and at last, routes duration; this aspects were defined along with the operational coordinator, responsible for the process. Finally, proposals are presented in order to improve the weaknesses and make the management easier for the solid waste collection process with motorcars. These proposals are: the selection of three transfer spots, a standardization of the bags' size to ease the process capability analysis, a motorcar redesign according to national standards and the documental management with a JAVA app to support the management decisions.

* Graduation project.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Programa de Ingeniería Industrial. Director: PhD Myriam Leonor Niño López. Codirector: PhD Henry Lamos Díaz.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional e industrial en Colombia ha contribuido al aumento en las cantidades de residuos sólidos que deben ser recolectados y transportados a las plantas de aprovechamiento o los sitios de disposición final. En el país, como en el resto de la región, los gobiernos locales presentan una débil gestión ambiental, debida principalmente al déficit de capacidad institucional. Mejorar la capacidad que posee un municipio para formular e instrumentar una política ambiental implica un desafío político, técnico, económico y administrativo, que demanda conocer profundamente el origen y las consecuencias del déficit de capacidad y manejo de los residuos.

En respuesta a estas problemáticas la Empresa de Aseo de Bucaramanga, EMAB S.A. E.S.P. presta el servicio público domiciliario de aseo (barrido, recolección, transporte y tratamiento final de residuos) en la ciudad; entre ellos, se encuentra el servicio de recolección y transporte personalizado de residuos con motocarros a usuarios ubicados en el centro de la ciudad. Estos vehículos se encargan de recolectar los residuos para luego transferirlos a un camión recolector que por sus características, no puede ingresar a esta zona durante el día, pero se encarga de llegar a un punto de transferencia para recibir los residuos recolectados por los motocarros y transportarlos hasta el sitio de disposición final.

Pese a este esfuerzo y a la intención de convertir a Bucaramanga en una ciudad sostenible, según lo estipulado en el Plan de Gestión Integral, la problemática generada por la producción exagerada de residuos sólidos en el centro de la ciudad exige que la EMAB aborde este problema técnicamente y analice cada uno de sus procesos a partir de información reciente y representativa. Por esto, surge la necesidad de conocer el estado actual del proceso de recolección de residuos con motocarros en el centro de la ciudad por medio de su descripción y caracterización. A partir de este estudio, se puede contemplar la posibilidad de

realizar un mejoramiento general, puesto que los parámetros de entrada influyen significativamente en los resultados y deben ser estimados de la manera que más se ajuste a la realidad; si los parámetros no representan el estado de la operación, las decisiones que se toman pueden no tener efecto alguno o impactar negativamente al proceso de recolección con motocarros.

Es por esto que en el presente trabajo, el objetivo principal es conocer en detalle la operación de recolección de residuos sólidos en el centro de Bucaramanga, mediante el análisis estadístico de los principales parámetros de esta operación que lleven a caracterizar el proceso e identificar los aspectos críticos a mejorar. Los resultados de este trabajo serán un insumo vital para un posterior trabajo de modelamiento y optimización, permitiendo así que los resultados obtenidos en éste sean más confiables y congruentes con la realidad.

El contenido del libro está organizado de la siguiente manera. En el capítulo 1 se presentan las generalidades del proyecto, tales como planteamiento, justificación, objetivos y metodología. En el capítulo 2 se mencionan los principales conceptos y teorías utilizadas durante la realización del trabajo. La descripción y caracterización del proceso de recolección de residuos sólidos con motocarros en el centro de Bucaramanga se encuentra en el capítulo 3, incluyendo el formato de caracterización que resume las actividades más relevantes de la operación. En el capítulo 4 se exponen los aspectos críticos del proceso, entre ellos el análisis de capacidad y la duración de las rutas. El capítulo 5 agrupa las propuestas de mejora al proceso que surgen a partir de los aspectos críticos analizados y por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones en los capítulos 6 y 7.

TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

OBJETIVO	CUMPLIMIENTO
1. Definir los parámetros necesarios para caracterizar el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarro de la zona del centro de la ciudad de Bucaramanga.	1.1.4 Revisión de la literatura.
2. Determinar en la operación los valores de los parámetros que caracterizan el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarro de la zona del centro de la ciudad de Bucaramanga.	3.2 Información obtenida.
3. Realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos de la operación con miras a caracterizar el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarro de la zona del centro de la ciudad de Bucaramanga.	3. Descripción y caracterización del proceso de recolección de residuos con motocarros.
4. Determinar la capacidad del proceso de recolección de residuos sólidos con motocarro de la zona del centro de la ciudad de Bucaramanga.	4.2 Capacidad del proceso.
5. Identificar los aspectos críticos potencialmente mejorables del proceso de recolección de residuos sólidos con motocarro de la zona del centro de la ciudad de Bucaramanga.	4. Aspectos críticos del proceso de recolección de residuos con motocarros.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se encuentra una breve descripción de la Empresa de Aseo de Bucaramanga, encargada de realizar el proceso de recolección de residuos con motocarros y la identificación del problema con el fin de ofrecer una visión general del proceso dentro de la organización.

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

A continuación, se incluyen aspectos generales sobre la Empresa de Aseo de Bucaramanga, EMAB¹.

1.1.1. Objeto social Prestar de manera eficaz, eficiente y efectiva el servicio público domiciliario de aseo (barrido, recolección y transporte y tratamiento de residuos sólidos) minimizando el impacto ambiental y afectación a la comunidad.

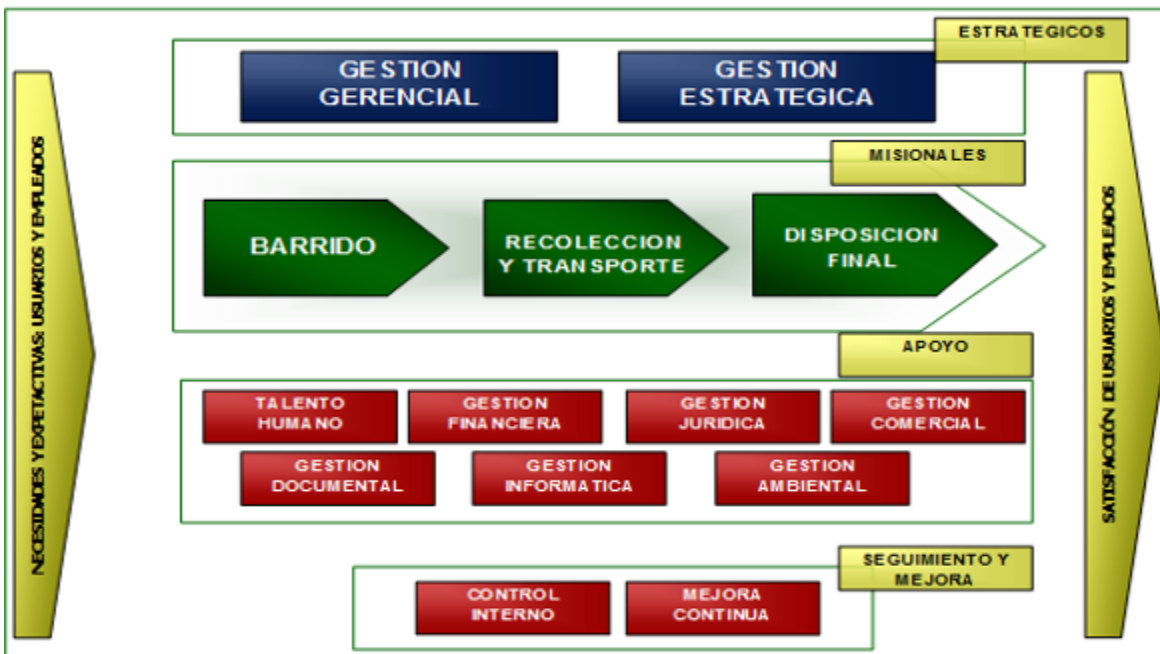
1.1.2. Misión Somos una empresa que presta el servicio público domiciliario de aseo (barrido, recolección y transporte y tratamiento de residuos) mediante la gestión integral de residuos sólidos, satisfaciendo las necesidades de la comunidad y en cumplimiento de la normatividad legal, con tecnología e infraestructura adecuada y personal competente, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad.

1.1.3. Visión Ser en el 2016, la empresa prestadora del servicio de aseo del área metropolitana, posicionada como una de las más competitivas y rentables de la región con reconocimiento en la prestación del servicio público domiciliario de aseo y la gestión adecuada e integral de residuos sólidos, con estándares de calidad y acciones de mitigación a los impactos ambientales generados de la operación misional y su actividad económica.

1 EMPRESA DE ASEO DE BUCARAMANGA, EMAB. [en línea]. <<http://goo.gl/WT6RQE>>; [citado en 14 de marzo de 2016].

1.1.4. Procesos de la empresa Para cumplir con su objeto social, la organización lleva a cabo procesos estratégicos, misionales y de apoyo, detallados en la Figura 1, los cuales son ejecutados por personal capacitado y cuyos cargos están mencionados en el organigrama presentado en el Anexo A.

Figura 1: Mapa de procesos de la Empresa de Aseo de Bucaramanga.



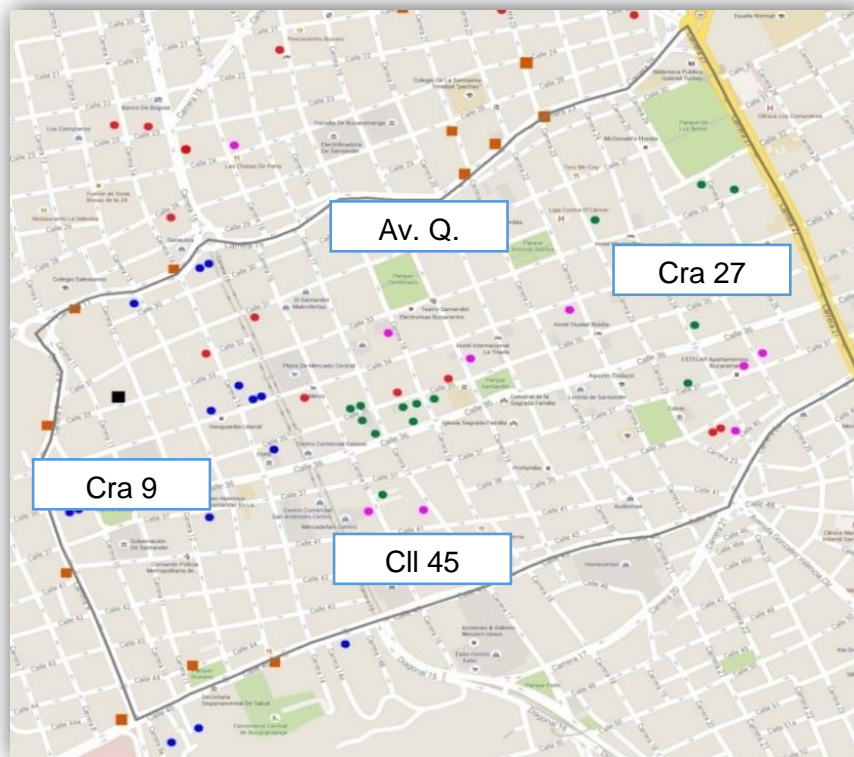
Fuente: Empresa de Aseo de Bucaramanga.

1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La recolección de residuos personalizada en el centro de la ciudad está delimitada por la avenida Quebradaseca y la calle 45 y las carreras 9 y 27 (Ver Figura 2), debido a la concentración de grandes productores en esta zona. Este servicio especial pertenece al proceso de recolección y transporte, pero se diferencia en que la frecuencia y el horario de recolección no las define la empresa sino el usuario.

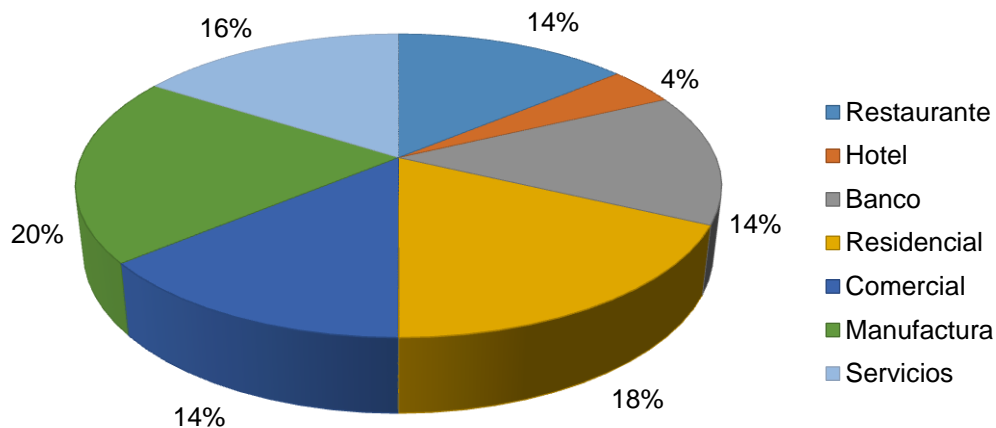
Inicialmente, se utilizan góndolas metálicas de tracción humana con una capacidad de hasta 500 kg; sin embargo, años más tarde se reemplazan por un vehículo compactador debido al incremento de usuarios y de residuos generados, causando un impacto negativo en la movilidad de la zona y afectando la malla vial, aumentando la congestión vehicular, mala presentación y malos olores. A raíz de esto, surge la idea de implementar los motocarros en el proceso de recolección de residuos, porque representan una solución viable a problemáticas como la salud de los operarios, específicamente en las mujeres que debían empujar las góndolas, lo que les generaba problemas como hernias o lesiones del manguito rotador, entre otras enfermedades, causando pérdidas por indemnizaciones. También, se resuelve el problema de los ruidos que incomodan a los huéspedes al atender hoteles durante las madrugadas.

Figura 2: Delimitación de la zona céntrica atendida con motocarros.



Con el fin de solucionar estas problemáticas ingresan en funcionamiento los motocarros, los cuales poseen una capacidad de 600 kg, son operados por mujeres cabeza de familia con el objetivo de mejorar la imagen de la organización frente a los usuarios, ya que con esta modalidad de operación se genera un vínculo más directo entre la conductora y el usuario y también como parte de la política de responsabilidad social de la empresa, encargadas de recoger los residuos de los establecimientos y el barrido de las calles que es dispuesto por los escobitas en el centro de la ciudad, donde el vehículo compactador ingresa solamente después de las 10:00 pm; durante el resto del día, cuatro motocarros atienden un total de 50 clientes, clasificados de acuerdo a la Figura 3. Cada motocarro cuenta con dos grupos fijos de clientes: uno para los días lunes, miércoles y viernes (*Bloque 1* de la semana) y otro para los martes, jueves y sábados (*Bloque 2*). Los clientes se asignan a cada ruta según el horario en que necesita que sus residuos sean recogidos y la frecuencia del servicio. En el Anexo B se enlistan los usuarios del servicio, ubicación y la ruta a la que pertenecen; estos usuarios surgieron a partir de visitas hechas por asesores comerciales, debido a que la única forma de contratar el servicio es a través de ellos.

Figura 3: Clasificación de los usuarios del servicio de recolección personalizada.



La operación se divide en tres fases: la fase previa al servicio, la prestación del servicio y la posterior al servicio. La primera está comprendida entre la gestión comercial hecha por los asesores en busca de nuevos usuarios y la asignación de cada usuario a una ruta específica; las actividades contenidas en esta fase son las de contratación del servicio, definición de las rutas de recolección y verificación del estado del vehículo.

En la prestación del servicio se ejecutan tres actividades: recolección, transporte y transferencia de residuos. La recolección comienza cuando se entrega a cada operaria el listado de usuarios que debe visitar durante el día y son ellas quienes deciden a cuál de ellos visitar primero según su experiencia, puesto que el formato no incluye un orden de visita específico; debido a esto, se puede afirmar que se manejan rutas dinámicas, debido a que el orden de visita varía de un día para otro. Además, estos grupos de clientes están asignados a una ruta específica y, por consiguiente, siempre son atendidos por la misma operaria. Después, las conductoras parten desde el garaje (ubicado en la calle 33 #11-37) hacia la ubicación del usuario y, luego de visitar uno o varios clientes y que el motocarro alcance su capacidad máxima, procede a llamar al conductor del vehículo recolector que se encuentra atendiendo barrios aledaños a la zona, el cual es el encargado de recibir los residuos recogidos por los motocarros para su transporte hasta el sitio de disposición final. Después de efectuada la transferencia, el motocarro continúa visitando los clientes asignados. Las transferencias tardan en promedio 14,16 min, es realizada por tres operarios que acompañan al recolector y se efectúa en cuatro puntos definidos por la empresa:

- ∴ Calle 44 con carrera 11, frente a la estación de bomberos.
- ∴ Avenida Quebradaseca con carrera 25, frente al lavadero Cárdenas.
- ∴ Avenida Rosita con carrera 20, detrás de Homecenter.
- ∴ Calle 45 con carrera 12A Occidental, Quintaestrella.

En caso tal de que alguno de los motocarros presente daños mecánicos y no pueda continuar operando, la empresa cuenta con dos vehículos de respaldo que se encuentran ubicados en el garaje y permiten que el servicio se preste de manera continua.

Por último, la fase posterior al servicio corresponde a actividades de medición de la satisfacción de los usuarios por medio de visitas de seguimiento, gestión documental y mantenimiento preventivo del vehículo, tales como lavado semanal del vehículo, tanqueo de gasolina cada 3 días y reparaciones eventuales. Aunque la implementación de los motocarros aporta soluciones a la Empresa de Aseo de Bucaramanga, también le genera nuevas problemáticas, debido a la falta de planeación y control del sistema. Un claro ejemplo de esta falencia es la falta de información que la empresa posee sobre la operación, pues solo se llena un formato de control, en donde se indica el nombre del cliente, la hora de visita y el número de bolsas recogidas (Ver Figura 4); esta información no es suficiente para la toma de decisiones y el control del proceso porque no se registra la duración del servicio a los usuarios ni tampoco el número y duración de las transferencias hechas durante el recorrido.

Figura 4: Formato de control del proceso de recolección con motocarros.

 EMAB <small>EMPRESA DE ASEO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.</small>	ZONA : _____		MOTO: UNO		
	PLACA UNIDAD: _____		FECHA: LUNES 23 DE NOVIEMBRE DE/15		
PUNTO PERSONALIZADO	HORA	# BOL	PE	GR	FIRMA
REST. 14 - 16					
REST. CHINO					
PANADERIA 25 - 19					
COMERCIALIZADORA DE CARNES					
SALSAMENTARIA HISPANA					
PROCARNICOL					

Fuente: Empresa de Aseo de Bucaramanga, EMAB.

Además, estos formatos son archivados en carpetas como un requisito diario para las conductoras, mas no como una fuente de información para el análisis y mejoramiento del proceso. Además, la división del trabajo no está balanceada entre las cuatro operarias, tal como se ve reflejado en la duración promedio de trabajo diario de cada motocarro presentada en la Tabla 1.

Tabla 1: Duración promedio de trabajo de los motocarros por bloque.

Moto	Bloque 1 [h]	Bloque 2 [h]
1	8,46	8,79
2	6,88	7,32
3	5,48	5,61
4	5,38	6,31

Hasta el momento el proceso de recolección con motocarros es eficaz, pues el servicio se presta de manera satisfactoria; sin embargo, esto no implica que sea efectivo. Por otra parte, se afecta el funcionamiento diario del vehículo compactador encargado de evacuar los residuos de las motos, debido a que debe esperar a que las motos lo contacten y se desplacen hasta su ubicación para realizar la transferencia, tiempo que se traduce en inactividad y más horas de trabajo diario.

Dada esta situación, el problema que se quiere solucionar es la falta de información y conocimiento que se tiene sobre el proceso de recolección con motocarros en la zona del centro en el momento de la toma de decisiones y la identificación de los puntos críticos por medio de un análisis estadístico, puesto que mientras se administre con información incompleta, se aumenta la probabilidad de que las decisiones tomadas no surtan efecto o, en el peor de los casos, empeoren la situación.

2. ANTECEDENTES

La Empresa de Aseo de Bucaramanga es pionera en el uso de motocarros para la recolección de residuos en Colombia, motivo por el cual no existen estudios recientes sobre su funcionamiento y que el marco de antecedentes busca describir y analizar las técnicas y metodologías utilizadas para realizar la caracterización de un proceso.

El uso de vehículos de transferencia para transporte de residuos sólidos está regulado por el Decreto 2981 de 2013²; en el artículo 78 se establecen 12 características de obligatorio cumplimiento para estos vehículos, de las cuales 7 se cumplen según el decreto, 2 no aplican debido a que el motocarro no tiene incorporados elementos de compactación y las siguientes 3 no son atendidas: contar con un dispositivo que impida la fuga en la vía pública de los lixiviados, posibilitar el descargue de los residuos evitando su dispersión y la emisión de partículas, estar dotados con equipos de carretera y atención de incendios. Además establece que para elegir el lugar donde se realizan las transferencias es necesario realizar estudios que incluyan la evaluación económica, técnica, operativa, jurídica, comercial, financiera, institucional, sociocultural y de riesgos, para garantizar el funcionamiento continuo de la operación.

En el trabajo titulado “Modelo de empresa eficiente para la prestación del servicio de aseo en el área metropolitana de Bucaramanga”³, se hace un diagnóstico del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos y se encuentra que, en general, las empresas prestadoras de este servicio en la ciudad presentan una baja

2 COLOMBIA. SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Decreto 2981 (20, diciembre, 2013). Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Capítulo VII: Transferencia. Bogotá D.C., 2013.

3 OGLIASTRI QUIJANO, A; MUÑOZ VILLARREAL, SI. Modelo De Empresa Eficiente Para La Prestación Del Servicio De Aseo En El Área Metropolitana De Bucaramanga. Bucaramanga, 2005. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

rentabilidad, una capacidad instalada muy superior a la requerida, sobrecostos administrativos y ausencia de mecanismos de medición de sus procesos operativos. Debido a que estos costos se reflejan en la tarifa que los usuarios finales pagan, se hace necesaria la reestructuración de los procesos en cuanto a aspectos técnico-operativos, financieros y administrativos, los cuales son modelados y analizados, para evaluar cuál es el impacto de cada uno de ellos en el valor final de la tarifa. En el componente de recolección y transporte, se definen indicadores de manera que se garantice la calidad, cobertura y eficiencia en la prestación del servicio de aseo de forma continua e ininterrumpida y se benefician tanto los usuarios, como las empresas prestadoras de servicios y sus accionistas.

Por otro lado, el trabajo titulado “Caracterización y análisis de capacidad de respuesta del sistema de mantenimiento y reparación de la división de Mantenimiento Tecnológico de la Universidad Industrial de Santander”⁴ busca determinar la capacidad operativa del sistema de mantenimiento y reparación y plantear alternativas que contribuyan a la mejora de sus indicadores de eficacia, eficiencia y efectividad. Los autores se enfocan en la identificación de los procesos, seleccionan los productos o equipos que son llevados a mantenimiento con mayor frecuencia para elegir a cuáles de ellos es necesario hacer estudio de tiempos y a partir de ellos estimar la capacidad instalada, disponible y operativa.

Además, analizan la utilización de la capacidad, enumeran factores que ocasionan que esta capacidad operativa disminuya y presentan propuestas de mejora para el proceso de mantenimiento correctivo. Uno de los principales hallazgos del trabajo es el gran aumento de la demanda de solicitudes de mantenimiento en los últimos cuatro años lo cual, sumado a la falta de planeación y control, hacen que los

4 CÁCERES NINO, JL; NIEVES ZARATE, NJ; GARAVITO HERNÁNDEZ, EA. Caracterización Y Análisis De Capacidad De Respuesta Del Sistema De Mantenimiento Tecnológico De La Universidad Industrial De Santander. Bucaramanga, 2010. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

tiempos de trabajo aumenten y la capacidad del sistema se reduzca; para esto, se propone un mejor aprovechamiento del sistema de información ya existente en la división para la planeación, seguimiento y el aprovechamiento de los recursos disponibles, sin necesidad de recurrir a la adquisición de equipo adicional.

Posteriormente, se revisa el trabajo titulado “Caracterización y Diseño de Metodologías de Control al Proceso de Acarreo de Estéril en la Empresa Carbones del Cerrejón”⁵. En él, se divide el proceso en cuatro etapas fundamentales (cargue, viaje lleno, descargue y viaje vacío) y se procede a recopilar información de cada una de ellas, tales como: elementos de entrada, elementos de salida, indicadores, recursos utilizados, alcance del proceso, entre otros, con el fin de conocer el estado real de la operación. Después, se realiza una depuración de la información obtenida con base en el conocimiento adquirido del proceso y, a partir de la información obtenida, se caracteriza el proceso de acarreo de estéril detallando en otros aspectos como: líder del proceso, límites, proveedores, clientes, documentos, recursos, insumos, entradas y salidas, con el fin de detallar la operación; esta información se consignó en un formato de manera que se facilitara su visualización e interpretación.

En un trabajo más reciente titulado “Diseño e implementación de rutas de recolección de residuos hospitalarios para la empresa EDEPSA S.A.S.”⁶, se analizan los procesos operativos de la organización encargada de la recolección, manejo, transporte, almacenamiento, control y disposición de residuos peligrosos

5 RINCÓN PRADA, FE; MANTILLA CELIS, OL. Caracterización Y Diseños De Metodologías De Control Al Proceso De Acarreo De Estéril En La Empresa Carbones Del Cerrejón. Bucaramanga, 2013. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

6 VARGAS SAAVEDRA, AM; GUEVARA PARADA, JA; ARIAS OSORIO, JE. Diseño E Implementación De Rutas De Recolección De Residuos Hospitalarios Para La Empresa EDEPSA S.A.S. Bucaramanga, 2014. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

(RESPEL) con el objetivo de minimizar las afecciones contra la salud humana e impactos ambientales. Los autores se enfocan en el diseño de rutas de recolección a partir de una planeación táctica mediante la elaboración de un software para optimizar la ruta de recolección de residuos hospitalarios en la ciudad de Bucaramanga, reduciendo los costos de transporte, recolección y almacenamiento. Para esto, es necesario contar con información como el tipo y cantidad de residuos peligrosos generados, ventana de tiempo de recolección, horario de trabajo del conductor y operario asignado, tiempo de descargue y el tiempo de holgura. Por último, se realiza un análisis de la capacidad, con el fin de determinar si la capacidad del vehículo y el tiempo disponible son suficientes para responder al mercado actual.

En general, la revisión de estos proyectos es útil para identificar la metodología para caracterizar un proceso. En los estudios se observan los siguientes pasos en común: descomponer el proceso en fases, recopilar, depurar y analizar información representativa por fase y representar gráficamente el proceso para una fácil comprensión por medio de diagramas de flujo, tablas de caracterización y manuales de funciones del personal involucrado en el proceso. También se determinó la importancia de acompañar la caracterización con un análisis de capacidad y la identificación de factores que la afectan. Por último, se evidencia que la ausencia de control y seguimiento en la prestación del servicio de aseo genera sobrecostos y baja rentabilidad, motivo por el cual se proponen indicadores que ayuden a administrar el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarros en la zona céntrica de Bucaramanga.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La revisión de la literatura se enfoca en artículos que se relacionan con el problema de recolección de residuos (WCP), con el fin de observar los parámetros utilizados y el análisis de la situación planteada en ellos, permitiendo compararla con la operación que se realiza en Bucaramanga y definir los parámetros que la caracterizan.

Inicialmente, se encuentra que en el artículo llamado “Assessing and improving management practices when planning packaging waste collection systems”⁷, los autores describen un sistema de recolección selectiva en Portugal, donde se recogen 3 tipos de materiales: papel, vidrio y plástico/metal. En total, la compañía es responsable de recolectar material proveniente de 230 sitios; todas las rutas de recolección comienzan en un depósito, visitan un conjunto de contenedores hasta llenar su capacidad y vuelven al depósito de origen para descargar el material recogido, sin tener en cuenta ventanas de tiempo. Para caracterizar las rutas, los autores asignan tres parámetros por ruta: la distancia recorrida, la duración y la carga recogida. La principal contribución del artículo es evaluar el impacto de cambiar las prácticas actuales, principalmente la de gestionar de forma integrada los depósitos y no de manera independiente. Para alcanzar este objetivo, se propuso una metodología capaz de planear los sistemas de recolección compartiendo recursos entre garajes. El funcionamiento de la recolección con motocarros en Bucaramanga es similar al utilizado en el caso de Portugal, puesto que se manejan rutas cerradas entre un número definido de usuarios, aunque se diferencian en que es necesario tener en cuenta ventanas de tiempo al momento de definir la ruta y no se cuenta con una estación para la separación y clasificación de los residuos. Con respecto a los parámetros utilizados, son aplicables al caso

7 RAMOS, TP; GOMES, MI; BARBOSA-PÓVOA, AP. Assessing and improving management practices when planning packaging waste collection systems. Resources, Conservation & Recycling. 85, 116-129, Apr. 1, 2014. ISSN: 0921-3449.

de recolección de Bucaramanga, pero solamente se debe considerar un tipo de residuo a recoger; además, es necesario contar con parámetros más específicos y definir las distancias, tiempos y cargas por usuario y no por rutas.

En otro caso de estudio titulado “Metaheuristics for the waste collection vehicle routing problem with time windows, driver rest period and multiple disposal facilities”⁸, se considera el problema de ruteo de vehículos en el que los residuos son recolectados por vehículos homogéneos que inician y finalizan sus recorridos vacíos desde un único garaje. Su principal objetivo es decidir cuándo desocupar el vehículo y en cuál de los depósitos que se encuentren disponibles. A diferencia del caso anterior, en este artículo se consideran tres ventanas de tiempo: para el garaje, para los usuarios y para los depósitos; además, se tiene en cuenta un periodo adicional de descanso para los conductores. Los parámetros utilizados para caracterizar la operación son: tiempo y distancia entre nodos, cantidad de residuos/cliente y el tiempo de servicio en cada nodo. Sus autores proponen algoritmos basados en metaheurísticas como búsqueda tabú (TS), búsqueda de vecindad variable (VNS) y una combinación de las dos, llamada búsqueda tabú de vecindad variable (VNTS).

En comparación con el proceso de recolección en Bucaramanga, se puede afirmar que los dos casos son similares, dado que la única diferencia radica en que la decisión de dónde debe desocuparse el vehículo no solo depende de la ubicación del motocarro, sino también del vehículo compactador, el cual tiene como función servir de depósito para los motocarros y no se encuentra situado en un punto fijo, sino atendiendo sus propios usuarios en una ruta ya definida.

8 BENJAMIN, A; BEASLEY, J. Metaheuristics for the waste collection vehicle routing problem with time windows, driver rest period and multiple disposal facilities. *Computers & Operations Research*. Country of Publication: UK., 37, 12, 2270-2280, Dec. 1, 2010.

El artículo “The waste collection vehicle routing problem with time Windows in a city logistics context”⁹ presenta una modificación al caso anterior; además de tener en cuenta el tiempo de desplazamiento entre los nodos, incluye el costo incurrido al desplazarse entre ellos. El principal aporte del artículo es un modelo matemático que busca minimizar los costos de transporte, se resuelve por medio de la metaheurística llamada búsqueda adaptativa en la vecindad (ALNS).

Por otro lado, la autora del artículo “Vehicle routing problem with trailers (VRPT)”¹⁰ introduce una variante del VRP en la que un vehículo se divide en dos partes: el camión y el tráiler. El uso del vehículo puede causar problemas en lugares muy congestionados, tales como el centro de la ciudad o aquellos clientes que no cuentan con un lugar para estacionar mientras se presta el servicio; por esto, se propone el uso del camión en lugar del vehículo completo, ahorrando tiempo y combustible. Para poder aplicar este modelo, es necesario conocer la cantidad de camiones y tráileres con sus respectivas capacidades, el número de usuarios y sus respectivas demandas, tiempos de servicios y la distancia entre cada uno de ellos. Para el caso de Bucaramanga, este modelo se asemeja en que existen vehículos pequeños (motocarros) encargados de prestar el servicio a un grupo de usuarios, mientras otro vehículo (compactador) espera estacionado en un punto definido, para este caso, llamados puntos de transferencia. No obstante, se diferencian en que el tráiler que se tiene en cuenta en este modelo no es independiente, es decir, no se puede desplazar por sí solo ni tiene en cuenta la posibilidad de hacer transferencias, en caso de ser necesarias.

9 BUHRKAL, K; LARSEN, A; ROPKE, S. The Waste Collection Vehicle Routing Problem with Time Windows in a City Logistics Context. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 39, Seventh International Conference on City Logistics. June 7- 9,2011, Mallorca, Spain, 241-254. ISSN: 1877-0428.

10 GERDESSEN, J. Vehicle routing problem with trailers. *Theory and Methodology*. 29, *European Journal of Operational Research*, 135-147.. August 23, 1996, Wageningen, Netherlands.

Abordando el tema desde otro punto de vista, los autores Mes, Schutten y Pérez¹¹ estudiaron el problema de recolección de residuos no como un problema de ruteo de vehículos (VRP), sino como un problema de ruteo con inventarios (IRP), donde el propósito no es determinar el momento en el que se debe abastecer un usuario sino cuándo se deben recoger sus residuos. El resultado más importante del artículo es una heurística que consta de diferentes parámetros ajustables para cada día de la semana, pues su desempeño y el valor obtenido de la función objetivo dependen principalmente del valor de los parámetros de entrada escogidos.

Dado que la implementación de vehículos pequeños en el proceso de recolección de residuos busca, en general, impactar positivamente la movilidad del sector y brindar un servicio que se ajuste a las necesidades del cliente, se debe contar con la cantidad adecuada de vehículos que puedan realizar el proceso de recolección y el número apropiado de estaciones de transferencia que pueda disminuir los costos y hacer más rentable la operación. En los artículos tratados anteriormente, se aborda el problema de recolección de residuos desde un enfoque en el cual, no se contempla la opción de modificar las ubicaciones de las estaciones de transferencia; sin embargo, los autores Chatzouridis y Komilis¹² presentan en su investigación cuáles son los principales parámetros que se deben tener en cuenta en el momento de diseñar y ubicar una estación de transferencia. En su investigación, afirman que se debe contar con la ubicación de los nodos (generadores de residuos, de inicio y fin de las rutas) y los tiempos de viaje. Adicionalmente, el modelo tiene en cuenta factores de utilización, depreciación y mantenimiento de los vehículos para la construcción de las rutas. Su principal aporte es un modelo matemático que determina la ubicación exacta de las

11 MES, M; SCHUTTEN, M; RIVERA, AP. Inventory routing for dynamic waste collection. *Waste Management*. 34, 1564-1576, Sept. 1, 2014. ISSN: 0956-053X.

12 CHATZOURIDIS, C; KOMILIS, D. A methodology to optimally site and design municipal solid waste transfer stations using binary programming. *Resources, Conservation and Recycling*. Country of Publication: Netherlands., 60, 89-98, Mar. 1, 2012.

estaciones de transferencia, la capacidad de cada estación y los recorridos óptimos entre los nodos, minimizando el costo total de la operación.

El principal aporte de la revisión de la literatura para el proyecto es la definición de los parámetros que se utilizan en la caracterización de un modelo de recolección; entre los mencionados en los artículos, se eligen la capacidad de los vehículos (motocarro y recolector), demanda, ventana de tiempo y tiempo de servicio de cada usuario, tiempo de viaje entre nodos y duración promedio de una transferencia. Se decide trabajar con tiempos de desplazamiento debido a que, al tratarse de un servicio con ventanas de tiempo, el principal objetivo es atender a todos los usuarios en el menor tiempo posible; además, se puede obtener una aproximación de las distancias entre nodos a partir del producto entre los tiempos de viaje y la velocidad promedio del motocarro durante la ruta.

4. JUSTIFICACIÓN

El consumismo en la sociedad actual y la disminución de la vida útil de los bienes a causa de su rápida obsolescencia, son las principales razones por las cuales la generación de residuos aumenta de manera considerable no solo en el país, sino también en el mundo, dado que en la actualidad las ciudades producen más desperdicios inútiles de lo que ellas mismas pueden manejar según el informe publicado por el Banco Mundial llamado “What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management”¹³.

Esta problemática es el principal desafío de las empresas prestadoras de servicios de aseo, porque además de que requieren capacidad y cobertura, deben ser también productivas y eficientes debido a una cantidad creciente de usuarios, de manera que se aprovechen los recursos existentes y las tarifas de cobro sean las más competitivas. La Empresa de Aseo de Bucaramanga cumple con prestar el servicio de recolección puerta a puerta y, de manera personalizada, recolección de residuos con motocarro a usuarios que requieren un horario o frecuencia diferente al establecido y se encuentran en el centro de la ciudad; esta operación se planea y gestiona de manera empírica, sin estudios técnicos o datos históricos que sean representativos para la operación. Teniendo en cuenta lo anterior, surge la necesidad de conocer la operación a profundidad, puesto que la falta de información o incluso la información errónea puede disminuir la probabilidad de éxito de las decisiones que se toman. Por otro lado, la realización de este proyecto contribuye a la solución de una problemática social, puesto que la recolección y manejo de residuos realizada de manera efectiva beneficia a la población en general, debido a que los residuos representan un peligro potencial para su salud y bienestar.

13 HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. En: Urban Development Series Knowledge Papers [en línea]. No. 15 (2008). <<http://goo.gl/9sUAwo>> [citado en 02 de noviembre de 2015].

En este orden de ideas, el principal objetivo del proyecto es el de caracterizar y analizar estadísticamente el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarros en el centro de Bucaramanga, de manera que se pueda obtener información reciente y confiable que ayude a los directivos a conocer el proceso, tomar decisiones acertadas, controlar con mayor precisión los puntos críticos e identificar las problemáticas que afectan el funcionamiento normal de la operación; asimismo, esta información servirá como base para futuros estudios técnicos para el mejoramiento del proceso, tales como el diseño e implementación de modelos matemáticos u otras técnicas de optimización.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar y analizar estadísticamente el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarros de la Empresa de Aseo de Bucaramanga-EMAB en el sector del centro de la ciudad de Bucaramanga.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

∴ Definir los parámetros necesarios para caracterizar el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarro de la zona del centro de la ciudad de Bucaramanga.

∴ Determinar en la operación los valores de los parámetros que caracterizan el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarro de la zona del centro de la ciudad de Bucaramanga.

∴ Realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos de la operación con miras a caracterizar el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarro de la zona del centro de la ciudad de Bucaramanga.

∴ Determinar la capacidad del proceso de recolección de residuos sólidos con motocarro de la zona del centro de la ciudad de Bucaramanga.

∴ Identificar los aspectos críticos potencialmente mejorables del proceso de recolección de residuos sólidos con motocarro de la zona del centro de la ciudad de Bucaramanga.

6. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología que se sigue con el fin de caracterizar y analizar el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarros en el centro de Bucaramanga.

6.1. CONSULTA Y ANÁLISIS DE FUENTES TEÓRICAS

En primera instancia, se hace una revisión de trabajos relacionados con la temática del proyecto, con el objetivo de identificar tendencias de investigación respecto a la caracterización de un proceso. Se revisan las bases de datos con las que cuenta la universidad en busca de artículos sobre el problema de recolección de residuos sólidos, aportando los principales parámetros para caracterizar este proceso y alternativas de operación.

6.2. INVESTIGACIÓN

En la segunda fase se busca adquirir los conocimientos y habilidades necesarias para el desarrollo del proyecto, tales como el manejo adecuado de los softwares empleados para el análisis estadístico, requerimientos para caracterizar un proceso y el diseño de una aplicación en Java. Para ello, se hace una depuración completa de la información consultada anteriormente tales como: proyectos anteriores, artículos científicos, reglamentación y legislación vigente sobre el saneamiento básico en el país.

6.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Luego de haber recopilado toda la información teórica y bibliográfica en la fase anterior, se toma toda la información inherente al proceso de recolección de residuos sólidos con motocarros en la zona céntrica de Bucaramanga, realizando

seguimiento a la operación durante el periodo comprendido entre el 11 de noviembre y el 12 de diciembre de 2015, haciendo énfasis en los parámetros operacionales definidos en la revisión de la literatura; durante este tiempo, se obtuvo una muestra de 12 réplicas para cada una de las 4 rutas.

Posteriormente, la semana del 25 al 29 de enero de 2016, se realiza un muestreo aleatorio de las bolsas, clasificadas como pequeñas, medianas y grandes según su tamaño, con el fin de determinar su peso promedio. Por último, se realizan múltiples entrevistas con los responsables de los procesos de apoyo, todo esto con el fin de conocer los parámetros propios del servicio correspondientes a la visión general del proceso y al estado real en que se encuentra.

6.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN OPERATIVA

Se procede a organizar, tabular y depurar la información recogida del proceso, teniendo como base el conocimiento adquirido a lo largo del trabajo de campo realizado en la empresa, con el fin de contar con una base de datos más estructurada y ajustada a los requerimientos del proyecto. Se examinan los datos de cada una de las rutas y los aspectos más relevantes del proceso con base en los conocimientos teóricos adquiridos durante la Fase 2, utilizando los softwares Excel, Minitab y ExpertFit para analizar estadísticamente el valor de los parámetros elegidos y describir el proceso de manera cuantitativa.

6.5. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

A partir de la información depurada, tanto cualitativa como cuantitativa, se procede a caracterizar el proceso de recolección de residuos en todas sus etapas, buscando las actividades más representativas y detallando los aspectos más importantes. Esta caracterización se valida a través de diferentes personas involucradas en el proceso tales como operarios y directivos.

6.6. IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS CRÍTICOS DE MAYOR IMPACTO

Una vez terminada la caracterización, se procede a identificar junto con el coordinador operativo los aspectos críticos del proceso de recolección de residuos con motocarros, es decir, aquellas actividades que se ejecutan de manera diferente a lo estipulado por la empresa, que impactan la operación y por ende, deben ser atendidas con prioridad para mejorar el servicio. Además, se tienen en cuenta las alternativas de operación encontradas en la Fase 1 y se incluyen como propuestas de mejora y recomendaciones.

6.7. DISEÑO DE UNA APLICACIÓN PARA EL CONTROL DEL PROCESO

Por último, se elabora una aplicación en Java con el fin de evaluar de manera frecuente los aspectos críticos del proceso por medio de indicadores y, de esta manera, facilitar al coordinador de la operación la toma de decisiones.

7. LIMITACIONES

La variabilidad natural del proceso de recolección como consecuencia de diferentes factores tales como la congestión vehicular, el clima, la cantidad de basura, la época del año, entre otros, dificulta determinar con exactitud el valor de los parámetros que caracterizan el proceso.

El costo y el tiempo empleado durante el trabajo de campo impiden obtener un tamaño de muestra más representativo, lo cual se ve reflejado en la dispersión de los datos y genera mayor incertidumbre.

El cálculo de la capacidad y su utilización se ve afectado debido a que los usuarios no entregan sus residuos en bolsas estándar y pesar cada una de ellas no es viable. Además, el análisis de la capacidad solamente se realizó con respecto al peso, puesto que el volumen de las bolsas de residuos es variable y en algunos casos pueden ser compactadas, dependiendo del tipo de residuo que contengan.

8. MARCO TEÓRICO

8.1 GLOSARIO

Para lograr un mejor entendimiento del presente documento, se incluye la definición de palabras que pertenecen al lenguaje técnico utilizado dentro de la organización, tomadas del glosario online disponible en la página web de la EMAB¹⁴.

∴ Aforo: Es el resultado de las mediciones puntuales que se realizan con respecto a la cantidad de residuos sólidos que produce y presenta un usuario o conjunto de usuarios al prestador del servicio de aseo, la cual es utilizada para definir su tarifa de cobro.

∴ Estación de transferencia: Son las instalaciones destinadas al traslado de residuos sólidos de un vehículo recolector a otro con mayor capacidad, que se encarga de transportarlos hasta su sitio de tratamiento o disposición final.

∴ Motocarro: Es un vehículo compuesto por tres ruedas y motor, especialmente utilizado para transportar cargas ligeras¹⁵.

∴ Residuo sólido: Es cualquier objeto, material o elemento 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 empresa prestadora del servicio público de aseo. También se considera como residuos sólidos aquellos provenientes del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles.

14 COLOMBIA. SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Op. Cit.

15 REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, RAE. Diccionario de la lengua española [en línea]. <<http://dle.rae.es/?id=PwJqAMq>> [citado en 09 de febrero de 2016].

∴ Ruta: 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.

∴ Servicio público de aseo: Es el servicio de recolección municipal de residuos, principalmente sólidos. También las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos, incluyendo las actividades complementarias de corte de césped y poda de árboles ubicados en las vías y áreas públicas.

∴ Transferencia: Es la actividad realizada al interior de una estación de transferencia y consiste en trasladar los residuos sólidos de un vehículo recolector de menor capacidad a un vehículo de transporte a granel, con una mínima exposición al aire libre de los residuos, el cual se encarga de transportarlos hasta el sitio de tratamiento o disposición final.

∴ Usuario: Es la persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien sea como propietario del inmueble en donde este se presta o como receptor directo del servicio. También es denominado como consumidor.

∴ Vehículo recolector: Es el vehículo de transporte a granel utilizado en las actividades de recolección de los residuos sólidos desde algunos de los lugares de presentación o estaciones de transferencia y su transporte hasta las estaciones de clasificación y aprovechamiento o hasta el sitio de disposición final.

8.2 CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS

La Caracterización de Procesos consiste en identificar condiciones y/o elementos que hacen parte del proceso, tales como quién, por qué, para quién, cómo, cuándo se hace y qué se requiere para hacerlo¹⁶, de manera que permita conocer y entender de manera clara y precisa el macroproceso. Además, según un informe presentado por la Universidad Nacional¹⁷, la caracterización de los procesos asegura la mejora continua de una institución, pues exige establecer, documentar, implementar y mantener un sistema integral de gestión. Para caracterizar un sistema, es necesario identificar y documentar los procesos que le permiten cumplir la misión que se le ha asignado a la institución. Para ello, es necesaria una metodología de implementación secuencial que responde a la razón simple de desdoblar, de lo general a lo particular, la cadena de actividades misionales que se desarrollan. Los pasos son los siguientes:

8.2.1 Procedimiento para caracterizar un proceso De manera general, el procedimiento para caracterizar un proceso es el siguiente:

∴ Identificar el mapa de procesos o modelo de operación: El primer paso es identificar de manera gráfica la red de procesos, en donde se establezca el propósito, función o servicio de una entidad o dependencia. Las instituciones de manera general, cuentan con cuatro tipos de macroprocesos: misionales, estratégicos, apoyo y evaluación, igual de importantes y necesarios.

∴ Identificar los procesos: El siguiente paso corresponde a la identificación de los procesos, es decir, el cómo (operativo) del macroproceso, desdoblado o

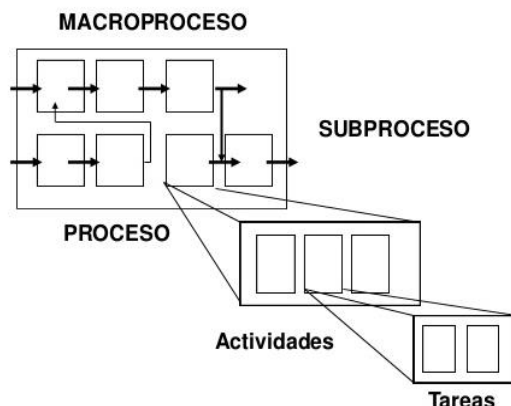
16 BANCO MUNDIAL, MINISTERIO DE JUSTICIA Y DEL DERECHO. Caracterización de procesos. En: NTC 590 [en línea]. <<http://goo.gl/cNbVhq>> [citado en 02 de noviembre de 2015].

17 SIMEGE, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Caracterización de procesos. En: Guía Básica Para Documentar [en línea]. <<http://goo.gl/nRADzl>> [citado en 02 de noviembre de 2015].

desplegando su complejidad, haciéndolo más simple y estableciendo la manera en que se gestiona una función a partir de las actividades operativas de la misma, tal como se puede apreciar en la figura 5¹⁸. Por último, se debe validar el resultado de los pasos anteriores con los responsables del proceso; este paso es fundamental en el ejercicio, pues se deben discutir los contenidos y concertar ajustes.

∴ Caracterizar los procesos: La identificación de los rasgos distintivos del proceso se conoce como caracterización, que no es otra cosa que establecer la relación con los demás procesos internos o externos, los insumos y las salidas del proceso, los proveedores y clientes, los riesgos y controles, permitiendo a los usuarios del sistema clarificar de manera muy sencilla el funcionamiento de la Entidad y la gestión de sus procesos.

Figura 5: Composición de un macroproceso.



Fuente: Gestión de Procesos Industriales, Leonardo Silva Franco.

∴ Documentar los procedimientos: Los procedimientos recogen las actividades, las tareas y los movimientos de un proceso y se despliegan según las necesidades operativas de la institución y el área. En otras palabras, el

18 SILVA FRANCO, Leonardo. El Enfoque de Procesos. En: Gestión de Procesos [en línea]. <<http://goo.gl/GoMf6L>> [citado en 02 de noviembre de 2015].

procedimiento es la forma especificada para llevar a cabo un proceso y definen, entre otras cosas: quién hace qué, dónde, cuándo, por qué y cómo.

De la misma manera, un paso fundamental en el ejercicio de caracterizar un proceso es la divulgación de la información y los resultados que se van alcanzando, con el objetivo de validarlos.

8.2.2 Indicadores Un indicador es un valor que sirve para medir el comportamiento de variables, en función del nivel de logro de un objetivo o meta planificados; es una especificación cuantitativa de la relación entre dos o más variables, que permite verificar el nivel de logro alcanzado en el cumplimiento de los objetivos¹⁹. En general, un indicador se compone de los siguientes elementos:

- ∴ Nombre del indicador: expresión verbal que “personifica” o “singulariza” el indicador respectivo.
- ∴ Atributo: cualidad del indicador (por género, nivel de escolaridad, por región).
- ∴ Unidad de medida: unidad en la que se formula el indicador.
- ∴ Fórmula de cálculo: expresión matemática para medir la variación del indicador.


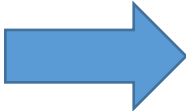
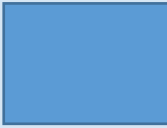
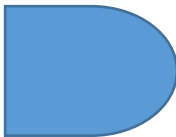

8.2.3 Diagramas de los procesos El análisis de los procesos trata de eliminar las principales deficiencias existentes entre ellos y lograr la mejor distribución posible de la maquinaria, equipo y área de trabajo dentro de la planta. Para lograr estos propósitos, la simplificación del trabajo se apoya en el diagrama de flujo²⁰, que es una representación gráfica de los pasos que se siguen en una secuencia de actividades que constituyen un proceso, identificándolos mediante símbolos de acuerdo con su naturaleza; además, incluye toda la información que se considera necesaria para el análisis, tal como distancias recorridas, cantidad considerada y tiempo requerido.

19 BANCO MUNDIAL, MINISTERIO DE JUSTICIA Y DEL DERECHO, Op. cit., p. 6-9.

20 CRIOLLO GARCÍA, Roberto. Estudio del trabajo, Ingeniería de métodos y medición del trabajo. México: Editorial McGraw-Hill, 2005. 42-50 p. ISBN 970-10-4657-9.

Con fines analíticos y con ayuda para descubrir y eliminar ineficiencias, es conveniente clasificar las acciones que tienen lugar durante un proceso dado en cinco categorías, conocidas bajo los términos de operaciones, transportes, inspecciones, demoras y almacenajes²¹.

Tabla 2: Símbolos básicos del diagrama de flujo.

Actividad	Definición	Símbolo
Operación	Ocurre cuando se modifican las características de un objeto, se le agrega algo o se le prepara para otra operación, transporte, inspección o almacenaje. También ocurre cuando da o se recibe información o se planea algo.	
Transporte	Ocurre cuando un objeto o grupo de ellos son movidos de un lugar a otro, excepto cuando tales movimientos forman parte de una operación o inspección.	
Inspección	Ocurre cuando un objeto o grupo de ellos son examinados para su identificación o para comprobar y verificar la calidad o cualesquiera de sus características.	
Demora	Ocurre cuando se interfiere el flujo de un objeto o grupo de ellos, con lo cual se retarda el siguiente paso planeado.	
Almacenaje	Ocurre cuando un objeto o grupo de ellos son retenidos y protegidos contra movimientos o usos no autorizados.	

Fuente: Estudio del trabajo, ingeniería de métodos y medición del trabajo, Roberto Criollo.

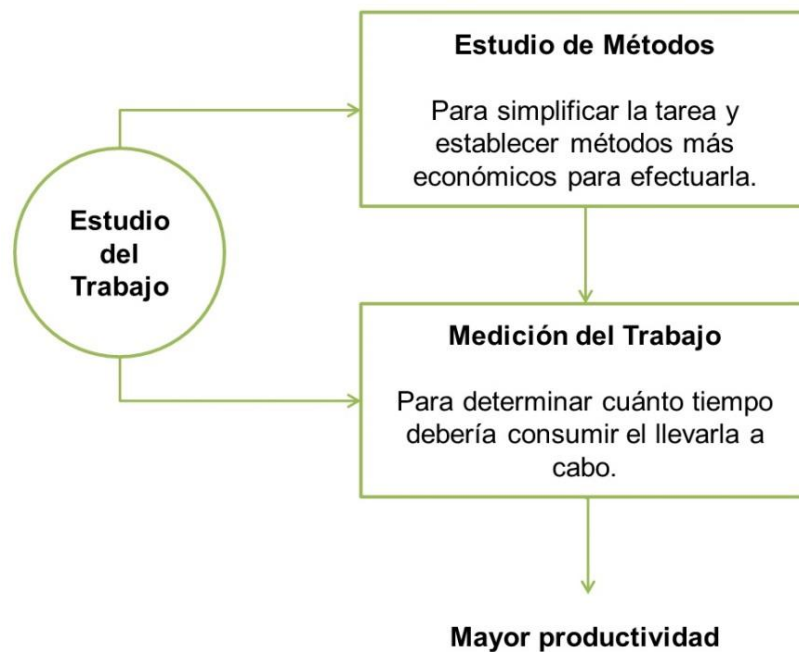
²¹ CRIOLLO GARCÍA, Roberto. Op. cit., p. 42.

8.3 ESTUDIO DE TRABAJO

Estudio del trabajo se define como las técnicas que se utilizan para examinar el trabajo humano en todos sus contextos y que llevan sistemáticamente a investigar todos los factores que influyen en la eficacia y en la economía de la situación estudiada con el fin de mejorarla²².

El estudio de trabajo tiene dos componentes principales: el estudio de métodos y la medición del trabajo, los cuales se describirán a continuación y se resumen en la figura 6²³.

Figura 6: Estudio del trabajo.



Fuente: Estudio del Trabajo, Organización Internacional del Trabajo.

22 CASO NEIRA, Alfredo. Técnicas de Medición del Trabajo. Madrid, España: Fundación Confemetal, 2006. 14 p. ISBN 84-96169-89-8.

23 KANAWATY, George. Introducción al Estudio del Trabajo. Ginebra: Editorial Limusa S.A., 2002. 20 p. ISBN 92-2-307108-9.

8.3.1 Estudio de Métodos El estudio de métodos se define como el registro y examen crítico y sistemático de los modos existentes y proyectados de llevar a cabo un trabajo, como medio de idear y aplicar métodos más sencillos y eficaces de reducir costos. Comprende el diseño, formulación y selección de los mejores métodos, procesos, herramientas, equipos diversos y especialidades necesarias para fabricar un producto después de que haya sido proyectado.

8.3.2 Medición del trabajo La medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador cualificado en llevar a cabo una tarea definida, efectuándola según una norma de ejecución preestablecida. La medida del trabajo sirve para investigar, reducir y eliminar, si es posible, el tiempo improductivo tales como ausencias injustificadas, retrasos, ritmo lento, trabajo con escasa calidad que obliga a reprocesos, incumplimiento de las normas de seguridad que dan lugar a accidentes. Una vez conocido este tiempo improductivo, se pueden tomar medidas para eliminarlo o al menos minimizarlo.

8.3.2.1 Etapas para realizar medición del trabajo El procedimiento técnico empleado en calcular el tiempo de ejecución de una tarea, consiste en determinar el llamado tiempo estándar, que es el tiempo que necesita un trabajador cualificado y motivado para realizar la tarea tomándose los descansos correspondientes para recuperarse de la fatiga y para sus necesidades personales. Neira, A.²⁴, define los siguientes conceptos así:

∴ Tiempo de reloj (TR): Es el tiempo que invierte el operario para realizar la tarea encomendada y que se mide mediante un cronómetro (no se toman en cuenta los tiempos de descanso del operario ni por fatiga ni por necesidades personales).

24 CASO NEIRA, Alfredo. Op. cit., p. 19.

∴ Factor de ritmo (FR): Este concepto surge de la necesidad de corregir las diferencias que se producen al existir trabajadores rápidos, normales y lentos al ejecutar una misma tarea. Se calcula el coeficiente FR al comparar el ritmo de trabajo de un trabajador cualquiera con el de un operario capacitado, normal y conocedor de dicha tarea.

∴ Tiempo normal (TN): Es el tiempo medido por el cronómetro que un operario capacitado, conocedor de la tarea y desarrollándola a un ritmo normal, invertiría en la realización de la tarea objeto del estudio. Su valor es: $TN = TR \times FR$.

∴ Suplementos de trabajo (K): Es preciso que el operario detenga su trabajo para recuperarse de la fatiga producida al realizar la tarea o para atender sus necesidades personales; estos periodos de inactividad, que son un porcentaje del TN, se valoran según las características del trabajador y de la tarea.

∴ Tiempo estándar (TP): Es el tiempo necesario para que un trabajador capacitado y conocedor de su tarea realice a un ritmo normal, añadiendo los suplementos correspondientes, así: $TP = TN \times (1 + K)$.

8.3.2.2 Medición del trabajo por cronometraje Existen muchos procedimientos para determinar los tiempos de reloj, el factor de ritmo o actividad y los suplementos. Para elegir uno u otro, se deberá tener en cuenta el coste de su determinación y los beneficios a obtener. Neira, A.²⁵, recomienda el estudio de tiempos con cronómetros (cronometraje), puesto que es el sistema más utilizado en la industria y calcula el tiempo de trabajo por medio del cronómetro. Es preciso calcular:

$$TP = (TR * FR) * (1 + k)$$

25 Ibid., p. 20-23.

Dónde:

TR: Tiempo medido con cronómetro.

TP: Tiempo estándar.

FR: Factor de ritmo o actividad.

k: Suplementos.

El estudio de tiempos es una técnica de medida del trabajo empleada para registrar los tiempos y los ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, realizada en condiciones determinadas, para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar una tarea de acuerdo con una norma de ejecución preestablecida. En general, Criollo, R.²⁶ recomienda que se lleve a cabo cuando:

- ∴ Se va a ejecutar una nueva operación, actividad o tarea.
- ∴ Se presentan quejas de los trabajadores o de sus representantes sobre el tiempo que consume una operación.
- ∴ Surgen demoras causadas por una operación lenta que ocasiona retrasos en las demás operaciones.
- ∴ Se pretende fijar los tiempos estándar de un sistema de incentivos.
- ∴ Se detectan bajos rendimientos o excesivos tiempos muertos de alguna máquina o grupo de máquinas.

8.3.2.3 Equipo necesario para el estudio de tiempos El equipo mínimo que Neira, A.²⁷ afirma que se requiere para llevar a cabo un programa de estudio de tiempos consta de:

- ∴ Un cronómetro.
- ∴ Un tablero o paleta para estudio de tiempos.
- ∴ Impresos para realizar las anotaciones de tiempos.
- ∴ Calculadora de bolsillo.

26 CRIOLLO GARCÍA, Roberto. Op. cit., p. 185.

27 CASO NEIRA, Alfredo. Op. cit., p.56-57.

8.3.2.4 Tipos de cronometraje La Organización Internacional del Trabajo²⁸ menciona que existen dos procedimientos principales para tomar el tiempo con cronómetro:

∴ Cronometraje acumulativo: El reloj funciona de modo ininterrumpido durante todo el estudio; se pone en marcha al principio del primer elemento del primer ciclo y no se le detiene hasta acabar el estudio. Al final de cada elemento se apunta la hora que marca el cronómetro y los tiempos de cada elemento se obtienen haciendo las respectivas restas después de terminar el estudio. Con este procedimiento se tiene la seguridad de registrar todo el tiempo en que el trabajo está sometido a observación.

∴ Cronometraje con vuelta a cero: Los tiempos se toman directamente; al acabar cada elemento, se hace volver el segundero a cero y se le pone de nuevo en marcha de inmediato para cronometrar el elemento siguiente, sin que el mecanismo del reloj se detenga ni un momento.

8.3.2.5 Número de observaciones necesarias Criollo, R.²⁹ afirma que el número de ciclos que deberá observarse para obtener un tiempo medio representativo de una operación se debe determinar mediante alguno de los siguientes procedimientos, los cuales se aplican cuando se puede realizar gran número de observaciones, pues cuando el número de éstas es pequeño, se utiliza para el cálculo del tiempo normal representativo la media aritmética de las mediciones efectuadas.

∴ Fórmulas estadísticas: Determina el número de observaciones necesarias para obtener el tiempo de reloj representativo con un error de $e\%$ a partir de una premuestra de tamaño n y promedio X_{prom} . Se aplica la fórmula:

28 KANAWATY, George. Op. cit., p. 301-303.

29 CRIOLLO GARCÍA, Roberto. Op. cit., p. 204-209.

$$N = \left(\frac{K \cdot \sigma}{e \cdot X_{prom}} \right)^2 + 1$$

Donde K es el coeficiente de riesgo (1, 2 o 3 para un error del 32 %, 5 % o 0,3 % respectivamente). La desviación típica de la curva de la distribución de frecuencias de los tiempos de reloj obtenidos es igual a:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - X_{prom})^2}{n}}$$

Dónde X_i representa los valores obtenidos de los tiempos de reloj, X_{prom} es la media aritmética de los tiempos de reloj, n el número de mediciones efectuadas y e como el error expresado en forma decimal.

∴ Criterios de General Electric: Establece el número de ciclos a cronometrar utilizando el tiempo del ciclo en minutos, tal como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 3: Criterio del número de observaciones de General Electric.

Tiempo de ciclo (min)	Observaciones a realizar
0,10	200
0,25	100
0,50	60
0,75	40
1,00	30
2,00	20
4,00 a 5,00	15
5,00 a 10,00	10
10,00 a 20,00	8
20,00 a 40,00	5
Más de 40,00	3

Fuente: Estudio del trabajo, ingeniería de métodos y medición del trabajo, Roberto Criollo³⁰.

30 Ibid, p. 208.

8.3.2.6 Valoración del ritmo de trabajo El ritmo de trabajo, según Ortiz, N.³¹ hace referencia a la eficiencia con la que el operario ejecuta su labor. Si no se llevara a cabo la valoración, los tiempos obtenidos podrían alejarse de la realidad, por lo cual, se busca aplicar un factor de corrección al tiempo observado en el cronómetro.

Existen varios métodos de valoración, entre ellos, Manyoma, P.³² resalta: calificación de velocidad, calificación sintética, calificación objetiva y sistema Westinghouse, este último definido como un método que considera un ajuste global como el resultado de la suma de los valores porcentuales de 4 factores para evaluar el desempeño: Habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia. La habilidad hace referencia al nivel de competencia para seguir un método dado, el esfuerzo a la demostración de voluntad para trabajar con efectividad, las condiciones como elementos que afectan al operario y no a la operación y la consistencia como los valores de tiempos normales que se repiten constantemente.

8.3.2.7 Suplementos Asignar suplementos tiene como propósito obtener un valor “más real” del tiempo empleado por una persona al ejecutar su trabajo, pues el valor registrado por el cronómetro sólo hace referencia al tiempo efectivo de trabajo, sin embargo en la práctica, el operario eventualmente detiene su actividad para descansar, ir al baño, etc., y altera los cálculos de tiempo, según afirma Ortiz, N.³³. Estos suplementos pueden ser:

31 ORTÍZ, Nestor. Técnicas básicas para el análisis y mejoramiento de la productividad en procesos de manufactura. En: Diagramas de Análisis de Procesos de Manufactura, 2014 [en línea]. < <http://goo.gl/DL7c5n>> [citado en 02 de noviembre de 2015].

32 MANYOMA, P. Análisis multicriterio de la valoración del ritmo en el estudio de tiempos. En: Work Organization and Human Resources Management, 2010 [en línea]. <<http://goo.gl/NSyAzv>> [Citado en 08 de febrero de 2016].

33 ORTÍZ, Nestor. Op. cit., p. 56-60.

∴ Por descanso y necesidades personales: Se asignan a la tarea buscando que el operario se recupere de los efectos fisiológicos y psicológicos causados por la ejecución del trabajo bajo determinadas condiciones de su entorno, de tal forma que le permiten atender sus necesidades personales. Estos suplementos pueden ser constantes y variables.

∴ Por características del proceso: Se define como el margen de tiempo que tiene el operario por inactividad forzosa debido a la naturaleza del proceso o al trabajo que ejecuta. Su valor corresponde al tiempo inactivo que posee el trabajador en cada ciclo de producción.

∴ Especiales: Son los suplementos por actividades periódicas, concedidos al operario para realizar una actividad que se repite cada cierto tiempo, como por ejemplo, el tiempo dedicado a preparativos al inicio de la jornada, limpieza del lugar de trabajo, organización, entre otros, o suplementos por contingencia, los cuales se asignan en razón a que la jornada nominal no siempre corresponde a la jornada real, es decir, si se espera trabajar durante ocho horas al día, es posible que el tiempo efectivo de trabajo sea inferior. Estas contingencias son eventos esporádicos; por lo tanto, el porcentaje de tiempo asignado no debe ser superior al 5 % sobre la jornada de trabajo.

∴ Discrecionales: Hacen referencia a aquellos suplementos que no poseen justificación matemática ni tampoco se asocian al proceso de manufactura; quedan a discreción del director o jefe.

8.4 MODELAMIENTO MATEMÁTICO

Según Hillier, F. y Lieberman, G.³⁴, es la representación idealizada de algún problema de la vida real expresado en símbolos y expresiones matemáticas que

34 HILLIER, F.; LIEBERMAN, G. Investigación de operaciones. México: McGraw – Hill, 2002. 10 p. ISBN: 970-10-3486-4.

muestran las relaciones y las interrelaciones de la acción y la reacción en términos de causa y efecto. El modelo matemático de un problema industrial está conformado por el sistema de ecuaciones y expresiones matemáticas relacionadas que describen la esencia del problema. De esta forma, si deben tomarse n decisiones cuantificables relacionadas entre sí, se representan como variables de decisión (X_1, X_2, \dots, X_n) , para las que se determinan los valores respectivos. En consecuencia, la medida de desempeño adecuada, por ejemplo costo de transporte, se expresa como una función matemática de estas variables de decisión y toma el nombre de función objetivo.

También se expresan en términos matemáticos todas las limitaciones o restricciones que se pueden imponer sobre los valores de las variables de decisión, casi siempre en forma de ecuaciones o desigualdades. Las constantes de las restricciones y de la función objetivo se llaman parámetros del modelo. La determinación de los valores apropiados que deben asignarse a los parámetros del modelo es una tarea crítica y a la vez un reto en el proceso de construcción del modelo. Al contrario de los problemas que se presentan en los libros donde se proporcionan estos números, la determinación de los valores de los parámetros en los problemas reales requiere la recolección de los datos relevantes.

8.5 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

8.5.1 Medidas numéricas Con frecuencia una muestra constituye una larga lista de números. Para ayudar a que las características de una muestra sean evidentes, se calcula el resumen estadístico. Las dos cantidades más usadas en el resumen estadístico son la media muestral y la desviación estándar de la muestra. La primera indica el centro de los datos y la segunda señala cómo están

distribuidos. A continuación, se explican las medidas de localización según Anderson, Sweeney y Williams³⁵:

∴ Media: Es la medida de localización más importante, también se le conoce como el valor promedio de una variable. La media proporciona una medida de localización central de los datos. Si los datos pertenecen a una muestra, la media se denota como X_{prom} ; si provienen de una población, la media se denota con la letra griega μ . Para estimar el valor promedio de un grupo de observaciones X_1, X_2, \dots, X_n , extraídas de una muestra de tamaño n , se aplica la siguiente fórmula:

$$X_{\text{prom}} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

∴ Moda: Es la observación que se presenta con mayor frecuencia en la muestra.

Además de las medidas de localización³⁶, suele ser útil considerar las medidas de variabilidad o de dispersión, tales como:

∴ Varianza: Es una medida de variabilidad que utiliza todos los datos y se basa en la diferencia entre el valor de cada observación X_i y la media. A la diferencia entre cada valor X_i y la media se le llama desviación respecto de la media. Para calcular la varianza, estas desviaciones respecto de la media se elevan al cuadrado. En una población con N observaciones y la media poblacional es μ , la varianza poblacional se define como:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N}$$

35 ANDERSON, DR; SWEENEY, DJ; WILLIAMS, TA. Estadística Para Administración Y Economía. México: Cengage Learning, 2008. 83-87 p. ISBN: 970-686-825-9.

36 MONTGOMERY, DC; RUNGER, GC. Probabilidad Y Estadística Aplicadas A La Ingeniería. Mexico : Editorial Limusa, 2009. 24 p. ISBN: 968-18-5915-4.

En la mayoría de las aplicaciones de la estadística, los datos a analizar provienen de una muestra. La varianza muestral, que se denota por S^2 y se define como:

$$S^2 = \frac{\sum(X_i - X_{\text{prom}})^2}{n - 1}$$

∴ Desviación estándar: Es la raíz cuadrada positiva de la varianza. Continuando con la notación adoptada para la varianza muestral y para la varianza poblacional, se emplea s para denotar la desviación estándar muestral y σ para denotar la desviación estándar poblacional.

∴ Rango: Se define como la diferencia entre la observación más grande y la más pequeña

∴ Coeficiente de variación:

Es un estadístico descriptivo que indica cuán grande es la desviación estándar en relación con la media y se representa como porcentaje³⁷.

$$\left(\frac{\text{Desviación estándar}}{\text{Media}} \times 100 \right) \%$$

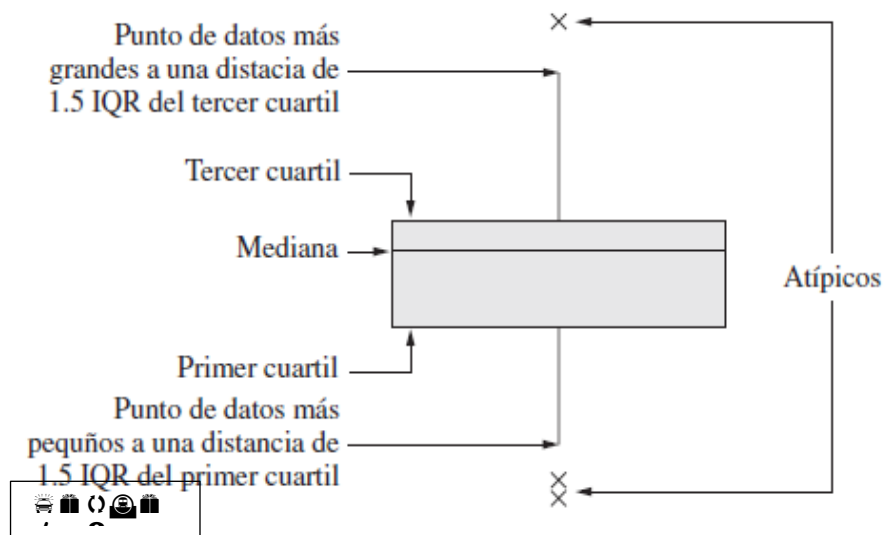
8.5.2 Presentaciones gráficas El análisis exploratorio de datos permite usar operaciones aritméticas sencillas y representaciones gráficas fáciles de dibujar para resumir datos.

∴ Diagrama de caja: El diagrama de caja es una presentación visual que describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión, la desviación de la simetría y la identificación de observaciones que se alejan de manera poco usual del resto de datos (este tipo

37 ANDERSON, DR; SWEENEY, DJ; WILLIAMS, TA. Op. Cit., p. 95.

de observaciones se conocen como “valores atípicos”). La figura 7³⁸ presenta un ejemplo, el cual consta de una caja cuyo lado inferior es el primer cuartil y el lado superior es el tercer cuartil; la mediana se dibuja como una línea horizontal. Los datos “atípicos” se grafican por separado y se indican con cruces. Los que se extienden desde la parte superior a la inferior de la caja son líneas verticales llamadas “bigotes”, que terminan en los puntos más extremos que no son atípicos³⁹. Aparte de los datos atípicos, cada una de estas partes representa una cuarta parte de los datos. Por tanto, el diagrama indica la longitud de un intervalo para cada cuarta parte de datos y de esta manera se puede usar para determinar las regiones en las que hay mayor y menor densidad de valores de la muestra.

Figura 7: Diagrama de caja y bigotes.



Fuente: Estadística para Ingenieros y Científicos. Navidi William.

∴ Histograma: Es una gráfica que da una idea de la “forma” de un conjunto de datos, indicando las regiones donde los puntos están concentrados y las regiones donde son escasos. Esta gráfica se elabora con datos previamente resumidos

38 NAVIDI, WC. Estadística Para Ingenieros. Mexico: McGraw-Hill, 2006. 35 p. ISBN: 970-10-5629-9.

39 Ibid., p. 35.

mediante una tabla de frecuencias o de frecuencias relativas. Un histograma se construye colocando la variable de interés en el eje horizontal y la frecuencia o frecuencia relativa en el eje vertical y se indican dibujando un rectángulo cuya base está determinada por los límites de clase sobre el eje horizontal y cuya altura es la frecuencia⁴⁰.

∴ Diagrama de Pareto: Es una forma de representar los datos en un histograma de manera que los datos aparecen ordenados de mayor a menor. Así, se pueden identificar las principales causas de la mayor parte de los efectos producidos. Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, se puede afirmar que el 20 % de las causas resuelven el 80 % del problema; es de gran utilidad para identificar y dar prioridad a los problemas más significativos de un proceso⁴¹.

8.6 ESTADÍSTICA INFERENCIAL

8.6.1 Muestreo Para Anderson, Sweeney y Williams⁴², el principal propósito de la inferencia estadística es hacer estimaciones acerca de los parámetros poblacionales usando la información que proporciona una muestra, los cuales sólo son estimaciones de los valores de las características de la población. Con métodos de muestreo adecuados, los resultados muestrales pueden llegar a ser “buenas” estimaciones de los parámetros poblacionales. Entre los diferentes tipos de muestreo se pueden encontrar:

∴ Muestreo aleatorio simple de una población finita: Una muestra aleatoria simple de tamaño n de una población finita de tamaño N es una muestra

40 Ibid., p. 27.

41 ALCALDE, P. Calidad. España: Editorial Thomson-Paraninfo, 2007. 146-147 p. ISBN 978-84-9732-542-4.

42 ANDERSON, DR.; SEWWNEY, DJ; WILLIAMS, TA. Op. cit., p. 258-264.

seleccionada de manera que cada posible muestra de tamaño n tenga la misma probabilidad de ser seleccionada.

∴ Muestreo aleatorio simple de una población infinita: Una muestra aleatoria simple de una población infinita es una muestra seleccionada de manera que satisfaga las condiciones siguientes:

1. Cada uno de los elementos seleccionados proviene de la población.
2. Cada elemento se selecciona independientemente.

∴ Muestreo aleatorio estratificado: En este tipo de muestreo los elementos de la población primero se dividen en grupos o estratos, de manera que cada elemento pertenezca a uno y a sólo un estrato. Una vez formados los estratos, se toma una muestra aleatoria simple de cada estrato.

8.6.2 Pruebas de bondad de ajuste Los procedimientos de prueba de hipótesis están diseñados para problemas en los que se conoce la población o distribución de probabilidad, y la hipótesis involucra los parámetros de la distribución. Sin embargo, a menudo se encuentra otra clase de hipótesis: no se sabe cuál es la distribución de la población, y se desea probar la hipótesis de que una distribución en particular será un modelo satisfactorio de la población. A continuación se describen dos procedimientos de prueba formal de la bondad del ajuste.

∴ Prueba ji-cuadrada: Este procedimiento de prueba requiere una muestra aleatoria de tamaño n proveniente de la población cuya distribución de probabilidad es desconocida. Las n observaciones se acomodan en un histograma que contiene k intervalos de clase. Sea O_i la frecuencia observada en el i -ésimo intervalo de clase. De la distribución de probabilidad propuesta, se calcula la frecuencia esperada en el i -ésimo intervalo de clase, la cual se denota por E_i . El estadístico de prueba es:

$$X_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Puede demostrarse que, si la población sigue la distribución propuesta, X_0^2 tiene, de manera aproximada, una distribución ji-cuadrada con $k-p-1$ grados de libertad, donde p representa el número de parámetros de la distribución propuesta estimada por los estadísticos muestrales. Debe rechazarse la hipótesis de que la distribución de la población es la distribución propuesta, si el valor calculado del estadístico de prueba es⁴³:

$$X_0^2 > X_{\alpha, k-p-1}^2$$

∴ Prueba Kolmogorov-Smirnov⁴⁴: No necesita que los datos se encuentren agrupados y es aplicable a muestras de tamaño pequeño. Se basa en una comparación entre las funciones de distribución acumulativa y la distribución propuesta bajo la hipótesis nula. Si esta comparación revela una diferencia suficientemente grande entre las funciones de distribución muestral y propuesta, entonces la hipótesis nula de que la distribución es $F_0(x)$, se rechaza. Denótese X_1, X_2, \dots, X_n a las observaciones ordenadas de una muestra aleatoria de tamaño n y defínase la función de distribución acumulativa muestral como:

$$S_n(X) = \begin{cases} 0 & X < X_1 \\ \frac{k}{n} & X_k < X < X_{k+1} \\ 1 & X > X_n \end{cases}$$

La estadística de Kolmogorov-Smirnov se define como:

$$D_n = \max_x |S_n(X) - F_0(X)|$$

43 Ibid., p. 444.

44 CANAVOS, GC. Probabilidad Y Estadística : Aplicaciones Y Métodos. España: McGraw Hill, 2001. 368 p. ISBN: 968-451-856-0.

9. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS CON MOTOCARROS EN EL CENTRO DE BUCARAMANGA

Este capítulo está dedicado a la exposición de las fuentes de información utilizadas para obtener la información y a la descripción detallada de cada fase del proceso de recolección, tal como se menciona a continuación.

9.1. FUENTES DE INFORMACIÓN

El proceso de recolección de residuos sólidos con motocarros en el centro de Bucaramanga se realiza en tres fases: la fase previa al servicio, la prestación del servicio y la posterior al servicio; con el objetivo de conocer en detalle la operación y complementar el conocimiento adquirido en la revisión de literatura, se emplean las siguientes fuentes de información para documentar la caracterización del proceso:

∴ Observación directa: Se hace un trabajo de campo desde el 11 de noviembre hasta el 12 de diciembre de 2015 para realizar seguimiento a la operación, acompañando por 2 semanas a cada una de las cuatro rutas encargadas de la recolección de residuos sólidos en el centro de Bucaramanga. Se obtienen 12 réplicas para cada una de las rutas; estos datos están consignados en un formato para el registro, incluido en el Anexo C, previamente elaborado y diligenciado por los autores del proyecto y aprobado por el coordinador de la operación, con el fin de eliminar sesgos, errores o alteraciones en los datos.

∴ Entrevistas al personal: Inicialmente se realizan dos entrevistas informativas semiestructuradas con el subgerente de la empresa y el coordinador del proceso de recolección de residuos sólidos para conocer la operación y sus principales problemas desde sus puntos de vista; en el Anexo D se encuentra el cuestionario

diseñado para estas entrevistas. Como resultado se obtiene una visión general del proceso operativo y a partir de la revisión de artículos y trabajos de grado hecha con anterioridad, se escogen los parámetros relevantes para caracterizarlo. También se organizan entrevistas informativas libres con las conductoras, asistentes y supervisores de la operación, con el fin de conocer y detallar su papel y contribuciones. Una vez finaliza el trabajo de campo, se realizan reuniones periódicas con el coordinador de la operación con el fin de presentar los resultados encontrados, consultar su opinión y propuestas de mejora.

∴ Datos históricos: La empresa utiliza un formato para controlar la operación que debe ser diligenciado por las operarias de los motocarros y firmado por los usuarios que atienden. Desafortunadamente, no contiene la información necesaria para caracterizarlo, pues en él se registra un solo parámetro llamado número de bolsas y no se registra ninguna duración; debido a esto, se elabora el formato de registro de datos incluido en el Anexo C para realizar el trabajo de campo.

9.2. INFORMACIÓN OBTENIDA

∴ Información cuantitativa: Hace referencia a los parámetros como capacidad, tiempos del proceso y la cantidad de residuos; para esto, se definen los siguientes subíndices:

Tabla 4: Subíndices definidos para la operación.

Sub.	Descripción
k	Motocarros; $k = 1,2,3,4$.
l	Recolectores; $l = 1,2$.
i	Nodos; $i = 0,1,2,\dots,90$.

El subíndice k representa cada una de las rutas que atienden usuarios en el centro de la ciudad; los compactadores pueden ser uno o dos, dependiendo del bloque

de la semana, pues se necesita mayor capacidad durante el bloque 2 (martes, jueves y sábados) debido a que estos días se atienden barrios aledaños. Por último, los nodos van desde 0 hasta 90, siendo 0 el garaje, desde 1 hasta 50 los usuarios y desde 51 hasta 90 los puntos de transferencia. Seguidamente, se definen los siguientes parámetros:

Tabla 5: Parámetros elegidos para caracterizar la operación.

Parámetro	Descripción	Valor
m_k	Número de motocarros.	4
m_l	Número de recolectores.	1, 2
V_1	Conjunto de usuarios.	1,2,...,50
V_2	Conjunto puntos transferencia.	51,...,90
Q_k	Capacidad del motocarro.	600 kg
Q_l	Capacidad del vehículo recolector.	9, 10, 14 ton
q_i	Demanda promedio del usuario $i \in C$.	Ver Anexo E
$[ET_i, LT_i]$	Ventana de tiempo del usuario $i \in C$.	Ver Anexo E
ST_i	Tiempo prom. servicio del usuario $i \in C$.	Ver Anexo E
C_{ij}	Distancia entre nodos $i, j \in C, V \cup \{0\}$	Ver Anexo F
TT	Tiempo promedio de transferencia.	24,36 min
BP	Peso promedio bolsa pequeña.	3,07 kg
BM	Peso promedio bolsa mediana.	5,27 kg
BG	Peso promedio bolsa grande.	8,18 kg
H	Horizonte de planeación.	14 h
$[0, H]$	Ventana de tiempo del garaje.	[0,14]
W	Horas máx. de trabajo del conductor.	8 h

Durante el trabajo de campo se identifican 50 usuarios que pertenecen a la zona del centro y 40 puntos de transferencia, de los cuales solo 10 se ubican en la zona; el formato de caracterización de los usuarios y el listado de los puntos de transferencia se encuentran en los Anexos E y G, respectivamente, donde para cada usuario se define su demanda promedio [kg], tiempo promedio de servicio [min] y ventana de tiempo de atención, es decir, hora en la que puede ser

atendido. La capacidad de los motocarros es de 600 kg/viaje y fue extraída de la ficha técnica entregada por la empresa fabricante, AYCO. Por otro lado, la capacidad del vehículo recolector puede variar de acuerdo al vehículo empleado para la transferencia, pues un compactador tiene mayor capacidad que una volqueta porque esta última no posee el mecanismo para comprimir residuos. El tiempo de viaje entre nodos fue estimado por medio de la herramienta Google Maps Distance Matrix API y se incluye en el Anexo F. El cálculo del peso promedio de las bolsas y el tiempo promedio de transferencia se detallan en el capítulo 4. Por último, el horizonte de planeación se definió de 14 horas, pues el garaje está abierto desde las 04:00 a.m. hasta las 06:00 p.m.

∴ Información cualitativa: Entre los parámetros cualitativos se encuentran los lugares escogidos para realizar las transferencias, la valoración del ritmo de trabajo, detalles acerca de las paradas inesperadas de la operación o esperas durante la ruta.

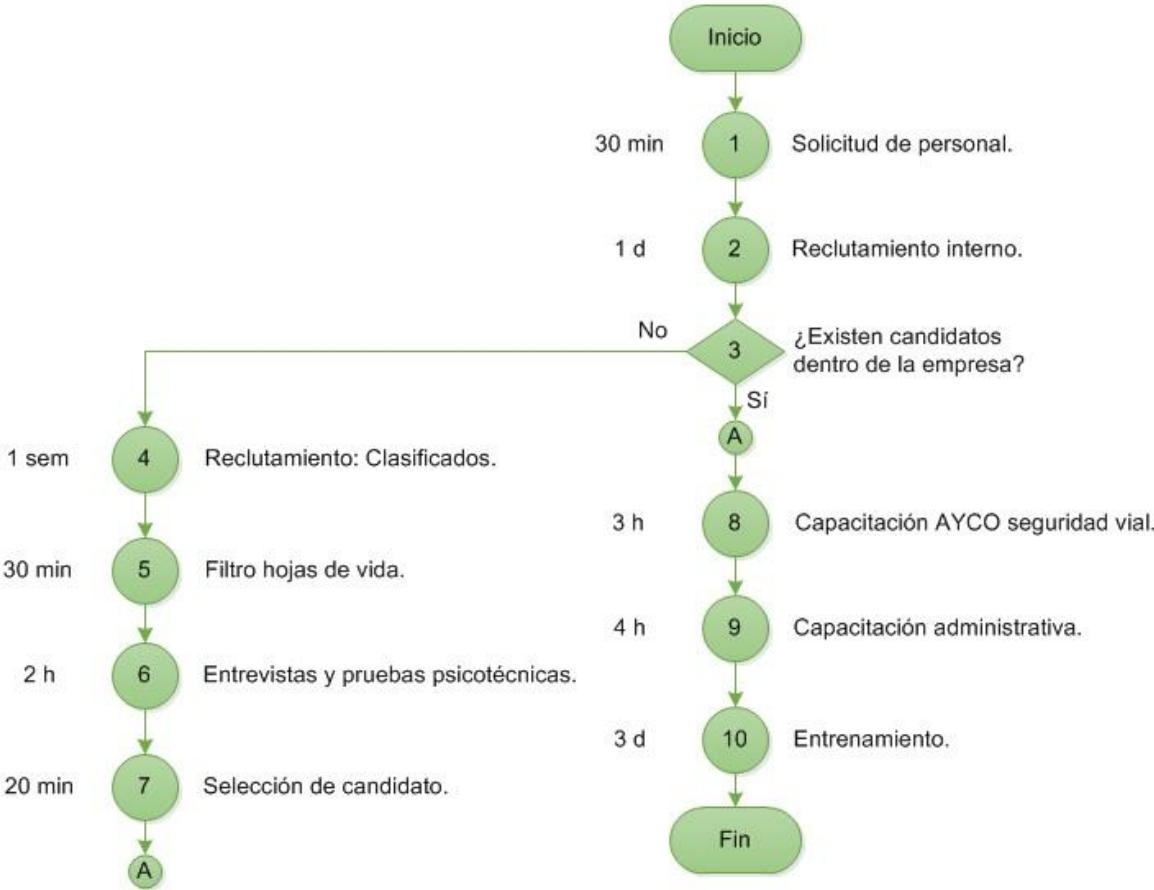
En el Anexo H se encuentra disponible el diagrama de flujo que representa esquemáticamente el funcionamiento habitual del proceso. En él, se detallan las operaciones que deben ser realizadas para prestar el servicio especial de recolección con motocarros y sus respectivas duraciones. A continuación, se describe cada una de las fases que componen el proceso de recolección de residuos sólidos en el centro de la ciudad de Bucaramanga.

9.3. FASES DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS CON MOTOCARRO

9.3.1. Fase previa al servicio Corresponde a la planeación y gestión de recursos requeridos para la prestación del servicio de recolección de residuos con motocarros y se compone de 3 actividades:

∴Gestión del talento humano: Las empresas Bello Renacer y Coopreser son responsables de la gestión del personal operativo encargado de los procesos misionales de la organización, por lo que deben contratar, capacitar y evaluar el desempeño de las cuatro conductoras. El procedimiento de contratación comienza con el reclutamiento interno entre las escobitas que ya laboran en la empresa y deseen postularse al cargo; dado el caso en que ninguna de ellas cumpla con el perfil del cargo, se procede a realizar una convocatoria externa por medio de avisos clasificados. Después de elegir la persona más indicada para el cargo, se programan capacitaciones acerca de normas de tránsito y seguridad vial con Ayco, empresa fabricante de los motocarros utilizados en la operación; en este punto del proceso, la conductora ya debe haber obtenido su licencia de

Figura 8: Diagrama de flujo del subproceso de contratación.



conducción. Por último, se realiza una capacitación administrativa, es decir, se muestran los procedimientos y registros que la conductora debe realizar para el control de su labor. En los Anexos I y J se encuentran los manuales de funciones y procedimientos de los cargos relacionados con el proceso de recolección con motocarros, respectivamente; a continuación, se muestra el diagrama de flujo del subproceso de contratación.

∴ Gestión comercial: Se encarga principalmente de la captación de nuevos clientes, las visitas de seguimiento a clientes antiguos y capacitaciones sobre el reciclaje y comparendos ambientales y está a cargo del supervisor comercial, William Ricardo Barrera. Su objetivo es velar porque se cobre a los usuarios una tarifa justa y competitiva por los servicios que la EMAB les presta. Entre los servicios ofrecidos se encuentran las brigadas de aseo, entrega de avisos y canecas, podas y otros servicios especiales, tales como la recolección de inservibles, escombros o con motocarro.

Figura 9: Formato de visitas para solicitudes y/o peticiones.

Empresa de Aseo de Bucaramanga EMAB S.A. E.S.P.
 Dirección de servicio al Cliente
 Alcaldía de Bucaramanga

Fecha: **13** / **07** / **14**
 No. **5114**

Formato de visitas para solicitudes y/o peticiones

Nombre del usuario: _____ C.C. _____ Dirección: _____
 Barrio: _____ Tel: _____ Código: _____ Ciclo _____
 Asunto: _____
 Observaciones: _____
 Solicitudes: Petición Escrita Verbal

Clasificación
 Predio desocupado Otros
 Verificar tarifa Aforo Uso y categoría

Cumplido y Realización del Servicio
 Hora _____ Día _____ Mes _____
 El usuario recibe a satisfacción el servicio: sí no

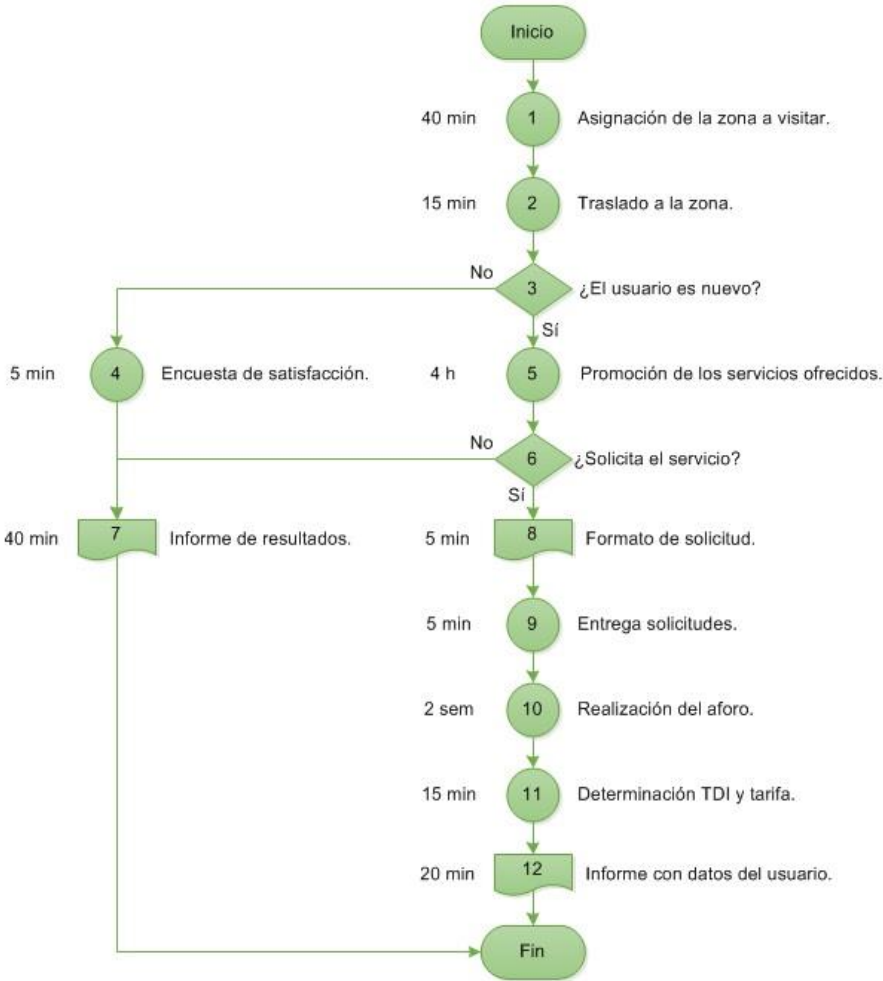
Firma Nombre del Supervisor EMAB _____
 Nombre y Firma del usuario quien atiende el servicio C.C. _____

Kilometro 4 vía Girón Dirección de Tránsito - Tels: 837 3434 - 6448373 Ext. 113 - Fax: 6375811 - 6418811 - www.emab-esp.com

Fuente: Empresa de Aseo de Bucaramanga.

Además de esto, son los encargados de realizar los aforos a un usuario o grupo de usuarios para determinar la cantidad de residuos producidos en un periodo de tiempo. Cada vez que ingresa un cliente nuevo se le debe realizar un aforo, puesto que de esta manera se calcula la tarifa de cobro; este aforo de ingreso no tiene costo, pero dado el caso en el que el usuario considere que su tarifa no corresponde a la cantidad de residuos que genera, puede solicitarlo por un costo de \$90.000 pesos.

Figura 10: Diagrama de flujo del subproceso de comercialización.



Para la afiliación de un nuevo usuario al servicio de recolección con motocarros, el primer paso es realizar el registro de la petición en el formato mostrado en la figura

9. Luego se debe realizar un aforo, en el cual se toman 6 muestras de diferentes días no consecutivos y se estima la cantidad de basura promedio que el usuario produce en cada visita. Desafortunadamente, esta información no está disponible, puesto que no se realiza para todos los usuarios porque tarda al menos 2 semanas para su correcta ejecución y, debido a que se quiere prestar un servicio rápido y brindar una tarifa tan pronto como sea posible, esta se estima discriminando según el tipo de usuario (residencial o comercial) y la cantidad estimada de residuos que el cliente afirma disponer; con esto, se agiliza la prestación del servicio, pero se corre el riesgo de cobrar tarifas erróneas y perjudicar económicamente al usuario o a la operación. En la Figura 10, se incluye el diagrama de flujo del proceso de promoción y comercialización del servicio de recolección con motocarros.

∴ Asignación de usuarios: Esta actividad es realizada cuando un nuevo usuario solicita el servicio de recolección de residuos sólidos con motocarro y el supervisor comercial reporta la solicitud al coordinador operativo. Los criterios empleados para asignar usuarios a una de las 4 rutas existentes son: jornada para la prestación del servicio, ubicación geográfica y capacidad de la ruta. En el centro de la ciudad operan las rutas 1, 2, 3 y 4, cada una cuenta con 8, 19, 9 y 14 usuarios respectivamente.

De acuerdo con el decreto 2981 de 2013, los usuarios se clasifican en residenciales y no residenciales. Los primeros son aquellos cuyos residuos sólidos son derivados de la actividad residencial, mientras que para los segundos se derivan de la actividad comercial o industrial, los cuales se dividen en pequeños y grandes productores, según el volumen de residuos generados; por otra parte, la empresa discrimina los usuarios según su actividad. En las tablas 6 y 7 se muestra la cantidad de usuarios para cada clasificación.

Tabla 6: Clasificación de los usuarios con base en el criterio de la EMAB.

Clasificación EMAB			
Clasificación	Frecuencia	F. Relativa	Tiempo Prom. Servicio [min]
Banco	7	0,14	6,20
Comercial	7	0,14	10,6
Hotel	2	0,04	5,99
Manufactura	10	0,20	5,41
Residencial	9	0,18	8,70
Restaurante	7	0,14	6,12
Servicios	8	0,16	4,52
Total	50	1	

Tabla 7: Clasificación de los usuarios con base en el decreto 2981 de 2013.

Clasificación Decreto			
Tipo	Frecuencia	F. Relativa	T. Prom. Servicio [min]
Gran productor	33	0,66	7,24
Productor pequeño.	8	0,16	2,98
Residencial	9	0,18	8,70
Total	50	1,00	

9.3.2. Fase de prestación del servicio Durante esta fase, las 4 conductoras ingresan a la zona y recogen la basura generada por los usuarios, cada una con un motocarro y un grupo de clientes por atender entre las 6:00 a.m. y las 4:00 p.m.; en el Anexo B se encuentra el listado de usuarios que cada ruta atiende y su ubicación. Además de esto, todos los días deben recoger las bolsas de barrido dispuestas por los escobitas en puntos ubicados en andenes y algunos parques del sector. Las actividades que comprenden esta fase son:

∴ **Recolección de de residuos o cargue:** La recolección de residuos sólidos inicia con la recepción del formato de control del proceso, en donde se encuentra el listado de clientes que debe visitar cada operaria durante el día y una vez es

revisado, es ella quien planea su itinerario basándose en su experiencia y en los requerimientos de sus clientes.

Existen dos tipos de usuarios: los establecimientos (entre los cuales se encuentran hoteles, restaurantes, bancos y almacenes) y algunos barrios de difícil acceso que se encuentran alrededor del centro de la ciudad. En el caso de un establecimiento, la operaria debe presentarse con la persona encargada de entregarle los residuos o, en su defecto, de autorizarle el ingreso al cuarto de aseo para posteriormente proceder a cargar el motocarro con los residuos; es importante tener en cuenta el número de bolsas recogidas, puesto que se debe consignar en el formato de control, al igual que la hora de visita. Por último, la operaria debe pedir la firma del cliente como soporte del cumplimiento del servicio. Si el vehículo llena su capacidad y el cliente aún tiene bolsas por entregar, la operaria debe realizar la transferencia y regresar para completar el servicio, ya que por políticas de la empresa todos los residuos deben ser retirados.

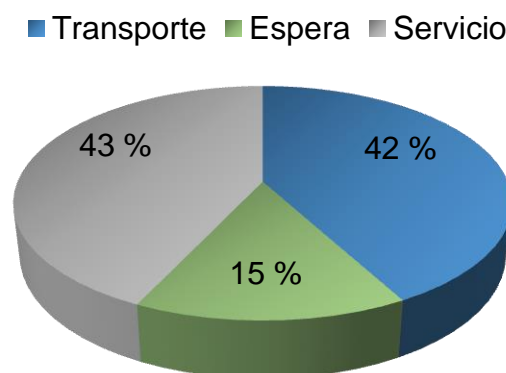
Figura 11: Subproceso de recolección de residuos.



Por otro lado, cuando se visita a un barrio, no se debe realizar el conteo de bolsas ni firmar el formato, pues no hay ningún representante o encargado. Cabe resaltar que en este caso, el proceso de atención es más lento debido a que la conductora debe estacionar el motocarro cerca al barrio y realizar recolección puerta a puerta de los residuos dispuestos por los usuarios. El análisis del proceso de atención a barrios de difícil acceso no se encuentra incluido dentro del trabajo, puesto que estos barrios no se encuentran dentro de la zona delimitada para el estudio.

∴ Transporte de residuos: El transporte es uno de los principales componentes de la fase de prestación de servicio porque, de acuerdo con el trabajo de campo realizado entre noviembre 11 y diciembre 12 de 2015, se analizaron 48 datos sobre el tiempo total de trabajo y se estima que el transporte representa el 42 %, tal como se puede observar en la Figura 12. A pesar de que los trayectos son cortos entre un cliente y otro, este porcentaje se ve justificado en gran medida por la congestión vehicular que se presenta en la zona céntrica de la ciudad y por los desplazamientos para realizar las transferencias, puesto que el 75 % de los puntos de transferencia utilizados se encuentran fuera de la zona de recolección.

Figura 12: Uso promedio del tiempo de operación de los motocarros.



Este subproceso comprende los transportes hacia el cliente en busca de residuos, hacia el vehículo compactador para realizar la transferencia, hacia la base para guardar el motocarro al final del día y otros desplazamientos extraordinarios que se presentan, tales como cuando el motocarro sufre un daño mecánico o debe cargar combustible. La conductora elige la ruta para llegar de un punto a otro con base en su propia experiencia, debido a que en algunas oportunidades dependiendo de la hora del día, se elige un camino más largo en cuanto a distancia pero más corto en tiempo para evitar el tráfico. Por último, el transporte de los residuos al relleno sanitario lo realiza el vehículo compactador o volqueta, pero para efectos de la investigación no se tiene en cuenta, pues no está contemplado dentro del alcance del trabajo.

∴ Transferencia o descargue de residuos: El subproceso de transferencia inicia desde el momento en que el motocarro llena su capacidad de 600 kilogramos y la operaria llama al conductor del vehículo recolector para acordar el lugar de la transferencia y dirigirse a él. Una vez se encuentra con el compactador, debe estacionar el motocarro de manera que las compuertas traseras de ambos vehículos queden aproximadamente a 15 cm de distancia y esperar a que se realice la transferencia que, según 202 datos recogidos durante el trabajo de campo en noviembre de 2015, tarda en promedio 24,36 minutos y es efectuada por tres operarios. Cuando la moto se encuentra totalmente desocupada, la operaria revisa la lista con los clientes que aún no han sido atendidos y determina a cuál de ellos visitar, de acuerdo a la distancia y la hora del día.

Estas transferencias son de vital importancia para el proceso, pues ellas son las que evitan que las operarias puedan continuar con su labor normal una vez lleno el vehículo. Además, se estima que en promedio se realizan 17,4 transferencias/día que representan una gran parte del tiempo total disponible, pues al multiplicarlo por la duración de una transferencia, se encuentra que en promedio se utilizan 7 horas/día solo para realizar transferencias.

Tabla 8: Número de transferencias promedio de cada motocarro.

Moto	Transferencias/periodo*	Transferencias/día
1	30	2,5
2	58	5,27
3	49	4,08
4	61	5,55
Total	202	17,4

*Periodo de 12 días.

9.3.3. Fase posterior al servicio Esta fase se realiza con el fin de garantizar la continuidad y el control de la operación. Está compuesta por tres actividades que apoyan la prestación del servicio, las cuales son:

∴ Visitas de seguimiento: Esta actividad está a cargo del supervisor comercial y consiste en realizar visitas periódicas a los usuarios con el objetivo de medir la satisfacción de los servicios prestados por la EMAB mediante la aplicación de un cuestionario de satisfacción. Este cuestionario se modifica según el servicio a evaluar y la zona que se quiera evaluar; un ejemplo del cuestionario se incluye en el Anexo K. Con este cuestionario se evalúa el desempeño de la conductora y se corrigen problemas como el horario o frecuencia de recolección.



∴ Gestión documental: Una vez atendidos todos los usuarios, la conductora debe dirigirse al garaje, estacionar el vehículo y entregar el formato de control del proceso debidamente diligenciado al supervisor de la operación, quien se encarga de archivarlo y, en caso de encontrar alguna anomalía, debe notificarla al coordinador del proceso para que sea solucionada antes de terminar la jornada de trabajo. El fin de este formato es comprobar que la conductora visitó al usuario durante su jornada de trabajo.

∴ Preparación del vehículo: Después de entregar el formato al supervisor, la conductora debe revisar el estado del vehículo y el nivel de combustible con el que

terminó la jornada. Ante cualquier situación inusual que impida el normal funcionamiento para el siguiente día, debe informarlo al coordinador para que él autorice su reparación o cargue de combustible, según sea el caso. El lavado del vehículo debe realizarse diariamente según lo estipulado en el artículo 39 del decreto 2981 de 2013 y realizarse en sitios diseñados para tal fin y no puede efectuarse en áreas públicas ni en fuentes o cuerpos de agua.

Por último, se procede a organizar toda la información mediante el formato de caracterización presentado a continuación; en él se evidencian los aspectos más relevantes de la operación. Los riesgos allí incluidos son solamente los identificados por la organización; sin embargo, haciendo un análisis más profundo de los peligros que la labor involucra, se incluye en el Anexo L una matriz de peligros y riesgos, revisada por el coordinador de la operación, donde se realiza una identificación más completa y se valora su riesgo.

9.4. FORMATO DE CARACTERIZACIÓN

		Proceso de Recolección de Residuos Sólidos con Motocarros				
Objetivo	Prestar el servicio de recolección personalizada de manera ágil, satisfaciendo las necesidades de la comunidad y cumpliendo la normatividad legal.					
Responsable	Jose Antonio Hernández		Cargo	Coordinador Operativo		
Proveedor	Entrada	Actividad	Salida	Cliente	Formatos	
Gestión comercial.	Zona de visita.	Captación de nuevos usuarios.	Informe de las visitas.	Coordinador operativo, Gestión comercial.	Formato para solicitudes y/o peticiones, Formato de vinculación.	
Usuario.	Formato de solicitudes y/o peticiones.	Aforo a usuarios.	Toneladas Dispuestas por Individuo (TDI).	Gestión comercial, usuario.	Formato para solicitudes y/o peticiones, Formato de aforo.	
Gestión comercial.	Formato de vinculación de prestación de servicio.	Planeación de las rutas.	Rutas de recolección para cada motocarro.	Operarios de recolección con motocarros.	Formato de vinculación y formato de control del proceso.	
Coordinador operativo.	Rutas de recolección para cada motocarro.	Recolección personalizada de residuos.	Usuarios sin residuos, motocarro cargado.	Usuarios.	Formato de control del proceso.	
Coordinador operativo.	Rutas de recolección para cada motocarro.	Recolección de residuos de barrido.	Aceras despejadas, motocarro cargado.	Barrido.		
Supervisor.	Ubicación del compactador.	Transferencia de residuos desde el motocarro al recolector.	Motocarro vacío.	Operarios de recolección con motocarros.		
Operarios de recolección con motocarros.	Daños o anomalías del vehículo.	Mantenimiento preventivo del vehículo.	Órdenes de servicio.	AYCO y/o estación de servicio.	Orden de servicio.	
Gestión comercial.	Zona de visita.	Seguimiento de usuarios.	Informe de las encuestas de satisfacción.	Coordinador operativo, Gestión comercial.	Encuesta de satisfacción.	
Riesgos			Indicadores			
Biológicos, físicos y condiciones de seguridad.			Cantidad promedio de basura recogida, horas productivas/ruta.			
Recursos						
Máquinas			Talento humano			
Motocarro e insumos para su funcionamiento (gasolina, aceite, etc.).			Conductora y su respectiva dotación (uniforme, guantes, gorra y botas).			

10. ASPECTOS CRÍTICOS DEL PROCESO

Con el fin de identificar falencias en la operación y características propias de la recolección de residuos con motocarros en el centro de Bucaramanga, se realiza un análisis de los siguientes aspectos: peso promedio de las bolsas, capacidad del proceso, puntos de transferencia, duración de las transferencias y duración de las rutas. Estos aspectos fueron definidos con base en el estudio de campo y con ayuda del Coordinador operativo del proceso de recolección, pues su conocimiento y experiencia en el cargo confirman la importancia de estos aspectos durante la operación.

10.1. PESO PROMEDIO DE LAS BOLSAS

Uno de los principales aspectos críticos del proceso de recolección con motocarros en el centro de la ciudad es poder estimar el peso promedio de las bolsas de basura, puesto que los usuarios utilizan diferentes tamaños para entregar sus residuos. Por esto, se decide clasificar visualmente las bolsas según su tamaño en tres categorías (pequeña, mediana y grande) para estimar sus pesos promedio. Primero, se realiza una premuestra de tamaño 71, 61 y 51 para cada tipo de bolsa respectivamente y se emplea la fórmula estadística mencionada en el numeral 2.3.2.5 para determinar el tamaño de muestra representativo; se determina que la muestra debe ser de 81 bolsas pequeñas, 110 medianas y 117 grandes. Debido a esto, se realiza un segundo plan de muestreo aleatorio, se analiza la información y se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 9: Peso promedio de las bolsas.

Peso Bolsas [kg]	
Pequeña	3,07
Mediana	5,27
Grande	8,18

10.2. CAPACIDAD DEL PROCESO

En cualquier proceso, la planeación de la capacidad es fundamental y aun cuando en los servicios está sujeta a muchas de las mismas cuestiones de la manufactura, también existen algunas diferencias entre ellas. Para llevar a cabo esto en el proceso analizado en este proyecto, se realiza el cálculo de la capacidad instalada, disponible y, por último, su nivel de utilización.

10.2.1. Capacidad instalada Para este análisis, se utiliza la cantidad de residuos en kilogramos que puede recoger la empresa con los motocarros en una jornada laboral de 8 horas como variable de medición. Para esto, se tienen en cuenta las 4 motos que atienden la zona céntrica de Bucaramanga y, para poder determinar cuánto pueden recoger, se utilizan los tiempos entre cada transferencia obtenidos a partir del estudio de campo hecho entre noviembre 11 y diciembre 12 de 2015, omitiendo los tiempos de espera y promediando entre las cuatro motos, con lo cual, se obtiene una muestra de 185 datos; a partir de esto, se obtiene que cada 60,06 minutos se realiza una transferencia. Por último, se determina el número de transferencias teórico, es decir, el número de transferencias que idealmente debe realizar cada vehículo en un día de trabajo de 8 horas y se multiplica por la capacidad de cada motocarro para finalmente obtener la capacidad instalada; los resultados obtenidos se resumen en la tabla 10, mostrada a continuación.

Tabla 10: Capacidad instalada del proceso de recolección con motocarros.

Capacidad Instalada	
No. Transferencias/Motocarro*día	8
No. Transferencias/Día	32
Capacidad Instalada [kg/Día]	19.182

10.2.2. Capacidad disponible Debido a que la capacidad instalada es aquella que se da bajo condiciones ideales, este valor se debe ajustar para obtener la capacidad disponible, que hace referencia a la cantidad de residuos que es capaz

de recoger la empresa teniendo en cuenta los tiempos no productivos requeridos por necesidades personales o del vehículo, tales como paradas inesperadas, tiempos de alistamiento, descansos, entre otras. Los factores que se tienen en cuenta son:

Tabla 11: Tiempo diario dedicado a actividades no productivas.

Causa	Tiempo [min/día]
Alistamiento	30
Descanso	20
Cargue de combustible	10
Necesidades personales	15
Lavado del vehículo	10
Reuniones	5
Daños de máquina	10
Total	100
Total [h/día]	1,67

El valor de estos factores se estima con base en la información recolectada en campo y para aquellas actividades que no son realizadas todos los días, tales como el cargue de combustible y lavado del vehículo, se distribuye su duración proporcionalmente entre los días laborados en una semana. Dado que el tiempo no productivo estimado es de 1,67 horas/día, se recalcula la capacidad asumiendo que cada conductora trabaja 6,33 horas por día.

Tabla 12: Capacidad disponible del proceso de recolección con motocarros.

Capacidad Disponible	
No. Transferencias/Motocarro*día	7
No. Transferencias/Día	28
Capacidad Disponible [kg/día]	16.800

10.2.3. Utilización de la capacidad Para determinar la utilización de los recursos en la operación, se contrasta el peso promedio estimado de los residuos recolectados por las conductoras en un día laboral con la capacidad disponible. Para estimar el peso promedio de residuos recogidos, se multiplican los pesos

promedio de cada bolsa de la Tabla 9 con la cantidad de bolsas registradas en el trabajo de campo antes de cada transferencia, los cuales están disponibles en el Anexo M. Este análisis se realiza según los bloques de operación de la empresa, es decir, los días lunes miércoles y viernes pertenecen al bloque 1 de la semana y los martes, jueves y sábados al bloque 2, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 13: Utilización de la capacidad.

Nivel Utilización de la Capacidad	
No. Transferencias/Motocarro*día	5
Total Transferencias/día	20
Carga Estimada Bloque 1 [kg/día]	7.702,94
Carga Estimada Bloque 2 [kg/día]	8.902,68
Utilización Bloque 1	46 %
Utilización Bloque 2	53 %

Tanto para el bloque 1 como para el 2, el nivel de utilización es muy bajo ya que, según Haywood-Farmer y Nollet,⁴⁵ el uso adecuado para el sector servicios es cerca del 70 % de la capacidad máxima, debido a que se debe planear teniendo en cuenta la utilización del servicio y la calidad del mismo. Dadas las condiciones y las fluctuaciones que pueden presentarse durante la operación, por ejemplo, congestión vehicular o daños inesperados del vehículo, es recomendable que no se ocupe un 30 % de la capacidad, quedando este como respaldo en caso de eventualidades y se pueda garantizar una prestación del servicio adecuada.

10.3. PUNTOS DE TRANSFERENCIA

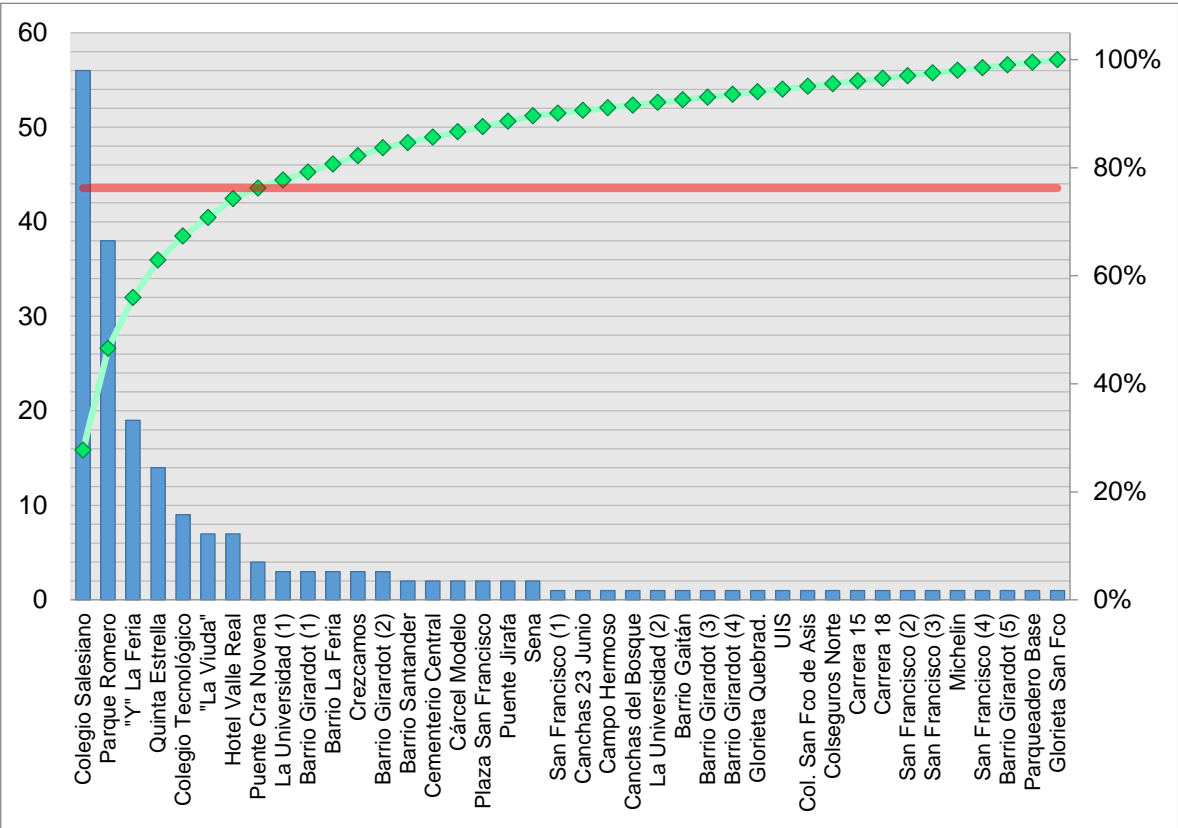
La EMAB tiene definidos 4 puntos de transferencia que son áreas públicas que minimizan el impacto generado a la población aledaña y no interfieren con el flujo vehicular. Sin embargo, durante el estudio realizado en noviembre del 2015, se

45 CHASE, RB; JACOBS, FR; AQUILANO, NJ. ADMINISTRACION DE OPERACIONES: PRODUCCION Y CADENA DE SUMINISTROS. Mexico: McGraw-Hill, 2009. 133 p. ISBN 970-10-7027-7.

evidencia que las transferencias no solo se efectúan en estos puntos sino que existen otros lugares no autorizados por la empresa. En total, se registraron 40 puntos de transferencia, que se encuentran enlistados en el Anexo G.

Además, se analiza la frecuencia con la que estos 40 puntos de transferencia fueron utilizados y se organizan de mayor a menor frecuencia según su utilización en el diagrama de Pareto mostrado en la Figura 13.

Figura 13: Diagrama de Pareto de los puntos de transferencia.



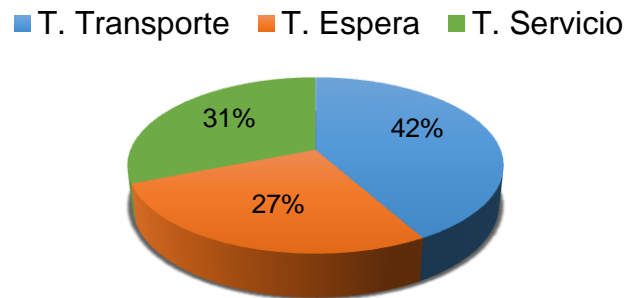
Con los resultados obtenidos en el diagrama de Pareto, se puede afirmar que el 76 % de las transferencias se realizan en el 20 % de los sitios, es decir, los 32 puntos de transferencia restantes son ocasionales. Esto demuestra que la actividad de transferencia no se ejecuta de acuerdo a lo planeado por la empresa, pues solamente 3 de los 8 puntos más frecuentes están dentro de los sitios

definidos por la empresa mientras que los 5 restantes, además de no estar autorizados, generan focos de contaminación que incitan a que la población aledaña arroje allí sus residuos.

10.4. DURACIÓN DE LAS TRANSFERENCIAS

El tiempo utilizado en la transferencia se divide en tres componentes: transporte al lugar de evacuación, espera para ser atendido y servicio de evacuación. A partir de los 202 datos registrados durante el trabajo de campo, se estima que una transferencia dura en promedio 24,36 minutos.

Figura 14: Distribución del tiempo de transferencia.



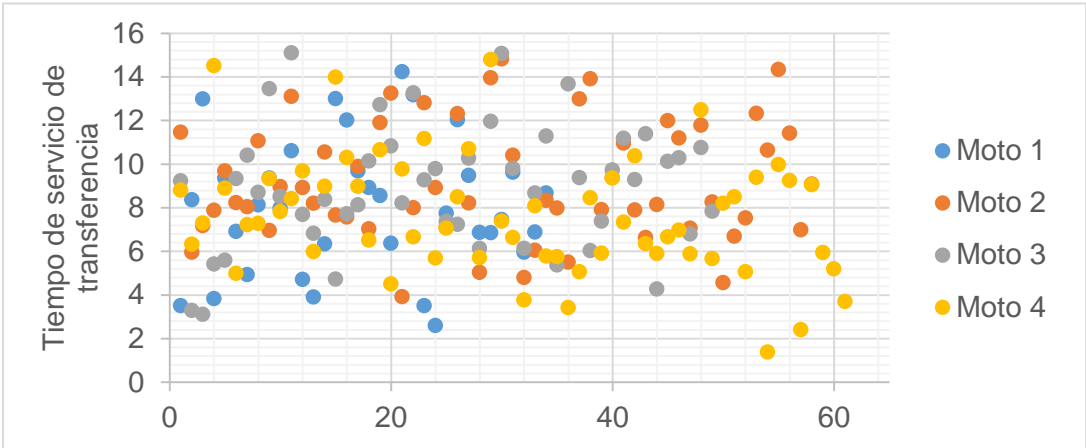
En la tabla 14 se muestra la distribución de probabilidad y el valor de los parámetros que caracterizan los tres componentes que conforman este tiempo y en los Anexo N y O se presentan las pruebas de bondad de ajuste y las comparaciones gráficas entre las funciones de distribución teórica y empírica.

Tabla 14: Distribución de probabilidad de los tiempos de transferencia.

Componente	Distribución
Transporte	Johnson SB ~ (0.63287, 29.73318, 0.89471, 0.89182)
Espera	Johnson SB ~ (0.00384, 22.71951, 1.10197, 0.56882)
Servicio	Beta ~ (0.00689, 26.83332, 5.61075, 12.20277)

El análisis se realiza asumiendo que este subproceso es independiente del tipo de moto, pues no se aprecia ningún tipo de relación entre las variables tiempo de servicio y tipo de moto, como se puede apreciar en la Figura 15; es por esto que se agrupan todas los 202 datos de las transferencias para el cálculo del tiempo promedio. El porcentaje del tiempo asociado al transporte se debe, en general, a que el 75 % de los puntos de transferencia utilizados están ubicados fuera de la zona del centro. Esto hace que se incurra en largos desplazamientos y costos innecesarios. La espera se debe principalmente a que todas las motos deben ser evacuadas por el mismo vehículo y, en promedio, se debe esperar a que 1 motocarro evacúe antes de poder iniciar la transferencia.

Figura 15: Gráfico de dispersión del tiempo de servicio de una transferencia.



10.5. DURACIÓN DE LAS RUTAS

Dado que la empresa divide sus rutas en dos bloques, se estima la duración por separado para cada uno de ellos; estos datos provienen del estudio de campo realizado en noviembre de 2015, del cual se obtuvo una muestra de 12 días para cada ruta. Además, se detalla el porcentaje de tiempo que cada ruta dedica a atender los usuarios de la zona del centro; vale la pena resaltar que este

porcentaje siempre es menor en el bloque 2 debido a que es durante estos días que se deben atender barrios de difícil acceso aledaños a la zona.

Como se puede observar, la desviación estándar para cada ruta es alta; esto se debe principalmente a la fluctuación natural del proceso y, sumado a esto, la variación causada por la conductora al variar el orden de visita a usuarios. Para tratar de analizar el proceso bajo las mismas condiciones, se realiza un listado del orden de visita de cada ruta para cada día de la semana del estudio, con el fin de agrupar aquellos días que presentaran la misma secuencia; este listado se encuentra disponible en el Anexo P. Sin embargo, se pudo observar que para cada ruta, en ningún día se repitió el orden de atención a los usuarios y por esto, se procede a analizar los datos en conjunto, solamente discriminando por bloques de atención.

Tabla 15: Duración actual de las rutas.

Ruta 1				Ruta 2			
Bloque	T_{prom} [h]	Desv. [min]	% Centro	Bloque	T_{prom} [h]	Desv. [min]	% Centro
1	8,32	21,90	73	1	6,93	17,57	86
2	7,90	22,88	64	2	7,47	48,68	56

Ruta 3				Ruta 4			
Bloque	T_{prom} [h]	Desv. [min]	% Centro	Bloque	T_{prom} [h]	Desv. [min]	% Centro
1	5,65	78,96	98	1	5,40	60,35	100
2	5,80	25,56	69	2	6,36	70,62	77

11. PROPUESTAS DE MEJORA DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS CON MOTOCARROS

11.1. PUNTOS DE TRANSFERENCIA FIJOS

Tal como se mencionó en el numeral 4.4, el tiempo de transporte y espera equivalen a un 69 % del tiempo total de una transferencia; por tal razón, se propone elegir lugares fijos donde se pueda minimizar el impacto a la población aledaña y también los tiempos de traslado. En el diagrama mostrado en la Figura 14 se mencionan 8 puntos de transferencia que potencialmente podrían ser autorizados por la empresa para la transferencia de residuos, pues son los más utilizados, ya sea por necesidad o conveniencia. Sin embargo, no todos de ellos son viables puesto que pueden llegar a afectar a la comunidad; es por esto que se eligen los siguientes tres puntos como los más indicados, basados en los criterios de frecuencia de uso, cercanía a la zona de recolección y la mitigación del impacto sobre el área de influencia:

- ∴ Colegio Salesiano: Avenida Quebradaseca #11-62.
- ∴ Parque Romero: Carrera 11 con calle 44, esquina.
- ∴ Parque de los niños: Avenida Quebradaseca con carrera 25. Este punto no se utilizó durante el estudio de campo porque la vía de acceso estuvo bloqueada debido a la construcción del intercambiador; sin embargo, se realizaron 11 transferencias en sus alrededores (Hotel Valle Real, Crezcamos y Michelín) que justifican la importancia de un punto de transferencia en esta zona.

Los puntos llamados “Y” de la Feria y Puente de la carrera 9 fueron descartados debido a que se pueden convertir en focos de contaminación y afectar la zona, mientras que Quinta Estrella, Colegio Tecnológico y “La Viuda” se descartaron por su lejanía al centro de la ciudad.

11.2. ESTANDARIZACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS BOLSAS

Tal como se mencionó en las limitaciones del proyecto, la gran variedad de bolsas que los usuarios utilizan para disponer sus residuos hace que las estimaciones del peso promedio de cada bolsa varíen y con ellos, los cálculos de capacidad y su utilización. Por lo tanto, se propone implementar la entrega e implementación de bolsas estándares para los usuarios del servicio especial de recolección y con esto, poder realizar estimaciones que se aproximen más a la situación real.

El costo de estas bolsas se debe incluir dentro de la tarifa de cada usuario; además, se sugiere que estas bolsas tengan las siguientes dimensiones⁴⁶:

Tabla 16: Características de las bolsas propuestas.

Tipo bolsa	Material	Dimensiones	Resistencia	Calibre
Pequeña	Polietileno baja densidad	45 x 50 cm	5 kg	19 um
Mediana	Polietileno baja densidad	55 x 60 cm	10 kg	19 um
Grande	Polietileno baja densidad	60 x 80 cm	16 kg	21 um

11.3. ASPECTOS POR MEJORAR DEL MOTOCARRO

En el decreto 2981 se regula el uso de vehículos de transferencia para transporte de residuos sólidos y, como se mencionó en el numeral 1.1.3, en él se enumeran 10 características físicas que el vehículo debe tener. Para que los motocarros utilizados en el proceso de recolección del centro de Bucaramanga cumplan con lo mencionado en el decreto, se debe:

- ∴ Implementar un sistema que evite la fuga de lixiviado en la vía pública.
- ∴ Facilitar el descargue de residuos, de manera que se evite su segregación y la emisión de partículas.

46 SUPERIOR: Bolsas de aseo. Catálogo de especificaciones y datos del producto. [en línea]. <<http://goo.gl/6Cv3Hc>> [citado en 10 de abril de 2015].

∴ Contar con un equipo básico de carretera y atención de incendios.

Por esto, se realizó una búsqueda web con el fin de encontrar mecanismos que se puedan implementar en el diseño de los motocarros y se encuentra un modelo de motocarro utilizado en Mérida, México, donde operan cuatro rutas de recolección durante las horas de la tarde para mantener limpio el centro histórico. En este caso, se emplea el motocarro mostrado en la Figura 16⁴⁷, el cual cumple con las características que el decreto exige; por un lado, no permite la fuga de lixiviado porque el contenedor está totalmente cerrado en la parte inferior y además, cuenta con un sistema que permite girarlo para facilitar el descargue de residuos sin permitir su segregación o derrame de líquidos en la vía pública. Según el artículo 30 de la ley 769 de 2002⁴⁸, el equipo de carretera debe contar con al menos dos señales de carretera en forma de triángulo en material reflectivo, un botiquín de primeros auxilios, un extintor y dos tacos para bloquear el vehículo. Con esto, el motocarro cumpliría con las características enunciadas por el decreto.

Figura 16: Recolección con motocarros en Mérida, México.



Fuente: Diario de Yucatán.

47 DIARIO DE YUCATÁN. En marcha plan piloto de recolección de basura en el Centro Histórico [en línea]. <<http://goo.gl/V70DJd>> [citado en 09 de abril de 2016].

48 COLOMBIA. GOBIERNO NACIONAL. Ley 769 (6, Agosto, 2002). Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones. Bogotá, 2002.

11.4. DISEÑO DE UNA APLICACIÓN EN JAVA PARA EL CONTROL DE LA OPERACIÓN

Se propone utilizar una aplicación, diseñada específicamente para el caso de la EMAB por los autores del proyecto, con el fin de digitalizar y analizar los datos recogidos a través del formato de control de la operación que las conductoras llenan a diario. Para esto, es necesario definir indicadores que controlen los puntos más importantes del proceso de recolección, definir los límites de tolerancia y rediseñar el formato de control, pues el actual no proporciona la información suficiente para tener una visión general de la operación. En el Anexo Q se incluye el ejecutable del programa y un instructivo sobre su funcionamiento.

11.4.1. Elección de indicadores Con el fin de tener una visión general del proceso y tener bajo control aquellas actividades críticas del proceso de recolección de residuos con motocarros, se proponen los siguientes 8 indicadores a partir del análisis de la caracterización y con ayuda del coordinador operativo de la operación:

∴ Número de transferencias/día: Con este indicador se busca llevar un control acerca del uso de la capacidad medida con respecto al tiempo, puesto que tal como se mencionó en el numeral 4.2.2, se cuenta con la capacidad para efectuar hasta 28 transferencias/día, siendo este el valor máximo para el indicador. Como se propone en el mismo capítulo, el uso de la capacidad debe ser cercano al 70 %, por lo que se busca que todos los días se efectúen al menos 20 transferencias; este indicador se debe calcular a diario.

$$Total\ Transferencias = \sum_k No. Transferencias\ Motocarro_k$$

∴ Peso recogido/viaje: Por otro lado, el análisis de capacidad también debe hacerse con respecto al peso, pues es necesario analizar qué tan llenos llegan los

motocarros al momento de realizar la transferencia. Por esto, se debe hacer un análisis en conjunto con el indicador anterior, puesto que además de que se deben realizar 20 transferencias/día, estas deben aprovechar al máximo la capacidad disponible del vehículo, es decir, en cada transferencia se debe recoger un peso promedio cercano a 600 kg; este indicador se debe calcular cada vez que se efectúe una transferencia en el día, sumando las bolsas recogidas de cada tamaño durante este viaje y multiplicando este valor por el peso promedio correspondiente, así:

$$\begin{aligned} \text{Estimado del Peso Recogido} = & \sum_i \text{Bolsas Pequeñas}_i * 3,07 + \\ & \sum_i \text{Bolsas Medianas}_i * 5,27 + \sum_i \text{Bolsas Grandes}_i * 8,18 \end{aligned}$$

∴ Kilómetros recorridos/día por cada moto: Este indicador se propone para evaluar los cambios hechos a cada una de las rutas en términos de kilómetros recorridos diarios, permitiendo así adoptar aquellos cambios que reduzcan el valor del indicador y rechazando los que lo aumenten.

$$\text{Kilómetros recorridos}_k = \text{Kilometraje Final}_k - \text{Kilometraje Inicial}_k$$

∴ Duración de cada ruta: Al igual que el indicador anterior, busca evaluar los cambios hechos a cada una de las rutas, de manera que se puedan comparar alternativas de operación y adoptar aquellas que disminuyan el tiempo total que cada motocarro emplea en completar su ruta. Este indicador debe calcularse a diario y cada ruta debe durar entre 5 y 8 horas.

$$\text{Duración ruta}_k = \text{Hora Final}_k - \text{Hora Inicial}_k$$

∴ Porcentaje de usuarios visitados/día por cada moto: Con respecto al uso del tiempo disponible de cada conductora, se propone evaluar el porcentaje de

usuarios que realmente atiende del total asignado al inicio de la jornada; este indicador se debe calcular a diario y para cada ruta. En un día normal, se debe visitar el 100 % de los usuarios asignados; en caso tal de no lograrlo, se deben adjuntar detalles del por qué no se logró visitar todos los clientes para analizar alternativas de solución.

$$\% \text{ Usuarios visitados/día}_k = \frac{\text{Usuarios Visitados/día}_k * 100}{\text{Usuarios Asignados/día}_k}$$

∴ Kilómetros recorridos/galón de combustible: Este indicador busca establecer políticas de tanqueo de combustible y controlar el uso de este recurso. Para lograrlo, se propone calcular cuántos kilómetros recorrió el motocarro con el combustible del último tanqueo; este indicador debe calcularse cada vez que cada motocarro cargue combustible, es decir, dos veces por semana.

$$\text{Km Recorrido/galón} = \frac{\text{Kilometraje tanqueo}_{\text{actual}} - \text{Kilometraje tanqueo}_{\text{anterior}}}{\text{Galones tanqueados}}$$

∴ Porcentaje de visitas exitosas/usuario: Se define como visita exitosa aquella visita donde:

$$\text{Residuos recogidos} > 0$$

Esto se hace con el fin de evaluar la frecuencia y el horario con los que se atiende cada usuario, pues durante el trabajo de campo fue común encontrar clientes definidos con frecuencia diaria que en realidad disponían solo 3 veces/semana o, en otros casos, usuarios que se visitan al final del día cuando en realidad deberían estar de primeros en la ruta; este indicador se debe calcular quincenalmente y se deben incluir detalles acerca del por qué no se efectúan las visitas para poder evaluar alternativas de solución.

$$\% \text{ Visitas exitosas}_i = \frac{\sum_i \text{Visitas exitosas}_i * 100}{\text{Total de visitas hechas}_i}$$

∴ Peso recogido/mes por cada moto: Por último, con el fin de evaluar el proceso de recolección como un conjunto, se propone llevar un control mensual sobre el peso total recogido cada mes, de manera que se pueda hacer un análisis de cuáles son los meses con mayor demanda, en cuáles se reduce y permitir la planeación de recursos. Además, se puede equilibrar la carga de los motocarros en términos de kilogramos recogidos en el mes por cada ruta.

$$\text{Peso Recogido Mensual} = \sum \text{Peso Recogido/mes}_k$$

11.4.2. Rediseño del formato de control El formato utilizado actualmente por la empresa no permite llevar un control del proceso de recolección puesto que la única información que proporciona es la cantidad de bolsas de cada usuario y el kilometraje, sin detallar en los tiempos empleados en cada una de las actividades de la ruta. Por esto, se propone utilizar el formato incluido en el Anexo R, el cual proporciona toda la información necesaria para el cálculo de los indicadores propuestos en el numeral anterior.

Cada conductora es responsable de llevar el formato, hacerlo firmar por cada usuario y entregarlo al final de su jornada de trabajo completamente diligenciado, al igual que lo debe hacer con el formato actual. De esta manera, se recoge más información sobre la operación y, con ayuda de la aplicación, se analiza y se presenta de manera ordenada como apoyo para la toma de decisiones.

12. CONCLUSIONES

Tal como se menciona en la revisión de la literatura, se evidencia la importancia de la fiabilidad de los parámetros de entrada para cualquier estudio, puesto que a partir de ellos se busca obtener resultados que reflejen el funcionamiento real de la operación. A partir de este estudio, es posible realizar un proyecto de mejoramiento general del proceso de recolección de residuos con motocarros en el centro de Bucaramanga, debido a que se realiza una descripción y caracterización del proceso general y de sus subprocesos, permitiendo conocer y entender cada paso durante la operación y brindando información confiable sobre el valor de los parámetros más representativos.

En el momento de realizar un estudio, es importante definir varias fuentes de información a utilizar durante la investigación. En este caso, la información con la que cuenta la empresa es limitada y, en muchas ocasiones, los procedimientos no se realizan según lo establecido por los directivos; por esta razón, además de utilizar información de fuente secundaria ya existente en la organización, se emplean fuentes primarias tales como observación directa y múltiples entrevistas con los diferentes cargos de la organización, con el fin de comparar y corroborar la información obtenida.

Aunque el estudio realizado brinda información fiable sobre el proceso, existen limitaciones y fluctuaciones que intervienen y afectan los resultados obtenidos, así como se menciona en la revisión de la literatura. Por esta razón, se propone el uso de la aplicación en Java diseñada para la empresa, con el fin de recopilar y analizar datos recientes de la operación y, de acuerdo a la ley de los grandes números, obtener valores más ajustados para cada uno de los parámetros de la operación.

Para el subproceso de recolección de residuos con motocarros, es importante definir un orden de atención para todos los usuarios, puesto que esto elimina variaciones y fluctuaciones, permitiendo analizar cada día de la operación bajo las mismas condiciones. Para el subproceso transferencia, se deben redefinir los puntos autorizados para trasbordar los residuos del motocarro al vehículo recolector por medio de un estudio técnico que garantice el menor uso del tiempo posible sin afectar la comunidad, puesto que si se sigue operando tal como se observó durante el trabajo de campo, se puede llegar a dar mala imagen de la empresa, crear focos de contaminación o generar quejas y reclamos debido al uso de zonas no autorizadas para tal fin.

Es importante enfocarse en el subproceso de transferencia de residuos, puesto que puede tardar de 5 a 65 minutos. Para esto, además de definir los puntos de transferencia más convenientes para el proceso de recolección con motocarros, se deben realizar cambios físicos en los motocarros de manera que se facilite su evacuación y se evite la segregación de basuras y lixiviados en la vía pública. Estas modificaciones son necesarias, no solo para agilizar el proceso, sino también por requisitos de ley mencionados en el decreto 2981 de 2013.

En cuanto a la utilización de la capacidad, es necesario hacer un análisis conjunto en cuanto a kilogramos de residuos transferidos al vehículo recolector y en número de transferencias por día, de manera que se aproveche tanto el tiempo que se dedica a realizar transferencias y la capacidad de los motocarros, los cuales aún cuentan con un 50 % de capacidad extra para atender nuevos usuarios, de la cual se recomienda solamente ocupar el 20 %, debido a que el porcentaje restante se debe utilizar para atender eventualidades propias del servicio.

13. RECOMENDACIONES

Se evidencia la necesidad de modelar el proceso de recolección de residuos sólidos con motocarros en el centro de Bucaramanga, para determinar y asignar los usuarios a cada una de las rutas de recolección, debido a que los métodos empleados actualmente carecen de fundamentación técnica y no garantizan la utilización adecuada de la capacidad. Para esto, el modelo que más se ajusta al problema real es el Problema de ruteo de vehículos de recolección de residuos con ventanas de tiempo, estudiado por Benjamín, A. y Beasley, J.⁴⁹ y mencionado en la revisión de la literatura. En caso de que se considere necesario realizar un modelo de localización para los puntos de transferencia, se recomienda utilizar uno como el propuesto por Chatzouridis, C. y Komilis, D.⁵⁰

Si se considera necesario ubicar estaciones de transferencia en los puntos que actualmente utiliza la empresa, se deben realizar estudios que incluyan la evaluación económica, técnica, operativa, jurídica, comercial, financiera, institucional, sociocultural y de riesgos, según lo establece el artículo 77 del decreto 2981 de 2013.

Además, es necesario considerar un estudio técnico enfocado en el diseño del motocarro para ajustarlo no solo a las exigencias hechas por ley, sino también enfocados en los operarios, buscando hacer más fáciles de realizar actividades como cargue, descargue y transporte.

⁴⁹ BENJAMIN, A; BEASLEY, J. Op. cit.

⁵⁰ CHATZOURIDIS, C; KOMILIS, D. Op. cit.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDE, P. Calidad. España: Editorial Thomson-Paraninfo, 2007. 146-147 p. ISBN 978-84-9732-542-4.

ANDERSON, DR; SWEENEY, DJ; WILLIAMS, TA. Estadística Para Administración Y Economía. México: Cengage Learning, 2008. 83-87 p. ISBN: 970-686-825-9.

BANCO MUNDIAL, MINISTERIO DE JUSTICIA Y DEL DERECHO. Caracterización de procesos. En: NTC 590 [en línea]. <<http://goo.gl/cNbVhq>> [citado en 02 de noviembre de 2015].

BENJAMIN, A; BEASLEY, J. Metaheuristics for the waste collection vehicle routing problem with time windows, driver rest period and multiple disposal facilities. Computers & Operations Research. Country of Publication: UK., 37, 12, 2270-2280, Dec. 1, 2010.

BUHRKAL, K; LARSEN, A; ROPKE, S. The Waste Collection Vehicle Routing Problem with Time Windows in a City Logistics Context. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 39, Seventh International Conference on City Logistics. June 7- 9,2011, Mallorca, Spain, 241-254. ISSN: 1877-0428.

CACERES NINO, JL; NIEVES ZARATE, NJ; GARAVITO HERNANDEZ, EA. Caracterización Y Análisis De Capacidad De Respuesta Del Sistema De Mantenimiento Tecnológico De La Universidad Industrial De Santander. Bucaramanga, 2010. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

CANAVOS, GC. Probabilidad Y Estadística : Aplicaciones Y Métodos. España: McGraw Hill, 2001. 368 p. ISBN: 968-451-856-0.

CASO NEIRA, Alfredo. Técnicas de Medición del Trabajo. Madrid, España: Fundación Confemetal, 2006. 14 p. ISBN 84-96169-89-8.

CHASE, RB; JACOBS, FR; AQUILANO, NJ. ADMINISTRACION DE OPERACIONES: PRODUCCION Y CADENA DE SUMINISTROS. Mexico: McGraw-Hill, 2009. 133 p. ISBN 970-10-7027-7.

CHATZOURIDIS, C; KOMILIS, D. A methodology to optimally site and design municipal solid waste transfer stations using binary programming. Resources, Conservation and Recycling. Netherlands, 60, 89-98, Mar. 1, 2012.

COLOMBIA. GOBIERNO NACIONAL. Ley 769 (6, Agosto, 2002). Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 2002.

COLOMBIA. SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Decreto 2981 (20, diciembre, 2013). Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Capítulo VII: Transferencia. Bogotá D.C., 2013.

CRIOLLO GARCÍA, Roberto. Estudio del trabajo, Ingeniería de métodos y medición del trabajo. México: Editorial McGraw-Hill, 2005. 42-50 p. ISBN 970-10-4657-9.

DECRETO 2981 DE 2013: Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Capítulo I: Definiciones [en línea]. <<http://goo.gl/2l2AkZ>> [citado en 09 de febrero de 2016].

DIARIO DE YUCATÁN. En marcha plan piloto de recolección de basura en el Centro Histórico. [en línea]. <<http://goo.gl/V70DJd>> [citado en 09 de abril de 2016].

EMPRESA DE ASEO DE BUCARAMANGA, EMAB. [en línea]. <<http://goo.gl/WT6RQE>>; [citado en 14 de marzo de 2016].

GERDESSEN, J. Vehicle routing problem with trailers. Theory and Methodology. 29, European Journal of Operational Research, 135-147.. August 23, 1996, Wageningen, Netherlands.

HILLIER, F.; LIEBERMAN, G. Investigación de operaciones. México: McGraw – Hill, 2002. 10 p. ISBN: 970-10-3486-4.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. En: Urban Development Series Knowledge Papers [en línea]. No. 15 (2008). <<http://goo.gl/9sUAwo>> [citado en 02 de noviembre de 2015].

KANAWATY, George. Introducción al Estudio del Trabajo. Ginebra: Editorial Limusa S.A., 2002. 20 p. ISBN 92-2-307108-9.

MANYOMA, P. Análisis multicriterio de la valoración del ritmo en el estudio de tiempos. En: Work Organization and Human Resources Management, 2010 [en línea]. < <http://goo.gl/NSyAzv>> [Citado en 08 de febrero de 2016].

MES, M; SCHUTTEN, M; RIVERA, AP. Inventory routing for dynamic waste collection. Waste Management. 34, 1564-1576, Sept. 1, 2014. ISSN: 0956-053X.

MONTGOMERY, DC; RUNGER, GC. Probabilidad Y Estadística Aplicadas A La Ingeniería. Mexico : Editorial Limusa, 2009. 24 p. ISBN: 968-18-5915-4.

NAVIDI, WC. Estadística Para Ingenieros. Mexico: McGraw-Hill, 2006. 35 p. ISBN: 970-10-5629-9.

OGLIASTRI QUIJANO, A; MUNOZ VILLARREAL, SI. Modelo De Empresa Eficiente Para La Prestación Del Servicio De Aseo En El Área Metropolitana De Bucaramanga. Bucaramanga, 2005. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

ORTÍZ, Nestor. Técnicas básicas para el análisis y mejoramiento de la productividad en procesos de manufactura. En: Diagramas de Análisis de Procesos de Manufactura, 2014 [en línea]. <<http://goo.gl/DL7c5n>> [citado en 02 de noviembre de 2015].

RAMOS, TP; GOMES, MI; BARBOSA-PÓVOA, AP. Assessing and improving management practices when planning packaging waste collection systems. Resources, Conservation & Recycling. 85, 116-129, Apr. 1, 2014. ISSN: 0921-3449.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, RAE. Diccionario de la lengua española [en línea]. < <http://dle.rae.es/?id=PwJqAMq>> [citado en 09 de febrero de 2016].

RINCON PRADA, FE; MANTILLA CELIS, OL. Caracterización Y Diseños De Metodologías De Control Al Proceso De Acarreo De Estéril En La Empresa Carbones Del Cerrejón. Bucaramanga, 2013. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

SILVA FRANCO, Leonardo. El Enfoque de Procesos. En: Gestión de Procesos [en línea]. <<http://goo.gl/GoMf6L>> [citado en 02 de noviembre de 2015].

SIMEGE, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Caracterización de procesos. En: Guía Básica Para Documentar [en línea]. <<http://goo.gl/nRADzI>> [citado en 02 de noviembre de 2015].

SUPERIOR: Bolsas de aseo. Catálogo de especificaciones y datos del producto. [en línea]. <<http://goo.gl/6Cv3Hc>> [citado en 10 de abril de 2015].

VARGAS SAAVEDRA, AM; GUEVARA PARADA, JA; ARIAS OSORIO, JE. Diseño E Implementación De Rutas De Recolección De Residuos Hospitalarios Para La Empresa EDEPSA S.A.S. Bucaramanga, 2014. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.