	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 1 de 8</b>

**FECHA** viernes, 24 de julio de 2020

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
 BIBLIOTECA  
 Ciudad

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Sede Fusagasugá
<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
<b>FACULTAD</b>	Ingeniería
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Electrónica

El Autor (Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
Lizcano Guzmán	Gonzalo	1069761977
Torres Osuna	Omar Ricardo	1144089336

Director (Es) y/o Asesor (Es) del documento:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
Bello Rodríguez	Rubiela
Guerrero Guerrero	Andrés Felipe

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
[www.ucundinamarca.edu.co](http://www.ucundinamarca.edu.co) E-mail: [info@ucundinamarca.edu.co](mailto:info@ucundinamarca.edu.co)  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 2 de 8</b>

### TÍTULO DEL DOCUMENTO

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS APROVECHABLES EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA

### SUBTÍTULO

(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

### TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía  
Ingeniero Electrónico

### AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO

24/07/2020

### NÚMERO DE PÁGINAS

124

### DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
1. Caracterización	Characterization
2. Sistema	System
3. sensores	Sensors
4. Residuos sólidos	Solid waste
5. Energía eléctrica	Electric power
6. Clasificación	Classification



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 3 de 8</b>

## RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

### RESUMEN.

Las plazas de mercado por ser uno de los centros de acopio y venta de los productores agrícolas de Colombia, producen altos volúmenes de residuos sólidos. En estos lugares la mayoría de los residuos son de origen orgánico y no utilizan procesos de aprovechamiento. El municipio de Fusagasugá no está exento a que esto mismo ocurra, según el Plan de Gestión Integral de residuos Sólidos, existe un bajo porcentaje de aprovechamiento de residuos. Un proceso adecuado para la separación de los residuos en la plaza de mercado de Fusagasugá permitiría generar estrategias de aprovechamiento, lo que conlleva al desarrollo de proyectos con un enfoque a utilidad de dichos residuos.

Un ejemplo de proyecto de aprovechamiento de residuos es un prototipo de biodigestor para la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá. Este prototipo tiene como objetivo la obtención de la mayor cantidad posible de metano, generado por acción microbiana con los residuos sólidos orgánicos aprovechables. Tomando como referencia lo descrito, en este trabajo se diseñará una metodología para estructuración de la evaluación de residuos sólidos orgánicos aprovechables en la generación de energía eléctrica a partir de la biodigestión anaeróbica. El proceso necesario para alcanzar la meta de diseño se comprende en 3 aspectos importantes: protocolo de manejo de residuos sólidos, producción energética, y sistemas electrónicos de verificación del protocolo de manejo de residuos.

### ABSTRACT

The market squares, being one of the collections and sale centers for Colombian agricultural producers, produce high volumes of solid waste. In these places, most of the waste is of organic origin and does not use recycling processes. The municipality of Fusagasugá is not exempt from this happening, according to the Comprehensive Solid Waste Management Plan, there is a low percentage of waste use. An adequate process for the separation of waste in the market square of Fusagasugá would allow generating use strategies, which leads to the development of projects with a focus on the utility of such waste.

An example of a waste utilization project is a prototype biodigester for the market square in the municipality of Fusagasugá. The objective of this prototype is to obtain as much methane as possible, generated by microbial action with usable organic solid waste. Taking as reference what has been described, in this work a methodology will be designed for structuring the evaluation of usable organic solid waste in the generation of electrical energy from anaerobic biodigestion. The process necessary to achieve the design goal is comprised of 3 important aspects: solid waste management protocol, energy production, and electronic verification systems for the waste management protocol.



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 4 de 8</b>

### AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

<b>AUTORIZO (AUTORIZAMOS)</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 5 de 8</b>

autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

**Información Confidencial:**

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

**SI**  **NO** .

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

**LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Como titular(es) del derecho de autor, confiero (conferimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 6 de 8</b>

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) El (Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.
- e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”



i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



**Nota:**

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS APROVECHABLES EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA.PDF	PDF
2. CERTIFICADO DE PONENCIA.PDF	PDF
3. DIAGNÓSTICO DE LA PLAZA DE MERCADO	PDF
4. DISTRIBUCIÓN DE LOCALES PRIMER PISO.JPG	Imagen
5. DISTRIBUCIÓN DE LOCALES SEGUNDO PISO.JPG	Imagen
6. DOCUMENTO DE DEMANDA ENERGÉTICA.PDF	PDF
7. MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS (1).XLSX	Excel
8. MATRIZ EPP.XLSX	Excel



9. PROTOCOLO DE MANEJO DE RESIDUOS.PDF	PDF
10. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA DE CARACTERIZACIÓN.PDF	PDF
11. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA DE MÉTODOS DE DETECCIÓN.PDF	PDF
12. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL PROTOCOLO DE MANEJO DE RESIDUOS.PDF	PDF
13. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA EL PROCESO DE CAPACITACIONES.PDF	PDF
14. REVIEW ENTREGABLE .PDF	PDF

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

<b>APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>FIRMA (autógrafo)</b>
Lizcano Guzmán Gonzalo	
Torres Osuna Omar Ricardo	



**METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS  
APROVECHABLES EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR  
DE BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA**

**Gonzalo Lizcano Guzmán  
Ricardo Torres Osuna**

**Universidad de Cundinamarca**  
Ingeniería electrónica  
Facultad de ingeniería  
Fusagasugá, Colombia  
2020

**METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS  
APROVECHABLES EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR  
DE BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA.**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de ingeniero electrónico, auxiliares de investigación proyecto N.66161 Minciencias convocatoria 829

**Gonzalo Lizcano Guzmán  
Ricardo Torres Osuna**

Directores  
Rubiela Bello Rodríguez  
Andrés Felipe Guerrero Guerrero

Línea de investigación:  
Transformación de energías: Energías Alternativas  
Diseño e instrumentación y control

**Universidad de Cundinamarca**  
Ingeniería electrónica  
Facultad de ingeniería  
Fusagasugá, Colombia  
2020



# **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecerle este trabajo principalmente a Dios, a mi padre quién me acompañó siempre en este proceso, en cada escalón de mi educación, me brindó siempre su apoyo incondicional. Deseo también agradecerle a cada uno de mis hermanos, quienes me brindaron sus consejos, su ayuda y su tiempo para brindarme apoyo desde sus experiencias. Agradezco todo el apoyo que me brindó mi novia Melisa Hurtado durante todo este proceso, también un sincero agradecimiento a mi compañero de trabajo Ricardo Torres, Esteban de Jesús García Guzmán y Erick Mauricio Rodríguez Ávila. Agradezco enormemente a nuestro director de fase el Ingeniero Andrés Felipe Guerrero por todo el acompañamiento, el tiempo, la dedicación y asesoría durante toda la elaboración del proyecto, y a todos quienes sin su ayuda no hubiese podido hacer este trabajo.

***Gonzalo Lizcano Guzmán***

Hoy culminó una de las etapas de formación académica más importantes de las muchas que me esperan, el agradecimiento lo elevo al Todopoderoso por obsequiarme vida y poder haber vivido cada día lleno de aprendizaje, retos, desvelos, lecciones, momentos buenos y malos que enriquecieron mi ser.

Doy gracias a mi madre, el apoyo incondicional en cada proyecto, quien con amor y paciencia soportó mis días difíciles y a quien le debo el éxito de hoy proclamarme profesional, a mi hermana y sobrino que también hacen parte de este triunfo y quienes también dejaron huella en este proceso, agradezco el amor de mi familia el cual me motivaba cada día a continuar el camino. A mi novia quien día a día vivió conmigo esta aventura y con quien disfrutamos el compartir el amor por esta carrera. A mis amigos Juan Camilo Vásquez y Carlos David Sandoval, quienes conocí en este viaje que emprendí y con quienes viví esta aventura de subidas y bajadas que nos deja tantos momentos, anécdotas y aprendizaje, deseo para ellos tres un largo camino lleno de metas y sueños cumplidos porque esto hasta ahora empieza.

Agradezco a mis profesores quienes guiaron mi formación y dejaron en mi un aporte valioso en este proceso. Al Ingeniero Carlos Montufar por su guía durante todo mi pregrado, su visión y experiencia me ayudó a aterrizar mis ideas y mejorar mi perspectiva del camino laboral que emprenderé, también por enseñarme a sentir más amor y pasión por la ingeniería, al Ingeniero Andrés Felipe Guerrero por su gran acompañamiento en la etapa final de esta importante aventura, por pulir mi desarrollo y enfocar mi destreza y conocimientos. A los ingenieros Juan Carlos Tapias Duarte y Edwin Palacios Yepes, que estuvieron siempre dispuestos ayudarnos y brindarnos sus conocimientos para el desarrollo de este documento. A mis compañeros en este trabajo Gonzalo Lizcano, Esteban de Jesús García Guzmán y Erick Mauricio Rodríguez Ávila. A todos los que de alguna forma participaron durante este tiempo de este importante proyecto de vida. A todos y cada uno GRACIAS.

***Ricardo Osuna***



# Resumen

Las plazas de mercado por ser uno de los centros de acopio y venta de los productores agrícolas de Colombia, producen altos volúmenes de residuos sólidos. En estos lugares la mayoría de los residuos son de origen orgánico, lo que conlleva a su posible aprovechamiento, si se realiza un apropiado manejo y separación. Los anteriores procesos no se aplican en varios casos, lo que implica que el potencial de beneficio sea desaprovechado y los residuos generados sean llevados en su mayoría a rellenos sanitarios [1].

Así mismo en la ciudad de Fusagasugá converge una gran cantidad de alimentos orgánicos debido a su ubicación geográfica y a su cercanía con municipios dedicados a la agricultura. Por tal razón en la plaza de mercado se generan altas cantidades de residuos, lo que conlleva a la contaminación ambiental por el desconocimiento de una adecuada gestión de residuos. Lo anterior se presenta debido a que actualmente no se aplica un protocolo de manejo de residuos, haciendo evidente la contaminación visual por la acumulación en lugares indebidos, malos olores alrededor de la plaza, reproducción excesiva de animales infectocontagiosos y en menor grado, afección en la salud de vendedores [2].

Un proceso adecuado para la separación de los residuos en la plaza de mercado de Fusagasugá permitiría generar estrategias de aprovechamiento, lo que conlleva al desarrollo de proyectos con un enfoque a utilidad de dichos residuos.

Un ejemplo de proyecto de aprovechamiento de residuos es un prototipo de biodigestor para la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá. Este prototipo tiene como objetivo la obtención de la mayor cantidad posible de metano, generado por acción microbiana con los residuos sólidos orgánicos aprovechables [3]. A partir de la combustión del metano se genera energía eléctrica para los locales de la plaza. La presencia de los elementos inorgánicos en los residuos que se procesarían afectaría negativamente a los volúmenes requeridos de metano y por tal razón es necesario aplicar estrategias de separación.

Tomando como referencia lo descrito, en este trabajo se diseñará una metodología para estructuración de la evaluación de residuos sólidos orgánicos aprovechables en la generación de energía eléctrica a partir de la biodigestión anaeróbica. El proceso necesario para alcanzar la meta de diseño se comprende en 3 aspectos importantes: protocolo de manejo de residuos sólidos, producción energética, y sistemas electrónicos de verificación del protocolo de manejo de residuos.

# CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	4
Resumen .....	7
CONTENIDO .....	8
1. Capítulo 1. Contexto.....	16
2. Capítulo 2. Objetivos .....	17
2.1. OBJETIVO GENERAL: .....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:.....	17
3. Capítulo 3. Marco de referencia .....	18
3.1. Estado del arte .....	18
3.1.1. Área ambiental.....	18
3.1.2. Área Tecnológica.....	21
Revisión de patentes en el área tecnológica .....	25
3.2. Fundamentos teóricos.....	27
3.2.1. Temáticas Ambientales.....	27
3.2.2. Temáticas Estadísticas.....	32
3.2.3. Temáticas Mecánicas.....	33
3.2.4. Temáticas Electrónicas y de Programación.....	38
4. Capítulo 3. Metodología .....	41
5. Capítulo 4. Protocolo de manejo de residuos sólidos.....	42
5.1. Diagnóstico del manejo de residuos en la plaza de mercado. ....	42
5.1.1. Territorio: .....	42
5.1.2. Población y distribución: .....	43
5.1.3. Clasificación de los residuos sólidos.....	44
5.1.4. Métodos de recolección: .....	45
5.2. Fundamentos normativos de diseño para el protocolo.....	47
5.3. Diseño para el protocolo. ....	48
5.4. Capacitaciones a la comunidad de la plaza de mercado. ....	49
5.4.1. Conferencia para los comerciantes de la plaza de mercado .....	49



5.4.2. Desarrollo de charlas individuales a cada uno de los puestos comerciales .....	51
5.4.3. Elaboración de herramientas didácticas de información .....	52
5.4.4. Socialización en la emisora de la plaza de mercado .....	54
6. Capítulo 5. Producción energética .....	56
6.1. Demanda energética.....	56
6.1.1. Diagnóstico energético en los locales internos de la plaza de mercado de Fusagasugá.....	56
6.1.2. Definición de valores de demanda energética.....	58
6.1.3. Proyección de consumo de energía eléctrica.....	61
6.2. Caracterización de residuos sólidos.....	62
6.2.1. Diseño del método .....	62
6.2.2. Resultados de Caracterización.....	63
6.3. Índices de producción de biodigestores anaeróbicos.....	70
6.4. Relación de demanda y producción energética.....	72
7. Capítulo 6. Sistema electrónico de verificación del protocolo de manejo de residuos.....	74
7.1. Sistema de Recepción de Residuos.....	75
7.1.1. Sistema de distribución.....	76
7.1.2. Sistema de transporte.....	80
7.2. Sistema de detección de inorgánicos.....	91
7.2.1. Características y resultados de sensores aplicables.....	91
7.2.2. Resultados experimentales con sensores.....	94
7.3. Sistema de procesamiento de información.....	96
7.3.1. Plataformas o microcontroladores.....	96
7.3.2. Métodos de almacenamiento de información.....	99
7.3.3. Métodos de visualización de información.....	102
8. Capítulo 7. Plan de trabajo y Análisis de resultados .....	104
8.1. Plan de trabajo del proyecto.....	104
8.1.1. Objetivo específico No. 1.....	104
8.1.2. Objetivo específico No. 2.....	104

8.1.3. Objetivo específico No. 3. ....	105
8.2. Análisis de resultados. ....	107
8.2.1. Análisis de resultados del objetivo específico No. 1 ....	107
8.2.2. Análisis de resultados del objetivo específico No 2. ....	107
8.2.3. Análisis de resultados del objetivo específico No. 3 ....	108
8.2.4. Resultados Generales ....	108
9. Capítulo 8. Presupuesto .....	110
9.1. Fuente de financiación. ....	110
9.2. Gastos por rubro. ....	110
10. Conclusiones.....	113
10.1. Conclusiones del objetivo específico No 1.....	113
10.2. Conclusiones del objetivo específico No 2.....	113
10.3. Conclusiones del objetivo específico No 3.....	114
11. Referencias .....	115
ANEXOS .....	121
A.1. Planos del diagnóstico del manejo de residuos en la plaza de mercado de Fusagasugá. ....	121

# Índice de figuras

Figura 1: Diagrama de metodologías para la detección de elementos aprovechables en los residuos sólidos .....	22
Figura 2: Vista general del sistema [22]. .....	23
Figura 3: Sistema de la imagen hiperespectral [23]. .....	23
Figura 4: Generación de RSM en toneladas diarias y producción per cápita en América Latina [11]. .....	28
Figura 5: Proporciones de la generación de RSM en toneladas diarias de las diferentes ciudades en América Latina [11]. .....	29
Figura 6: Generación de R.S en las cuatro ciudades principales de Colombia [11]. .	30
Figura 7: Proporción de la generación de RS en las cuatro principales ciudades de Colombia [11]. .....	30
Figura 8: Composición física de los RS que se generan en Colombia [9]. .....	31
Figura 9: Tornillo sin fin. ....	33
Figura 10: Modelo circuital equivalente de un motor DC. ....	34
Figura 11: Banda transportadora. ....	35
Figura 12: Partes del rodillo [35]. ....	36
Figura 13: Tambor[35]. ....	37
Figura 14: Acoplamiento. ....	37
Figura 15: Comportamiento del cambo eléctrico del sensor capacitivo.[17]. ....	38
Figura 16: Comportamiento de la señal del sensor ante la presencia de un objeto.[17] .....	39
Figura 17: Sensores ópticos utilizados para la detección.[17]. ....	39
Figura 18: Metodología de desarrollo del proyecto. ....	41
Figura 19: Ubicación Plaza de mercado de Fusagasugá Fuente: Google Maps. ....	43
Figura 20: proporción porcentual de los locales de la plaza de mercado .....	44
Figura 21: Método utilizado por los locales de la plaza para depositar los residuos en los contenedores de recolección. ....	44
Figura 22: Inicio de recolección de residuos. ....	45
Figura 23: Cuarto de almacenamiento. ....	45
Figura 24: Operario realizando la recolección de residuos con el contenedor sucio. ....	46
Figura 25: Canecas llenas de residuos. ....	46
Figura 26: Lugar de recolección designado por la empresa prestadora de servicio de aseo. ....	47
Figura 27: Capacitación de la clasificación de los R.S por parte de los auxiliares de investigación. ....	50
Figura 28: Socialización del proyecto impartido por los docentes investigadores. ....	51
Figura 29: Capacitación impartida en cada local comercial de la plaza de mercado. ....	52

Figura 30: Cara frontal del primer folleto entregado a los comerciantes en cada una de las capacitaciones realizadas.....	53
Figura 31: Cara trasera del primer folleto entregado a los comerciantes en cada una de las capacitaciones realizadas.....	53
Figura 32: Folleto 1 utilizado para incentivar la participación de los comerciantes de la plaza de mercado.....	54
Figura 33: Folleto 2 utilizado para incentivar la participación de los comerciantes de la plaza de mercado.....	54
Figura 34: Difusión de las capacitaciones mediante la emisora de la plaza de mercado. ....	55
Figura 35: Encuestadores solicitando la información de consumo y factura de servicio de energía eléctrica.....	57
Figura 36: Muestra de los consumos de energía eléctrica de los últimos meses.....	57
Figura 37: Distribución del consumo energético de la Plaza de mercado de Fusagasugá.....	61
Figura 38: Cantidad y tipo de residuo por local, recolectado en el primer día de caracterización. ....	65
Figura 39: Operarios realizando el proceso de cuarteo a los residuos de los locales de la muestra.....	66
Figura 40: Operario realizando el proceso de separación de residuos. ....	66
Figura 41: Composición de los RS generados en la plaza de mercado de Fusagasugá.....	67
Figura 42: Operario marcando cada una de las canecas con su número de identificación.....	68
Figura 43: Descripción del sistema electrónico de verificación del protocolo de manejo de residuos. ....	75
Figura 44: CAD del tornillo sin fin de la banda. ....	76
Figura 45: CAD de la cubierta del tornillo sin fin.....	77
Figura 46: Esquema circuital para controlar el motor ubicado en el extremo del tornillo sin fin.....	79
Figura 47. Diagrama circuital del puente H BTS7960B [53]. ....	80
Figura 48: Sistema de distribución y transporte acoplados. ....	81
Figura 49: CAD de mesa de la banda transportadora. ....	82
Figura 50: CAD de rodillos de la banda.....	83
Figura 51: Parámetros del motor.....	85
Figura 52: Diagrama de bloques que simula el motor DC en simulink. ....	86
Figura 53: Valores establecidos dentro del bloque de la representación de estados para el motor DC.....	86
Figura 54: Valores de <b>K<sub>p</sub></b> , <b>K<sub>i</sub></b> y <b>K<sub>d</sub></b> calculados en el diseño del PID. ....	87

Figura 55: Respuesta del controlador con las constantes <b>Kp</b> , <b>Ki</b> y <b>Kd</b> que sugiere el tool PID Tuner con la línea en azul, y la señal interlineada con las constantes calculadas. ....	87
Figura 56: Diagrama de bloques del motor DC y el controlador PID.....	88
Figura 57: Respuesta de cada una de las etapas del sistema simulado.....	88
Figura 58: Código de Arduino con las variables proporcionadas por PID Tuner.....	89
Figura 59: Esquema circuital para el control PID del motor DC de la banda transportadora. ....	89
Figura 60: Respuesta del motor simulado en Proteus visualizado desde LabVIEW. ....	90
Figura 61: Resultados del sensor óptico dado en voltios con el sensor TCRT 5000.[6] .....	93
Figura 62: Base de sensores para medidas experimentales.....	94
Figura 63: Resultados medidos con sensor SHARP <i>GP2Y0A21YK</i> con materiales inorgánicos.....	95
Figura 64: Resultados medidos con sensor infrarrojo FC-51 con materiales inorgánicos.....	95
Figura 65: diagrama de conexiones de sistema propuesto para la detección de residuos inorgánicos. ....	98
Figura 66: Estructura de la información en la base de datos para los índices de detección.....	100
Figura 67: Diagrama de flujo de programa de ESP32 para el sistema de verificación del protocolo.....	101
Figura 68: plataforma Highcharts que permite la visualización de información.....	103
Figura 69: Resultado de visualización de información en la base de datos de 000Webhost mediante un programa en PHP y la librería de Highcharts. ....	103

# Índice de tablas

Tabla 1: Normativas o reglamentos de caracterización de residuos [10].	19
Tabla 2: Investigaciones realizadas para los procesos de caracterización de residuos. [10]	20
Tabla 3: Relación de patentes y detalles para el área tecnológica.	26
Tabla 4: Clasificación y ejemplos de los residuos no sólidos no peligrosos [6]	27
Tabla 5: Lista de clasificación de locales de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá.	43
Tabla 6: Normativas y resoluciones colombianas en el marco de la gestión y manejo integral de los residuos sólidos.	48
Tabla 7: Distribución de casos para la información de consumo energético de los locales.	58
Tabla 8: Consumo eléctrico mensual (kWh/mes) de las áreas comunes de la plaza de mercado de Fusagasugá.	59
Tabla 9: Consumo Mensual (kWh/mes) de locales comerciales de la plaza de mercado de Fusagasugá, de julio a diciembre 2019.	60
Tabla 10: Datos de máximo consumo eléctrico.	61
Tabla 11: Tipo y número de local, seleccionado para la muestra.	63
Tabla 12: Nombres de cada uno de los integrantes del grupo técnico con su respectivo Rol de trabajo.	64
Tabla 13: Nomenclatura utilizada para la etiqueta de las bolsas.	64
Tabla 14: Datos de bolsas de los locales en proporción por tipo de residuo.	67
Tabla 15: Peso total de los residuos durante cada día de una semana.	69
Tabla 16: Valores de densidades diarias de los residuos generados en la plaza de mercado de Fusagasugá.	69
Tabla 17. Emisiones de gases por la quema de diferentes combustibles.	70
Tabla 18. Producción de biogás de las diferentes materias primas	71
Tabla 19. Producción de energía por $m^3$ de biogas.	71
Tabla 20. Producción de biogás obtenido con el proceso de digestión anaeróbica. [48]	71
Tabla 21. Parámetros técnicos del biodigestor.	72
Tabla 22. Capacidad máxima de alimentación diaria en el biodigestor.	72
Tabla 23. Comparativa de producción energética en el mes y satisfacción de la demanda energética de la plaza de mercado.	73
Tabla 24: Diámetros y áreas de roscas métricas.	77
Tabla 25: Ficha técnica del motor para el tornillo sin fin.	79
Tabla 26: Diámetros y áreas de roscas métricas.	81
Tabla 27: Medidas estandarizadas de los rodillos.	83

Tabla 28: Medida establecida en la Norma HD 231 para el tamaño teniendo en cuenta la relación de potencia y tamaño. ....	84
Tabla 29: Lista y características de posibles sensores a utilizar en el sistema .....	91
Tabla 30: Resultados de detección de sensores capacitivo (CR30-15DP) e inductivo (PR30-15DP) con un resultado fijo de sensibilidad. [4] (Señales digitales) .....	92
Tabla 31: Promedio de voltaje de los materiales medidos con un sensor capacitivo.[33] .....	92
Tabla 32: Medidas de frecuencia del sensor según los materiales medidos con un sensor capacitivo. [33].....	93
Tabla 33: Características y especificaciones de los microcontroladores aplicables para el prototipo. ....	96
Tabla 34: Distribución de conexiones del ESP32 con los sensores y demás sistemas del método de verificación del protocolo de manejo de residuos. ....	97
Tabla 35: Características y especificaciones de los sistemas de almacenamiento aplicables para el prototipo.....	99
Tabla 36: Características y especificaciones de los sistemas de visualización aplicables para el prototipo.....	102
Tabla 37. Plan de trabajo establecido en semanas.....	106
Tabla 38: Rubros del proyecto financiados por Colciencias.....	110
Tabla 39: Elementos para el rubro de Materiales e Insumos. ....	111
<b>Tabla 40: Gastos totales presentado por rubros.....</b>	<b>112</b>

# 1. Capítulo 1. Contexto

---

En Colombia se generan anualmente alrededor de 11,6 toneladas de residuos sólidos [4] de los cuales más del 50% son residuos sólidos orgánicos que podrían ser aprovechados por el ser humano, contribuyendo a la vez con la reducción de su huella en el planeta [5]. Esta gran posibilidad no se aprovecha, ocasionando que el material termine en rellenos sanitarios, haciendo que estos depósitos alcancen rápidamente su máxima capacidad.

El municipio de Fusagasugá no está exento a que ocurra lo mismo que en el resto del país. Según el Plan de Gestión Integral de residuos Sólidos, existe un bajo porcentaje de aprovechamiento de residuos, y más aún en la plaza de mercado del lugar. Considerando el desaprovechamiento de estos recursos y al existir pocos proyectos que atiendan la problemática, la Universidad de Cundinamarca como ejecutor en convenio con la Universidad Distrital Francisco José de Caldas han propuesto una solución desde la Ingeniería. El proyecto financiado por Minciencias (antes Colciencias) busca un beneficio ambiental y social para la Plaza de mercado de Fusagasugá.

El proyecto propone diseño, desarrollo e implementación de un modelo a escala de biodigestor, para generación de energía limpia gracias al aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos (R.S.O) que se generan en la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá. El prototipo se desarrollará en cuatro fases: la fase inicial consiste en realizar un diagnóstico y evaluación de la plaza de. Esta fase permitirá cuantificar la cantidad y volumen de R.S.O. generados semanalmente y determinar la demanda energética desagregada del comercio existente en la plaza. La segunda fase consiste en establecer la composición del sustrato orgánico y la fuente de inóculo adecuada que serán empleados en proceso de digestión anaeróbica (DA). La tercera fase consiste en crear un biodigestor continuo a escala con sus respectivos módulos de instrumentación y control de variables relacionadas con el proceso de DA. Finalmente, la cuarta fase contempla el desarrollo de un sistema de generación y distribución de energía eléctrica a partir del biogás generado en el proceso de DA.

La metodología para estructuración de la evaluación de residuos sólidos aprovechables en la generación de energía eléctrica a partir de la biodigestión anaeróbica es un proyecto anexo al descrito anteriormente. Para desarrollar esta metodología es necesario establecer y conocer parámetros como protocolo de manejo de residuos sólidos, producción energética, y sistemas electrónicos de verificación del protocolo de manejo de residuos. Los tres ítems descritos tienen como función cumplir respectivamente lo siguiente: reducir la cantidad de residuos inorgánicos que llegan al biodigestor, establecer los parámetros primarios de diseño en cuanto a tamaño, velocidad de procesamiento de información y tiempo de trabajo; por último, busca relacionar, en porcentajes, la producción de energía eléctrica del prototipo de biodigestor con las necesidades energéticas de los locales de la plaza de mercado.



## **2. Capítulo 2. Objetivos**

---

### **2.1. OBJETIVO GENERAL:**

Proponer una metodología para estructuración de la evaluación de residuos sólidos orgánicos aprovechables en la generación de energía eléctrica a partir de biodigestión anaeróbica en la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

1. Desarrollar un protocolo de manejo de residuos sólidos de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá con el fin de clasificar los residuos aprovechables en la generación de energía eléctrica.
2. Determinar cantidad y volumen de residuos sólidos orgánicos aprovechables generados diariamente en la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá con el fin de estimar la producción energética de un biodigestor anaeróbico.
3. Diseñar un sistema electrónico de identificación de materiales con el propósito de verificar el cumplimiento del protocolo de manejo de residuos sólidos.

## **3. Capítulo 3. Marco de referencia**

---

### **3.1. Estado del arte**

En el ámbito académico e investigativo se han desarrollado diferentes propuestas o proyectos para satisfacer necesidades similares a las que propone solucionar el método de discriminación de residuos sólidos aprovechables que se propone en este documento. En este caso se involucrarán estrategias y metodologías de dos áreas específicas, que son: ambiental y tecnológica. Por tal razón esta sección se dividirá en componentes por área, para ser más preciso en el proceso de recopilación de resultados de investigaciones, trabajos o proyectos y así lograr un fundamento adecuado para el desarrollo de la metodología.

#### **3.1.1. Área ambiental.**

Desde hace mucho tiempo, el ambiente, la economía y la sociedad se ven afectados en gran medida, por la inadecuada gestión de residuos que se generan diariamente. Grandes productores de residuos son las plazas de mercados, estos lugares muy comúnmente no cuentan con un adecuado manejo de residuos sólidos, que en su mayoría son de origen orgánico. Por esta razón, los residuos de las plazas de mercado son llevados casi en su totalidad a los rellenos sanitarios, sin tener en cuenta que con ellos es posible realizar procesos de aprovechamiento.[1]

Ariza [6], propone que las principales causas del mal manejo de residuos son: la velocidad de crecimiento demográfico, la concentración poblacional en áreas urbanas, la compra de productos de corta vida útil y la no utilización de envases reutilizables o biodegradables. Esta propuesta también fue validada por Carmona et al [7], mediante sus estudios con la comunidad.

Una gran idea para mejorar el panorama ambiental de la situación actual, en las plazas de mercado es adoptar políticas de adecuada gestión integral de residuos. Así como lo demuestran Rojas y Bogantes [8], la Gestión Integral de Residuos pretende recuperar el valor del material, evitando un inadecuado manejo que impacte negativamente el ecosistema. Según Villalva y Linares [9], la aplicación de un adecuado plan de gestión de residuos permitiría disminuir en un 80% la cantidad de residuos dispuestos para rellenos sanitarios.

Es importante resaltar que los beneficios que traería un plan de manejo de residuos sólidos solo pueden ser alcanzados si se efectúa un estudio primario en los lugares donde se implementarán. Estos estudios deben cumplir con normativas o metodologías que ya están establecidas, como las que destacan Runfola y Gallardo [10], y se muestran en la Tabla 1 y en la Tabla 2.

**Tabla 1:** Normativas o reglamentos de caracterización de residuos [10].

<b>Nombre de la Norma o reglamento</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Características Importantes</b>
<b>Reglamento de la Comunidad Europea. N°2150/2002 [11]</b>	Establecer la normativa para la producción de estadísticas sobre la generación, recuperación y eliminación de residuos.	Esta norma solo se centra en la recopilación de información para EUROSTAT, para documentarla.
<b>Norma ASTM D 5231-92 (American Society for Testing and Materials) [12]</b>	Determinar la Composición de Residuos Sólidos Municipales sin Procesar.	Define el método para determinar la composición media de los residuos sólidos urbanos, gracias a la recolección y clasificación de un número fijo de muestras por un periodo de una semana.
<b>Normas Oficiales Mexicanas.</b> 1. <b>NOM-AA-15-1985 (SECOFI 1985)</b> 2. <b>NOM-AA- 19-1985 (SECOFI 1985)</b> 3. <b>NOM-AA-61-1985 (SECOFI 1985)</b> 4. <b>NOM – AA- 22-1985 (SECOFI 1985)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Toma y procesamiento de muestras.</li> <li>2. Toma y procesamiento de muestras.</li> <li>3. Para determinar la generación de residuos.</li> <li>4. La clasificación de subproductos de Residuos Sólidos Urbanos.</li> </ol>	Estas normas se orientan en la toma de muestras desde fuentes directas, residencial y fuera de las residencias.
<b>Norma Española UNE-EN-14899-2007 [13]</b>	Definir la caracterización y toma de muestras de residuos, esquema para la preparación y aplicación de un plan de muestreo.	Resalta la importancia de los ensayos de caracterización para la toma de decisiones en la gestión de los residuos.

**Tabla 2:** Investigaciones realizadas para los procesos de caracterización de residuos. [10]

<b>Investigador o Entidad</b>	<b>Características de la Investigación</b>
<b>Moller Andersen et al. [14]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se centra en determinar los porcentajes de los tipos de materiales en los residuos sólidos generados, mediante el método de caracterización de balance de masas.</li> <li>• Debido a consideraciones y limitaciones teóricas de los datos con los que trabajan los autores, se restringen parámetros de la ecuación que define el flujo de los residuos.</li> </ul>
<b><u>Beigl et al. [15]</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantea que en este tipo de estudios debe existir un equilibrio entre el aporte de información y los costos de aplicación de la caracterización en la fuente de residuos que será investigada.</li> </ul>
<b><i>Organización Panamericana de la Salud, OPS, a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, CEPIS [16]</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propone que, para el mejoramiento de los sistemas de gestión de residuos es necesario conocer las características relacionadas con la generación, composición, y la densidad.</li> <li>• Para realizar la selección de la muestra, la caracterización de residuos y validación de datos es muy importante determinar una muestra representativa en la población.</li> </ul>
<b><i>United States Environmental Protection Agency, USEPA [17]</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza enfoques metodológicos como: la del flujo de material y los estudios específicos de caracterización en el sitio.</li> <li>• A nivel nacional utiliza la metodología del flujo de material, proceso que se soporta en el balance de masas.</li> <li>• Para determinar la tasa de residuos reciclados se realiza un recuento de material reciclable recolectado.</li> <li>• Complementa la información del estudio con caracterizaciones en comunidades locales, donde determina el peso y componentes de las muestras que se seleccionen.</li> </ul>

Otros procesos que se han aplicado bajo alguna otra norma o las contempladas anteriormente, tienen algunas recomendaciones o procesos importantes que mejoran los resultados de la caracterización de los residuos. Por ejemplo, el realizado por Carmona et al [7], establece que es de vital importancia realizar un estudio de caracterización antes y después de implementar la metodología de manejo de residuos sólidos. Mogollón [18], agrega que en el proceso de caracterización de residuos sólidos es de vital importancia una revisión literaria acompañada de un estudio de campo, para aplicar y diseñar el mejor método para cada caso en específico.

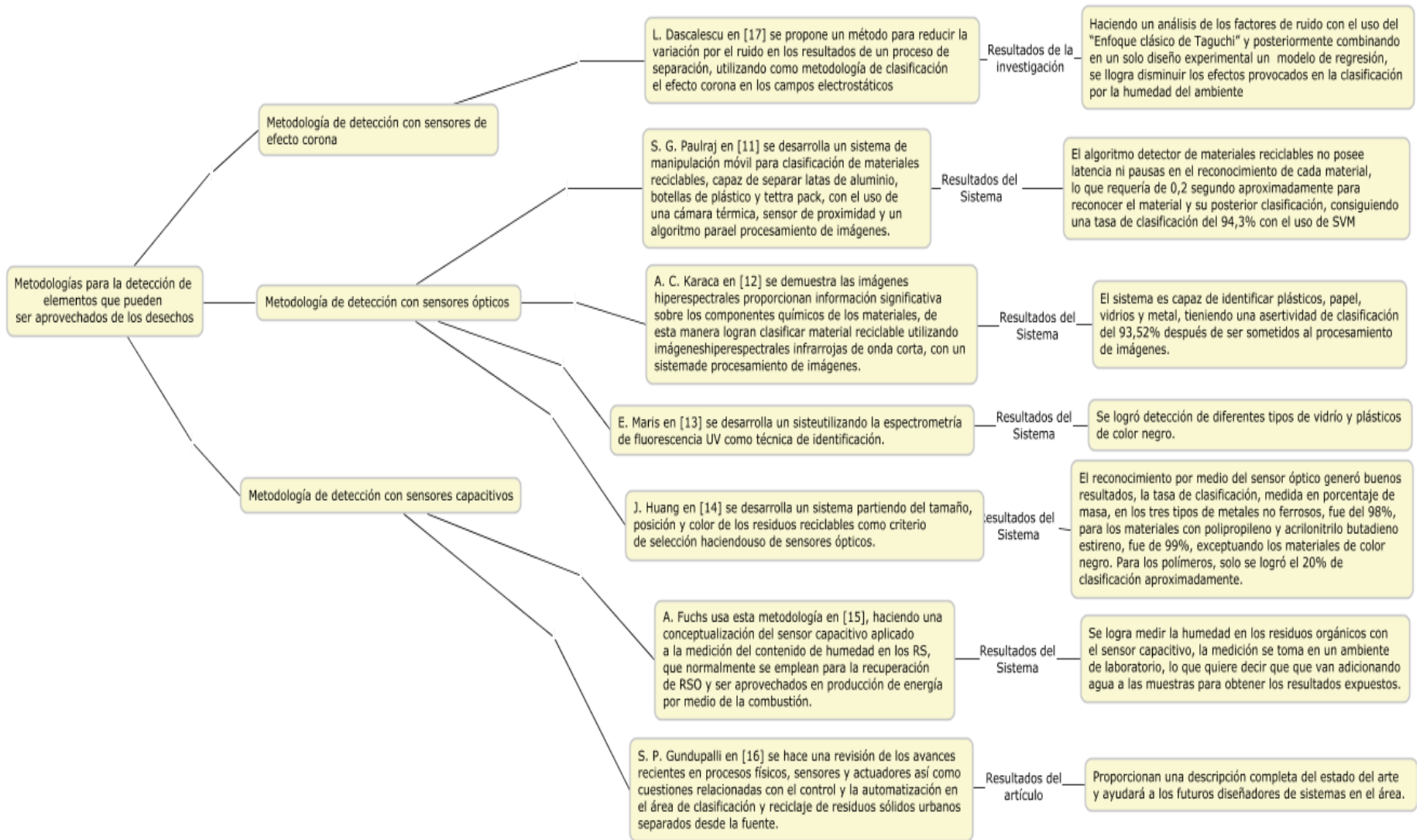
Una anotación importante es la de Murillo et al [19], en la que toma en cuenta en la muestra de la población, un 25% más de lo necesario con el fin de cubrir algún tipo de pérdida en las muestras de residuos que se tomarán para su estudio y caracterización. Por su parte, Pacheco [20] se enfoca en cumplir adecuadamente el proceso de cuarteo para la caracterización de residuos con el apoyo de la Guía de caracterización de residuos sólidos domiciliarios. Un aporte adicional de Pacheco [20] para el diseño de una metodología de manejo de residuos, es el árbol de problemas y el árbol de soluciones.

Por último, luego de tener un plan de gestión de residuos sólidos, Herrera [21], considera la participación, sensibilización y la puesta en marcha de campañas de educación ambiental de la comunidad, para así estar constantemente en la búsqueda de mejoras del proceso que está definido.

### **3.1.2. Área Tecnológica.**

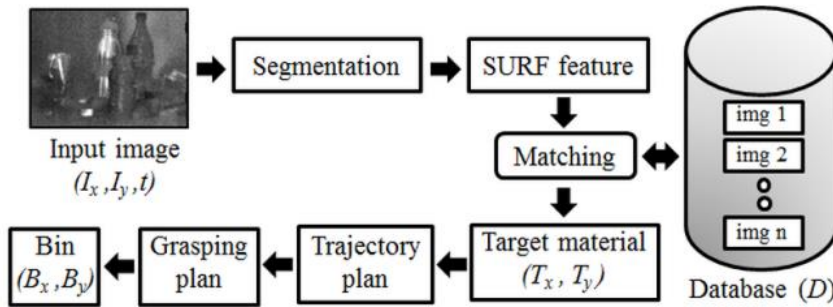
En la gestión de residuos sólidos se han desarrollado investigaciones para la creación de tecnologías con el fin facilitar los procesos de clasificación de materiales reciclables. Diferentes autores han desarrollado métodos para detección de elementos aprovechables entre los residuos sólidos. Los aportes se pueden clasificar en metodologías con uso de sensores ópticos y procesamiento de imágenes, aplicación de sensores capacitivos para la detección de materia orgánica en los residuos y aunque no es común, con el uso del efecto corona en los campos electrostáticos, todos enfocados en la clasificación de materiales aprovechables en los residuos. En la Figura 1 se muestra la clasificación de las metodologías.

Hasta hoy día, muchas de las tareas de recuperación de materiales reciclables se hacen de manera manual por recicladores, resultando peligroso para la salud debido a la manipulación de todo tipo de materiales. S. G. Paulraj, S. Hait, y A. Thakur proponen en [22] el desarrollo de un sistema de manipulación móvil para la clasificación automatizada de materiales reciclables con el uso de una cámara térmica, un sensor de proximidad y un brazo robot sobre una plataforma con movilidad.



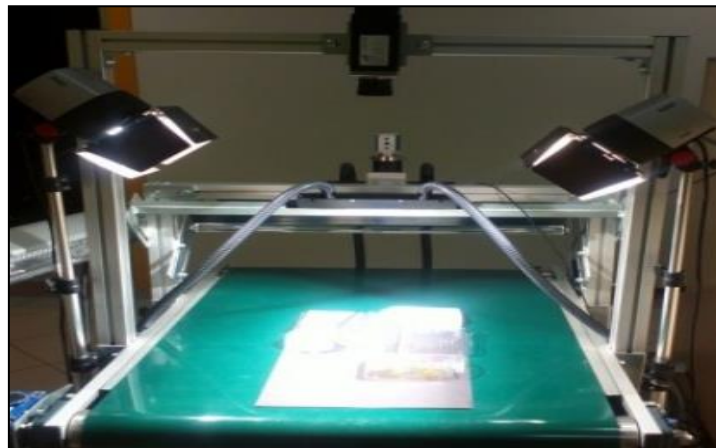
**Figura 1:** Diagrama de metodologías para la detección de elementos aprovechables en los residuos sólidos

A su vez, la metodología que se usa en la investigación de este artículo implica dos factores importantes para el desarrollo, que son el conocimiento acerca del manejo y recolección de residuos realizada por robots y acerca de los robots utilizados para la clasificación de residuos reciclables. Lo anterior, se debe a que el documento se centra en robots autónomos que serán capaces de realizar la detección y clasificación de los elementos reciclables [22]. En la Figura 2 se observa la metodología completa aplicada en el sistema.



**Figura 2:** Vista general del sistema [22].

En [23] A. C. Karaca, A. Ertürk, M. K. Güllü, M. Elmas, y S. Ertürk demuestran que las imágenes hiperespectrales proporcionan información significativa sobre los componentes químicos de los materiales, de esta manera, posee una mayor capacidad de clasificación y reconocimiento, esto por la información espectral que contiene la imagen. Cada material que suele encontrarse en los residuos posee una información espectral que se puede medir ya que se pueden diferenciar de los demás tipos de residuos, como el papel, cartón, vidrio, plástico y metal, esto con el fin de identificarlo y posteriormente clasificarlo, gracias a sus propiedades químicas. En este artículo se clasifican con precisión varias muestras de material para reciclaje, utilizando imágenes hiperespectrales infrarrojas de onda corta, y los algoritmos desarrollados para tal fin. En la Figura 3 se muestra el sistema de imagen hiperespectral empleado en la investigación.



**Figura 3:** Sistema de la imagen hiperespectral [23].

E. Maris, A. Aoussat, E. Naffrechoux, y D. Froelich indican en [24], que los procesos de clasificación automatizados que hacen uso de espectroscopia de infrarrojo cercano se limitan a materiales de color oscuro. Una solución consistió en agregar trazadores a los materiales para permitir la identificación y clasificación rápida de productos, utilizando la espectrometría de fluorescencia UV como técnica de identificación. La optimización del sistema se basa en varios criterios: la confiabilidad y la velocidad de detección de trazadores de fluorescencia UV añadidos a una matriz de polímeros con carbón negro, la relevancia del impacto ambiental de los trazadores y la preservación de las propiedades mecánicas del polímero con los trazadores añadidos.

Por otra parte, en la identificación y clasificación de los materiales aprovechables dentro de los residuos mediante sensores ópticos, se encuentran J. Huang, T. Pretz, y Z. Bian en [25]. Haciendo uso de los tamaños, posiciones, colores y formas de los residuos, se determinan como criterios para la clasificación. La parte mecánica consiste en una especie de boquilla de aire comprimido, que es controlada por medio de un computador, logrando que los residuos identificados por el sensor sean expulsados de los demás desechos que iban en la cinta de la banda transportadora. El reconocimiento por medio del sensor óptico generó buenos resultados, la tasa de clasificación, medida en porcentaje de masa, en los tres tipos de metales no ferrosos, fue del 98%, para los materiales con polipropileno y acrilonitrilo butadieno estireno, fue de 99%, exceptuando los materiales de color negro. Para los polímeros, solo se logró el 20% de clasificación aproximadamente. La investigación proporciona un enfoque innovador para el reconocimiento en múltiples campos de aplicación, con el uso de tecnología óptica para la clasificación [25].

Así mismo, A. Fuchs, H. Zangl, G. Holler, y G. Brasseur presentan en [26], una conceptualización del sensor capacitivo aplicado a la medición del contenido de humedad en los RS, que normalmente se emplean para la recuperación de RSO y ser aprovechados en producción de energía por medio de la combustión. El principio de comportamiento del sensor se basa en la medición IQ de dos canales de impedancia en el tiempo complejo en los residuos sólidos. El diseño de la parte frontal del sensor permite una determinación robusta de contenido de humedad, sin necesidad de un contacto físico. En este artículo proporcionan un análisis detallado del rendimiento del sensor, incluyendo su estimación de sensibilidad con contaminación salina y componentes metálicos en los desechos. La experimentación se realiza en condiciones de laboratorio, lo que quiere decir que se irán proporcionando las condiciones de humedad progresivamente para obtener los resultados de la medición [26].



En [27] S. P. Gundupalli, S. Hait, y A. Thakur hacen una revisión de los avances recientes en procesos físicos, sensores y actuadores utilizados, así como cuestiones relacionadas con el control y la automatización en el área de clasificación y reciclaje de residuos sólidos urbanos separados desde la fuente. Los escritores del artículo proporcionan una descripción completa del estado del arte y ayudará a los futuros diseñadores de sistemas en el área. En este documento, también presentan desafíos de investigación en el campo de la clasificación y el reciclaje automatizados de residuos.

Finalmente, L. Dascalescu propone en [28] una metodología de identificación de materiales aprovechables dentro de los residuos en un artículo que tiene como objetivo reducir la variación por el ruido (humedad ambiental) en los resultados de un proceso de separación, en máquinas que hacen uso del sensor de efecto corona en los campos electrostáticos, aplicables al reciclaje de residuos sólidos, mediante una búsqueda de condiciones de operación (Alto nivel de voltaje, velocidad del rodillo y posición del divisor) donde resulta incontrolable en la variación de los factores de ruido, como lo son la humedad y los metales contenidos dentro en los alimentos. El material sintético procesado es tomado de separar de los desechos de alambre para cercas eléctricas, y es picado en tamaño de milímetros, posteriormente se usa el análisis de los factores de ruido con el uso del “Enfoque clásico de Taguchi”, donde posteriormente se combinan en un solo diseño experimental para ajustar un modelo de regresión dentro del proceso, esto con el fin de determinar el efecto de la humedad del ambiente en el funcionamiento de las máquinas clasificadoras de residuos que usen el efecto corona en su operación [28].

## **Revisión de patentes en el área tecnológica**

Luego de especificar algunas de los proyectos e investigaciones que se han desarrollado del área tecnológica, como se describió anteriormente, es posible analizar y especificar algunas de las patentes que existen alrededor de sistemas de detección de materiales inorgánicos. Dichas patentes se relacionan en la Tabla 3.

La búsqueda de fuentes de información tecnológica, como lo son las patentes, permite adquirir una perspectiva de proyectos con aplicabilidad comercial y técnica para el diseño de nuevos prototipos o sistemas. Un ejemplo de un sistema que requiere este tipo de búsqueda es el requerido para el cumplimiento del tercer objetivo específico del proyecto que se relaciona en este documento.

**Tabla 3:** Relación de patentes y detalles para el área tecnológica.

<b>Nombre de la patente</b>	<b>Institución de patente</b>	<b>Referencia de patente</b>	<b>Detalles de patente</b>
Method and apparatus for discriminating component of plastic material.	European Patent register	JP2008026211A	Proporcionar un método de identificación de objetivo de un material plástico, sin importar que sea muy pequeño su tamaño. Dicho proceso se realiza mediante la irradiación de rayos infrarrojos y la medición de los que son reflejados por el material. [29]
Sistema de monitoreo para la detección de elementos ferromagnéticos en la carga de mineral.	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual	WO 2016/008059 A1	Un sistema de detección de material ferromagnético dentro de una carga o descarga de mineral en un contenedor. Este sistema utiliza se conforma por lo menos un sensor de campo magnético que detecta las perturbaciones del campo magnético, un computador que recopila y procesa las mediciones y un canal de comunicación (cableado o inalámbrico). [30]
Procedimiento y dispositivo para separar un material orgánico de un material inorgánico.	OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS	2 364 879	El dispositivo propuesto mediante el uso de un lecho turbulento separa el material inorgánico y el material orgánico. Este proceso se realiza gracias al movimiento de granos de arena mezclados. [31]
Systems and methods for separating materials for single stream recycling.	United States Patent Application Publication	US 2014O131488A1	El sistema automatizado de reciclaje de flujo de material recupera materiales como papel, vidrio, plásticos, ferrosos mediante la utilización de uno o más clasificadores ópticos. Lo propuesto por la patente permite reducir los costos de mano de obra y aumentar la calidad del material clasificado. [32]
Mechanized separation of mixed solid waste and recovery of recyclable products.	United States Patent	USOO8322639B2	El sistema puede manejar grandes volúmenes de residuos mezclados y extraer eficientemente los materiales reciclables de estos mediante la implementación de clasificadores ópticos, clasificadores de corrientes parásitas, y clasificadores dimensionales. [33]

## 3.2. Fundamentos teóricos

En esta sección de fundamentos teóricos se describirán las temáticas importantes para el sistema de clasificación en aspectos ambientales, estadísticos, eléctricos, mecánicos, electrónicos y de programación. Estos se describen a continuación:

### 3.2.1. Temáticas Ambientales.

#### 3.2.1.1. Residuos sólidos.

Está constituido por material o elemento sólido, que son producto de un proceso de consumo en las diferentes actividades domésticas, comerciales, industriales o institucionales que es dispuesto al prestador de servicio de aseo municipal. Los residuos sólidos no peligrosos se clasifican según la resolución 2184 de 2019 y se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Clasificación y ejemplos de los residuos no sólidos no peligrosos [6]

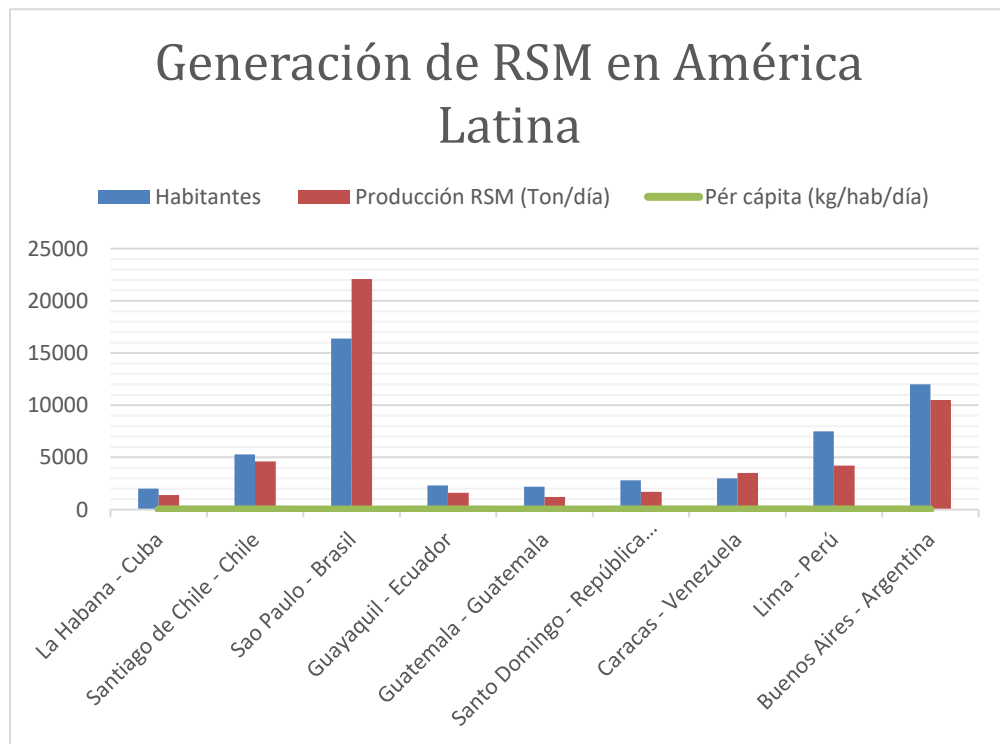
Tipo de residuo	Clasificación	Color de caneca asignado	Ejemplos
Residuos no peligrosos	Aprovechable	Blanco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartón y papel (hojas, plegadiza, periódico, carpetas).</li> <li>• Vidrio (botellas, recipientes)</li> <li>• Plásticos (bolsas, garrafas, envases, tapas)</li> <li>• Madera (aserrín, palos, cajas, guacales, estibas)</li> <li>• Cuero (ropa, accesorios)</li> <li>• Empaques compuestos (cajas de leche, cajas de jugo, cajas de licores, vasos y contenedores desechables)</li> </ul>
	No aprovechable	Negro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Papel tissue (papel higiénico, paños húmedos, toallas de mano, toallas sanitarias, protectores diarios)</li> <li>• Papeles encerados, plastificados, metalizados.</li> <li>• Cerámicas</li> <li>• Vidrio plano</li> <li>• Huesos</li> <li>• Material de barrido</li> <li>• Colillas de cigarrillo</li> <li>• Materiales de empaque y embalaje sucios.</li> </ul>
	Orgánicos aprovechables	Verde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos de comida</li> <li>• Cortes y podas de materiales vegetal</li> <li>• Hojarasca</li> </ul>

**Fuente:** Modificada de la Norma técnica colombiana GTC 24.

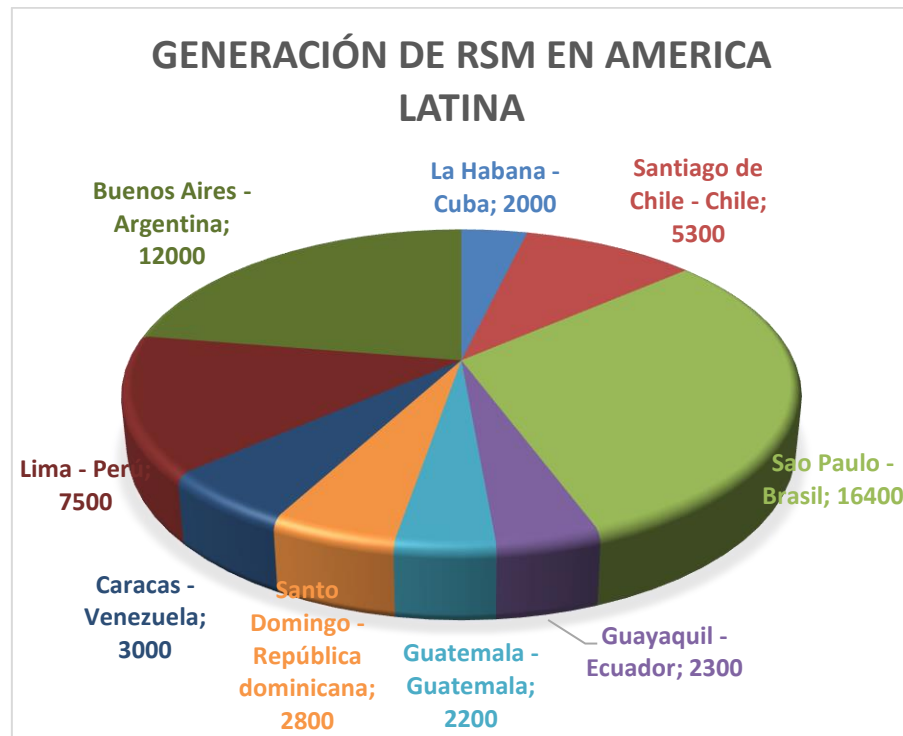
### 3.2.1.2. Generación de Residuos Sólidos a nivel internacional.

La generación de residuos no es constante y varía considerablemente de un país a otro, esto debido a sus culturas de consumo y las políticas de aprovechamiento que aplica cada uno de los gobiernos [34]. En algunos países como Islandia, generan 685 kg de residuos sólidos por habitante en un año, en países como Uzbekistán generan 105 kg por habitante en un año, lo anterior representa un 14% de la cantidad de residuos sólidos generados en Europa [35].

En América Latina existen ciudades con una generación de residuos por encima de las 20.000 toneladas diarias, como es el caso de Sao Paulo[34], en Brasil. En la Figura 4 y Figura 5, se presenta la generación y su proporción, de residuos en las diferentes ciudades de América Latina.



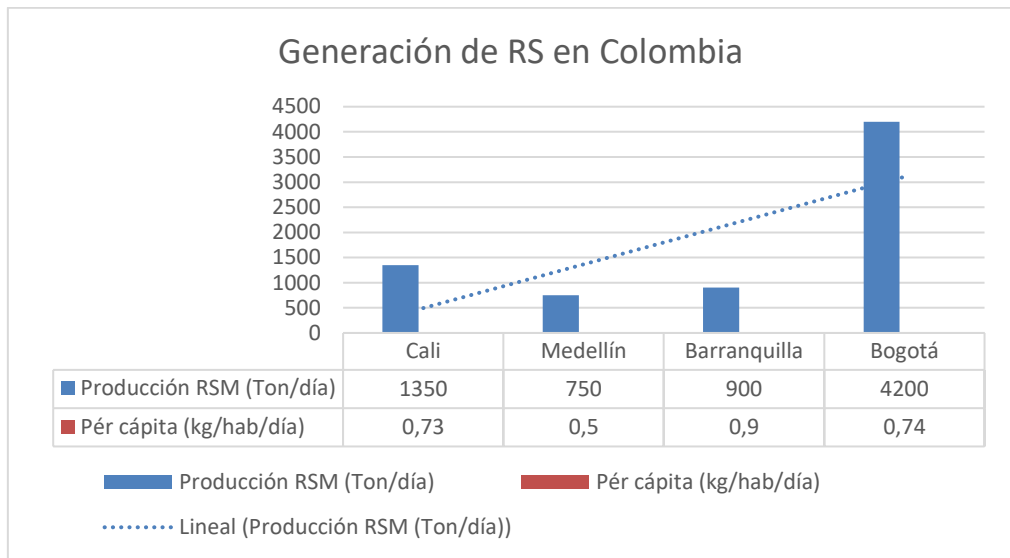
**Figura 4:** Generación de RSM en toneladas diarias y producción per cápita en América Latina [11].



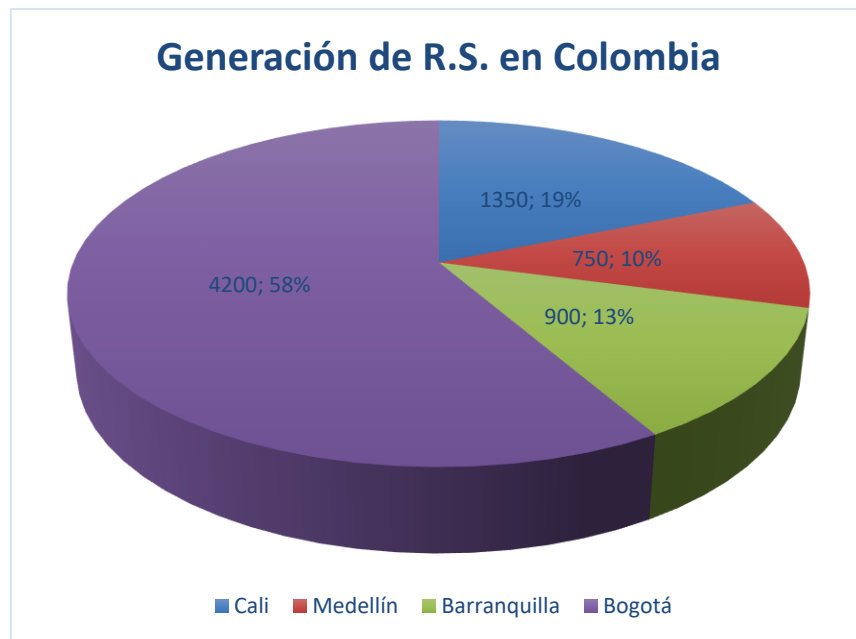
**Figura 5:** Proporciones de la generación de RSM en toneladas diarias de las diferentes ciudades en América Latina [11].

#### 3.2.1.3. Generación de Residuos Sólidos en Colombia.

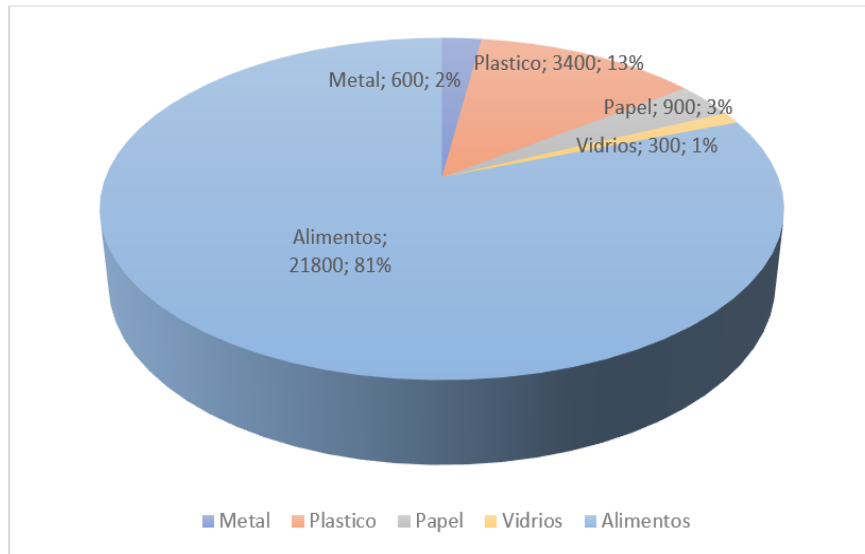
De acuerdo con el estudio realizado en [34], en el país se están generando 27.500 toneladas diarias de residuos sólidos, y su composición en un 65% aproximadamente está constituida de R.S.O.. Sin embargo, en otros estudios se muestra que la cantidad de materia orgánica puede alcanzar el 81 % de los residuos sólidos municipales. En la Figura 6 y Figura 7 se muestra la generación de las cuatro ciudades principales del país, y en la Figura 8 su composición física.



**Figura 6:** Generación de R.S en las cuatro ciudades principales de Colombia [11].



**Figura 7:** Proporción de la generación de RS en las cuatro principales ciudades de Colombia [11].



**Figura 8:** Composición física de los RS que se generan en Colombia [9].

#### 3.2.1.4. Aprovechamiento de los RS en Colombia.

- **Bogotá:**

En Bogotá se encuentra ubicado uno de los centros de comercio agrícola más grandes de Colombia, Corabastos. En búsqueda del aprovechamiento de los residuos sólidos que se generan en este establecimiento, se han llevado a cabo varios proyectos, entre ellos uno adelantado por el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de los Andes [36]. En este proyecto se realiza todo un estudio detallado para el diagnóstico de la central, permitiendo tener una visión completa de la generación de R.S que se producen diariamente.

Con este estudio se pretende dar solución al mal manejo de los residuos, evitar los problemas ambientales y de salud pública que genera el incorrecto manejo de estos, además de generar una culturización en la población para comenzar un nuevo ciclo en pro del medio ambiente. En la central de Corabastos de Bogotá se estaban generando diariamente aproximadamente 80 toneladas de R.S para el año 2016 [36], su gran mayoría eran R.S.O. Esto genera una problemática para los administradores del establecimiento, debido a los costos elevados dados por la recolección y disposición final de los residuos, adicionalmente, la problemática ambiental que genera el no aprovechar todos estos residuos. El proyecto planteado brinda solución y mitiga la problemática que se presenta, con el diseño de una planta para el aprovechamiento de los R.S.O.

- **Barranquilla:**

Beltrán [37] describe que la composición de la basura en Barranquilla está en al menos un 65% compuesta por R.S.O., el segundo porcentaje más considerable es el plástico con un aproximado del 17%. Este estudio fue realizado por la empresa de aseo Triple A S.A.[37]. La ciudad no cuenta con más estudios de este tipo.

El relleno sanitario “ Parque ambiental los pocitos” está construido bajo todas las normativas necesarias y cuenta con un seguimiento ambiental detallado en el control de vectores y segregación de lixiviados, permitiendo manejar factores como el de los olores, calidad del agua, creación de biogás y la calidad del aire [37], aun así, no se cuenta con una planta de tratamiento para el aprovechamiento de los R.S.

- **Medellín:**

En Antioquia se cuenta con una planta para el tratamiento de los residuos, en el municipio de El Santuario, que recibe aproximadamente 270 toneladas en el mes. Dentro de la metropolitana del Valle de Aburrá existen empresas privadas que realizan algunos procesos de aprovechamiento, en este sentido, han intentado establecer plantas de aprovechamiento para la creación de abonos naturales en la ciudad de Medellín [34].

Existe un centro de biotecnología llamado Cobeima y Duitama, que en un comienzo generó controversia debido a la generación de partículas contaminadas en el aire, producido por el descargue de los residuos provenientes de los municipios, permitiendo aumento en la contaminación de la atmosfera debido a estos gases[34]. Lo anterior llevó a crear estrategias para la mitigación de estos factores, y el comienzo de formulaciones para planes de gestión integral de R.S en el valle de Aburrá o PGIRS desde el año 2006.

### **3.2.2. Temáticas Estadísticas.**

#### **3.2.2.1. Muestra.**

Proceso en donde se selecciona una muestra partiendo de una población previamente establecida, existe el muestro aleatorio simple, muestreo por conglomerados y el muestreo estratificado.



### 3.2.2.2. Población.

Es el conjunto general que se selecciona para ser observado y realizar los estudios probabilísticos.

### 3.2.2.3. Frecuencia de muestreo.

La caracterización de los residuos sólidos se realiza en cuatro oportunidades:

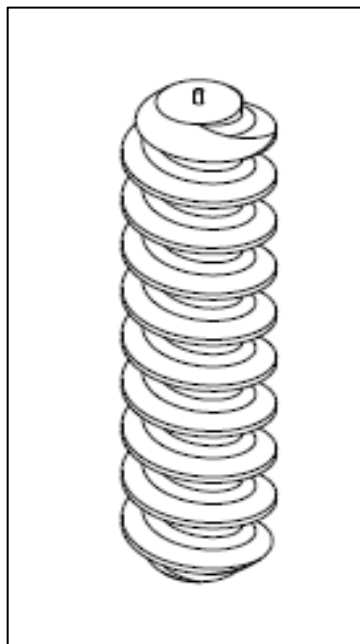
- En la etapa de planificación del sistema de manejo de residuos sólidos.
- En la etapa de diseño del sistema de manejo de residuos sólidos.
- Cuando el sistema de manejo requiera mejoras o modificaciones.
- Cuando el escenario de generación cambie.

## 3.2.3. Temáticas Mecánicas.

### 3.2.3.1. Tornillo sin fin.

El tornillo es un invento de suma importancia mecánicamente hablando, pues su rosca helicoidal permite ser utilizada para diferentes fines: desde transmitir potencia, cambiando movimiento angular por movimiento lineal también desarrollando grandes fuerzas, hasta formar uniones no permanentes, fungiendo como sujetador roscado[38].

Un tornillo sin fin se define como una rueda dentada de un solo diente dispuesto helicoidalmente. En la Figura 9 se muestra el tornillo sin fin.



**Figura 9:** Tornillo sin fin.

### 3.2.3.2. Motor DC.

Un motor de corriente continua es considerado como una máquina eléctrica que está constituida de diferentes partes mecánicas como un rotor con un imán permanente o una armadura y su respectivo bobinado como se muestra en la Figura 10. De la aplicación a que será sometido el motor dependerá su robustez que permitirá obtener más potencia o más torque dependiendo de cada caso. Los motores DC poseen un grado menor en la complejidad de sistemas de control que permitan controlar su posición o velocidad que un motor de corriente alterna.[39]

Como se menciona anteriormente, un motor de corriente directa puede ser empleados en sistemas que se necesite controlar la posición o la velocidad, sin embargo, existe todo un universo. de aplicaciones para los motores controlados, uno de estos ejemplos son aplicaciones como en los laminadores, ascensores o elevadores, vehículos eléctricos o sistemas de bombeo con una velocidad que puede ser variable para los distintos tipos de fluidos que podrían extraerse[39].

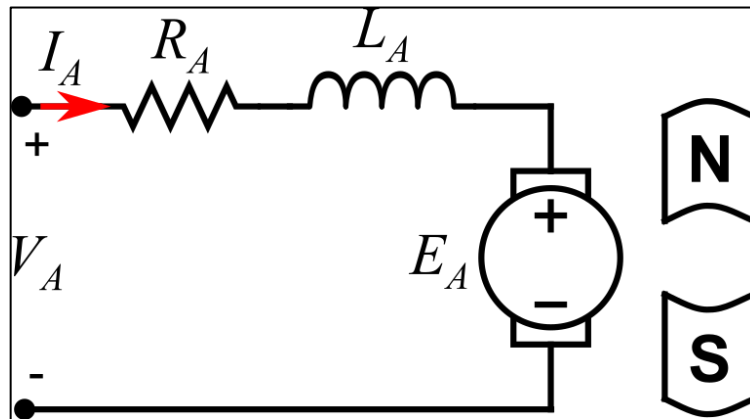
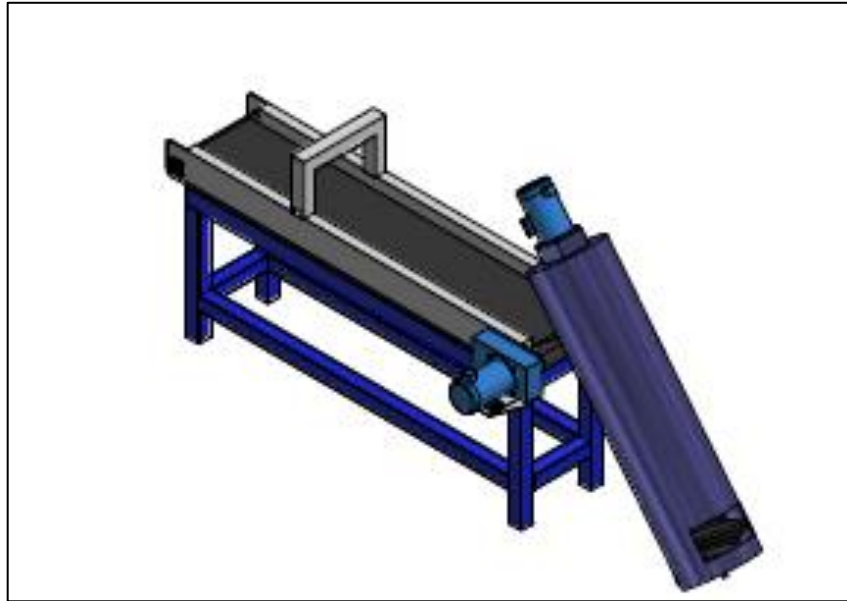


Figura 10: Modelo circuital equivalente de un motor DC.

### 3.2.3.3. Banda transportadora.

Las bandas se consideran transportes continuos que son adaptables a cualquier entorno y son estructuralmente simples; y se les llama de tipo continuo porque siempre están transportando material en la vía predeterminada[40]. Las bandas transportadoras se estandarizan de acuerdo con unas normas que engloban características de construcción, y estas a su vez ofrecen a los usuarios calidad. En la Figura 11 se muestra una banda transportadora.



**Figura 11:** Banda transportadora.

• **Clasificación y tipos de bandas.**

Según al tipo de malla o tejido[40]:

- De algodón.
- De tipo enmallado sintético.
- Realizados a partir de cables de acero.

De acuerdo con la distribución del tejido[40]:

- Distribución en varias capas de tejido.
- De tipo enmallado sólido.

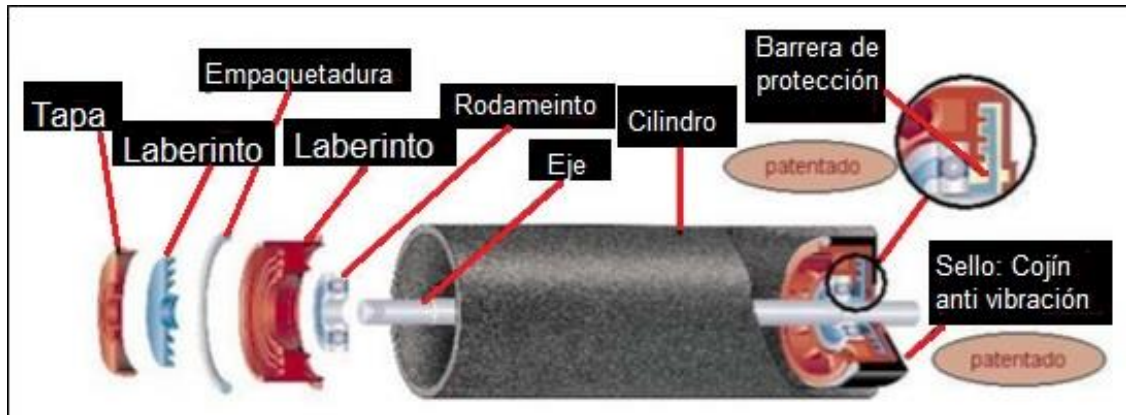
Según la apariencia de la superficie que portará la carga[40]:

- Lisas.
- Con rugosidad.
- Con nervios distribuidos en su longitud.

En el caso de las bandas transportadoras lisas, se utilizan en instalaciones horizontales con ángulo de inclinación para ayudar al deslizamiento[40]. La calidad de los recubrimientos y la carcasa exterior pueden variar en sus combinaciones para cumplir con las exigencias de la propia instalación y el funcionamiento que esta tendrá.

### 3.2.3.4. Rodillos.

El buen funcionamiento de la banda transportadora depende directamente de la cantidad de rodillos que se utilicen[41]. Existe también relevancia en la fricción, pues si esta se manifiesta cuando el giro de los rodillos no es bueno, aumentando el consumo de energía, produciendo desgastes en el recubrimiento de la banda y consecuentemente, reduciendo la vida útil de la misma. En la Figura 12 se muestran las partes del rodillo.



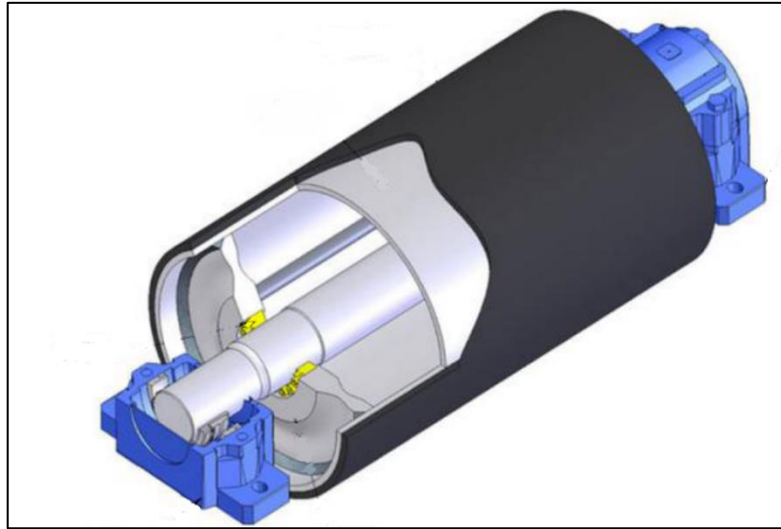
**Figura 12:** Partes del rodillo [40].

Los rodamientos juegan un papel fundamental en los componentes de los rodillos, ya que de ellos dependerá el correcto y óptimo desempeño en el trabajo de la banda.

### 3.2.3.5. Tambores.

Están compuestos principalmente por:

- Un solo cuerpo conformado por los discos laterales y una envolvente cilíndrica.
- Eje.
- Elementos de unión.
- Recubrimientos.

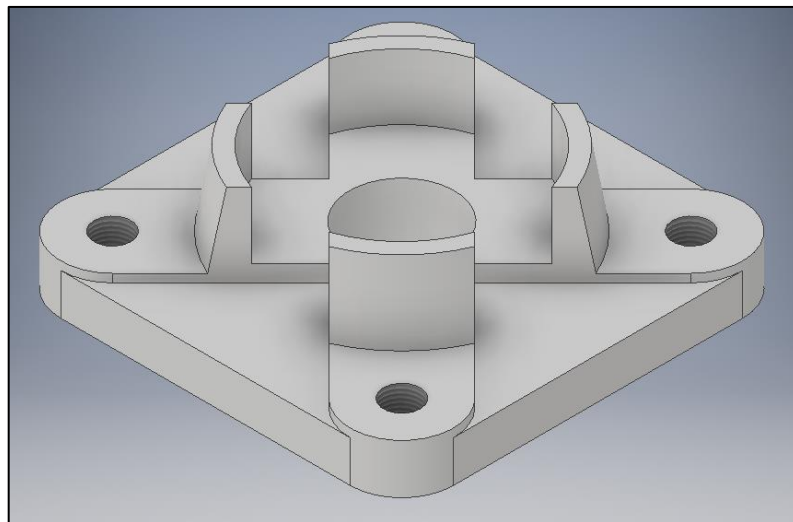


**Figura 13:** Tambor[40].

Dos grupos con los que conforman la clasificación de los tambores: los que transmiten fuerzas de tipo tangencial a la banda o también llamados motrices, y los que cambian la trayectoria de la banda, conocidos también como no motrices[40]. En la Figura 13 se muestra un tambor.

### 3.2.3.6. Acoplamientos.

En acoplamientos de alta velocidad, se usan dispositivos que realizan la transmisión del par del motor eléctrico hacia el reductor de velocidad [42]. En el caso del empleo en bandas transportadoras, se mencionan dos tipos, los fluidos o hidráulicos o los elásticos. En la Figura 14 se muestra un acoplamiento.



**Figura 14:** Acoplamiento.

Para los acoplamientos de baja velocidad, existen el de tipo elástico y el de dientes arqueados, y realizan una transmisión desde el eje de salida al tambor que desplaza la cinta.

### 3.2.4. Temáticas Electrónicas y de Programación.

#### 3.2.4.1. Sensores.

Son aquellos dispositivos que pueden transformar una señal física en otra. Además, son capaces de proporcionar una salida en respuesta a una condición física [43]. Algunos ejemplos de estos sensores son los siguientes:

#### 3.2.4.2. Sensores capacitivos.

Formado por dos aros metálicos situados en la cabeza del sensor y un dieléctrico que se interpone en la zona sensible [43]. Su principio se basa en la variación del campo eléctrico generado entre los aros metálicos. Dicha variación que se muestra en la Figura 15, presenta un comportamiento diferente al acercarse a diferentes materiales (Vidrio, Cerámica, Plástico, Madera, Aceite, Agua, Cartón, Papel [43]).

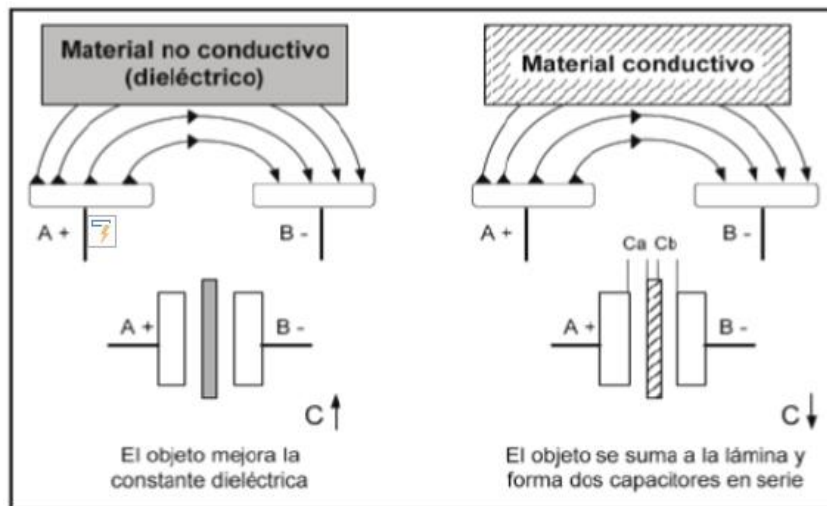
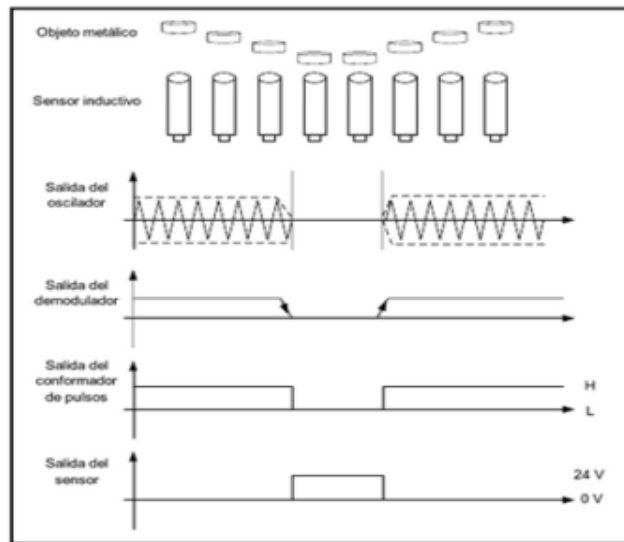


Figura 15: Comportamiento del campo eléctrico del sensor capacitivo.[17]

#### 3.2.4.3. Sensores Inductivos.

Mediante estos sensores es posible detectar objetos metálicos en rangos cortos de distancia y su respuesta se explica en la Figura 16. En el cabezal se encuentra un núcleo de ferrita abierto, que hace parte del oscilador encargado de generar el campo magnético variable [43]. Estos sensores son utilizados en la industria para aplicaciones de posición, detección o ausencia de materiales metálicos. [44]

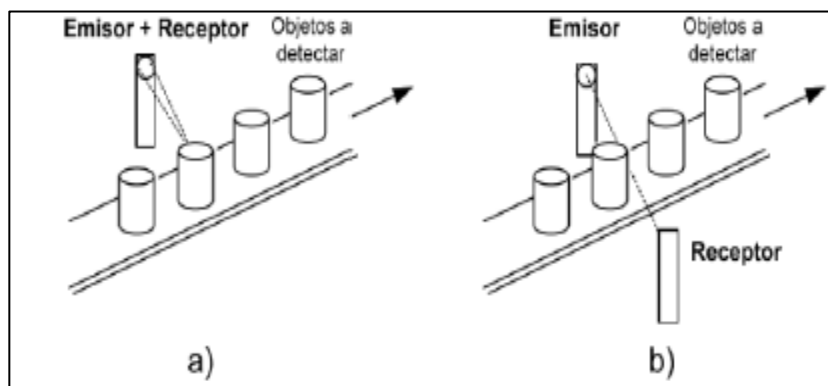


**Figura 16:** Comportamiento de la señal del sensor ante la presencia de un objeto.[17]

#### 3.2.4.4. Sensores ópticos.

Los sensores ópticos permiten la detección de objetos mediante la interrupción o reflejo de un haz de luz sobre un elemento fotosensible. Un sensor óptico está compuesto por un dispositivo emisor de luz y una fotocélula de receptor. Los tipos de sensores ópticos más comunes se muestran en la Figura 17 y sus descripciones son:

- A) Reflexión:** Conformado por un cabezal con un emisor de luz y el led receptor de detección.
- B) Barrera:** Tiene una fuente de luz es independiente del receptor y utilizado para mayores distancias.[43]



**Figura 17:** Sensores ópticos utilizados para la detección.[17]

Las ventajas de este tipo de sensores son:

- Grandes distancias para la detección.
- Poco sensible a señales electromagnéticas externas.
- Velocidad de respuesta y frecuencias de conmutación.
- Facilidad para la identificación de objetos pequeños y colores. [43]

#### **3.2.4.5. Servidor web**

Es el programa que se diseña especialmente para la transferencia de hipertexto, que en otras palabras serían las páginas web con cada uno de sus elementos ya sean textos, banners, imágenes, etc. Estos servidores utilizan el protocolo http y están alojados en un sistema con conexión a internet. Además, recibe las peticiones de los clientes, dándole respuesta de envió de los ficheros que se le soliciten. [45]



## 4. Capítulo 3. Metodología

El contenido del capítulo detalla el proceso y base teórica necesaria para impedir la disminución de los niveles de producción eléctrica para un prototipo de biodigestor. Dicho prototipo se implementará en la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá. La metodología de diseño se enfoca en el cumplimiento de los objetivos específicos, por esta razón se estructura en 3 pilares importantes: protocolo de manejo de residuos sólidos, producción energética, y sistemas electrónicos de verificación del protocolo de manejo de residuos. La anterior descripción se relaciona y se explica gráficamente en la Figura 18. En los siguientes 3 capítulos se desarrollan los objetivos específicos respectivamente.

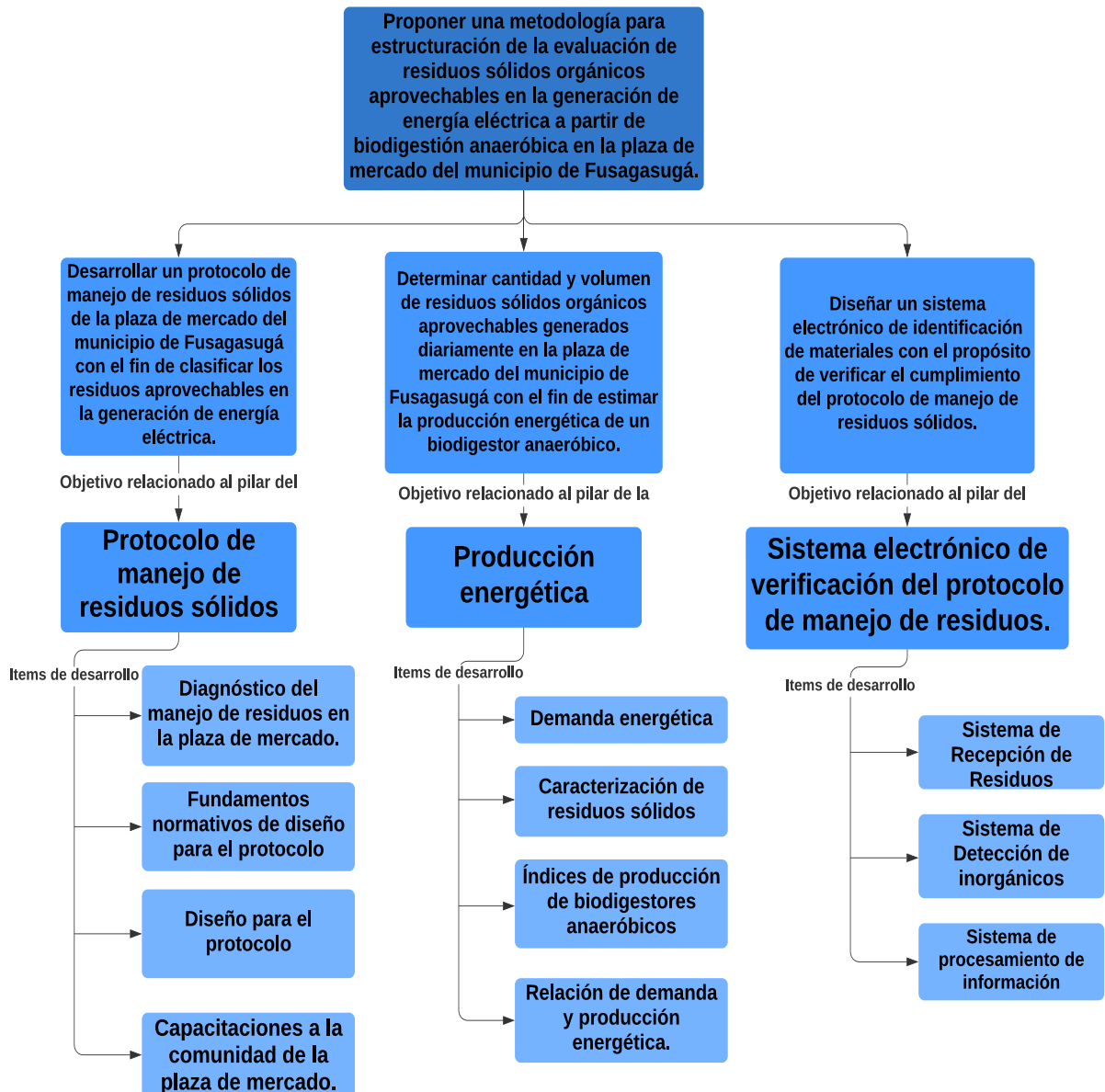


Figura 18: Metodología de desarrollo del proyecto.

## **5. Capítulo 4. Protocolo de manejo de residuos sólidos.**

---

El crecimiento acelerado de la población en Colombia, en especial en las ciudades capitales, ha generado una problemática inherente al crecimiento desmesurado de los residuos sólidos [36]. Por lo anterior, se han establecido diversas normativas y protocolos para promover proyectos orientados al aprovechamiento y generación de energía limpia de estos residuos. Estos proyectos promueven manejos adecuados y una reducción del volumen de los R.S.O. a partir de su explotación.

La ley general para la prevención y gestión integral de los residuos Art. 28, estipula que los generadores de grandes cantidades de residuos sólidos deben de desarrollar y aplicar un plan de manejo adecuado de estos desechos. La plaza de mercado del municipio de Fusagasugá está dentro del grupo de mayores productores de residuos y por esta razón, será la beneficiaria directa del protocolo desarrollado en este trabajo.

Para el diseño del protocolo de manejo de los residuos de la plaza, se realizó un diagnóstico del lugar, se establecieron los fundamentos normativos y de diseño necesarios y se llevaron a cabo una serie de capacitaciones en su población. Los anteriores ítems se explican en las subsecciones siguientes.

### **5.1. Diagnóstico del manejo de residuos en la plaza de mercado.**

En la sección se describe las peculiaridades importantes de la plaza de mercado, ejes fundamentales para el diseño de un protocolo de manejo de residuos para el lugar. Este diagnóstico se comprende por las características del territorio, población y distribución, clasificación de los residuos sólidos y los métodos de recolección

#### **5.1.1. Territorio:**

Fusagasugá es un municipio ubicado en Colombia, capital de la provincia del Sumapaz en el departamento de Cundinamarca ubicada a 59 km al suroccidente de Bogotá. Esta ciudad está ubicada en una meseta delimitada por el Río Cuja y El Chocho, el cerro de Fusacatán y el Quiniñ que conforman el valle de los Sutagaos, y la altiplanicie de Chinauta. Tiene una población de 139.805 habitantes, su densidad es de 584,96 hab/km<sup>2</sup> y cuenta con una población urbana de 112.616 habitantes.

La ciudad es epicentro económico y cultural de la región, lo que conlleva a tener un alto flujo de personas que provienen de otros municipios. En la Figura 19 se muestra la ubicación de la plaza central de mercado del municipio de Fusagasugá (galería de mercado). Los comerciantes de los locales comerciales dentro de la plaza de mercado de Fusagasugá serán la población en este diagnóstico



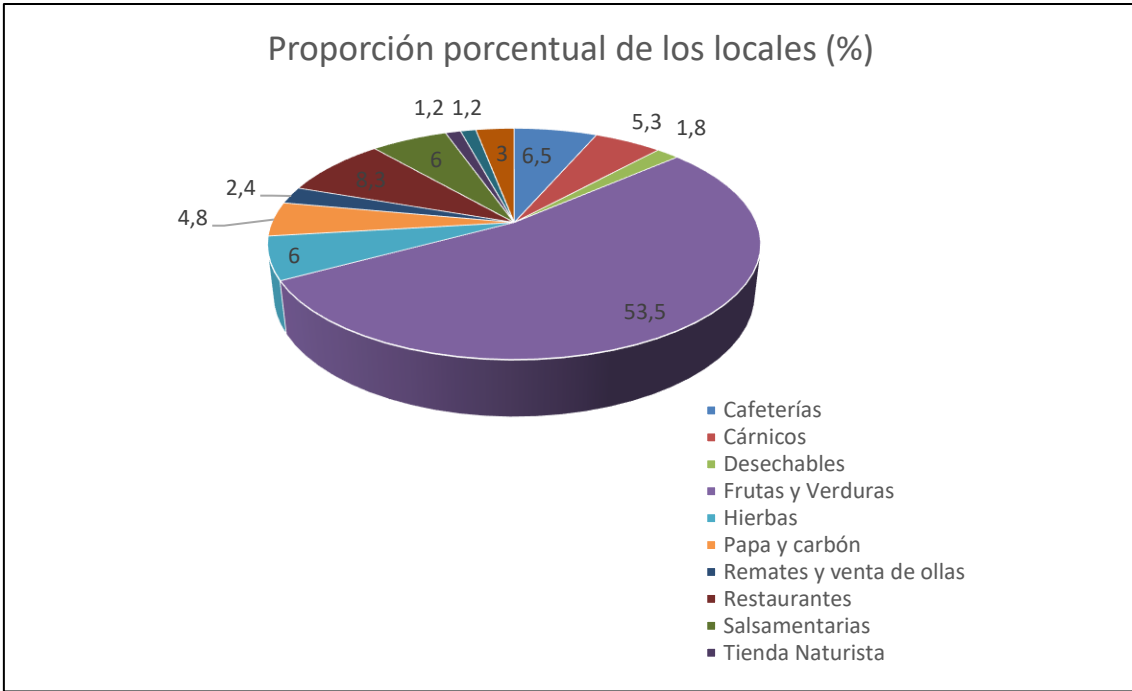
**Figura 19:** Ubicación Plaza de mercado de Fusagasugá Fuente: Google Maps.

### 5.1.2. Población y distribución:

La plaza de mercado del municipio de Fusagasugá está conformada por 186 locales, estos locales se clasifican y distribuyen como se observa en la Tabla 5, la Figura 20, en la Figura A1 3 y la Figura A1 4 del [anexo 1](#).

**Tabla 5:** Lista de clasificación de locales de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá.

LOCAL	CANTIDAD
<b>Cafeterías</b>	11
<b>Cárnicos</b>	9
<b>Desechables</b>	3
<b>Frutas y Verduras</b>	90
<b>Hierbas</b>	10
<b>Papa y carbón</b>	8
<b>Remates y venta de ollas</b>	4
<b>Restaurantes</b>	14
<b>Salsamentarias</b>	10
<b>Tienda Naturista</b>	2
<b>Tiendas Esotéricas</b>	2
<b>Variedades metálicas, cauchos y demás</b>	5
<b>TOTAL DE LOS LOCALES</b>	168



**Figura 20:** proporción porcentual de los locales de la plaza de mercado

### 5.1.3. Clasificación de los residuos sólidos

Aunque existe una norma básica de separación de residuos establecido por la administración de la plaza de mercado (Decreto 264 del 18 de junio de 2018 capítulo XI), los comerciantes mezclan los diferentes tipos de residuos sólidos en un único recipiente, como se puede evidenciar en la Figura 21.



**Figura 21:** Método utilizado por los locales de la plaza para depositar los residuos en los contenedores de recolección.

#### 5.1.4. Métodos de recolección:

##### 5.1.4.1. Rutas:

Los contenedores utilizados en el transporte de residuos dentro de la plaza se almacenan vacíos en un espacio destinado para este fin, cuando se va a realizar la recolección se deben sacar uno por uno, como se muestra en la Figura 22.



**Figura 22:** Inicio de recolección de residuos.

Se evidencia que el espacio de almacenamiento de contenedores no se encuentra en óptimas condiciones de aseo. Adicionalmente, no se evidencian protocolos para limpieza de los contenedores o el espacio de almacenamiento de estos (Figura 23), antes o después de realizar la ruta de recolección. (Figura 24)

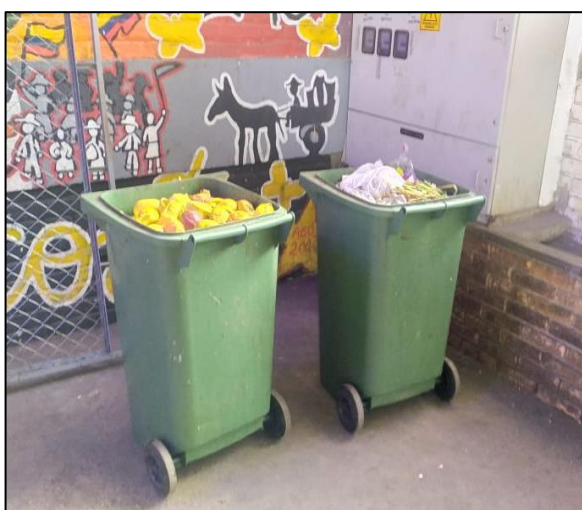


**Figura 23:** Cuarto de almacenamiento.



**Figura 24:** Operario realizando la recolección de residuos con el contenedor sucio.

La ruta que siguen los operarios para la recolección de residuos se describe en la Figura A1 1 y la Figura A1 2 del [anexo 1](#). Si en el proceso de recolección las canecas utilizadas se llenan a tope, como se muestra en la Figura 25, deben ser llevadas al lugar de recogida asignado por la Empresa Prestadora de Servicios de Aseo, EMSERFUSA (Figura 26).



**Figura 25:** Canecas llenas de residuos.



**Figura 26:** Lugar de recolección designado por la empresa prestadora de servicio de aseo.

#### **5.1.4.2. Frecuencia de recolección:**

Esta recolección se realiza 2 veces durante cada día de la semana, en la mañana (Desde las 6:00 a.m.) y en la tarde (Desde las 12:00 p.m.).

#### **5.1.4.3. Tiempo de recolección.**

Por el número de locales y cantidad de residuos, el tiempo para la recolección es de 1 hora con 10 minutos.

## **5.2. Fundamentos normativos de diseño para el protocolo.**

El protocolo de manejo de residuos que se propone en este trabajo está basado en las normativas colombianas que se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Normativas y resoluciones colombianas en el marco de la gestión y manejo integral de los residuos sólidos.

<b>NORMATIVA</b>	<b>ARTÍCULO O FRAGMENTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>RAS 2000</b>	Título F	Se encuentran todos los requisitos e instrucciones técnicas que deben realizarse para el diseño, implementación y la supervisión de todos los aspectos que involucran un sistema de aseo urbano.
<b>Resolución 754 de 2014</b>	Resolución completa	Abarca toda la evaluación, formulación, implementación y corrección de los planes para la gestión integral de los residuos sólidos.
<b>Ley 9 de 1979</b>	Art. 22 al 35	Se definen los parámetros para el correcto almacenamiento, disposición y recolección de los residuos.
<b>Política de Gestión de Residuos Sólidos 1988</b>	Documento completo	Establece la normativa que estará enfocada a toda la gestión integral de residuos sólidos.
<b>Decreto 1713 de 2002</b>	Art. 26, 31, 33, 34, 35, 36, 38, 42, 51, 53, 34, 55 y 58.	Definen las normas en las que se rige el servicio público de aseo que están previamente establecidos acorde al plan de gestión integral de los residuos sólidos.
<b>Decreto 0605 de 1996</b>	Art. 43	Se encuentran los parámetros que se definen en la recolección de los residuos generados en las plazas de mercado.
<b>Resolución 1890 de 2011</b>	Resolución completa	Explica y establece las alternativas para la disposición de los residuos sólidos en distritos y municipios.
<b>Resolución 2184 de 2019</b>	Resolución completa	Establece la normativa de la debida clasificación que se debe realizar con los residuos sólidos no peligroso desde el año 2021.
<b>PGIRS de Fusagasugá</b>	Documento actualizado de 2019	Se presenta las actividades socioeconómicas desarrolladas en el área urbana y rural del municipio de Fusagasugá. [46]
<b>Norma Técnica Colombiana GTC 24</b>	Documento completo	Ofrece una guía detallada para la separación en la fuente de los residuos sólidos, además contiene la clasificación en tres grupos para dicha separación, que se compone de los residuos aprovechables, no aprovechables y los orgánicos.

### 5.3. Diseño para el protocolo.

El protocolo que se establece para la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá se diseña con los estudios descritos anteriormente y con el apoyo de la secretaria de agricultura, ambiente y tierras del municipio, ente que revisó el documento final.



El documento cuenta con su respectivo marco legal e institucional, alcance, diagnóstico de la plaza de mercado, matriz de riesgos y elementos de protección personal, características específicas de los recipientes de recolección y transporte de residuos sólidos, particularidades del lugar de almacenamientos de las canecas de recolección, disposición de residuos orgánicos aprovechables y cárnicos, técnicas de limpieza de las canecas y cuarto de almacenamiento, y por último, un plan de contingencia. Los detalles del protocolo, se encuentran en el documento "[Protocolo de manejo de residuos](#)".

## **5.4. Capacitaciones a la comunidad de la plaza de mercado.**

Para lograr el objetivo de promover prácticas y hábitos orientados al cuidado del medio ambiente, es de vital importancia dar a conocer los conceptos básicos sobre el beneficio del aprovechamiento y el manejo adecuado de los R.S.O a la comunidad de la plaza de mercado. En esta sección se muestran las estrategias de difusión utilizadas.

### **5.4.1. Conferencia para los comerciantes de la plaza de mercado**

La conferencia se desarrolla en "La pajarera", una de las zonas de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá. En esta se busca socializar el proyecto que está encaminado a la generación de energía limpia a partir de los R.S.O que se desechan diariamente en el establecimiento comercial, buscando la participación directa de los comerciantes del establecimiento, logrando así mitigar el impacto ambiental actual por el mal manejo de los R.S.O.

La presentación se inicia con las universidades y entidades que trabajan en el proyecto, en donde se menciona la Universidad de Cundinamarca, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá, la Alcaldía Municipal de Fusagasugá y el ente financiador, Colciencias (actualmente Minciencias). Posteriormente, se presenta una introducción a la problemática ambiental que se afronta en la plaza de mercado del municipio, y a nivel nacional, presentando las cifras que da a conocer la ONG Fondo Verde en una de las entrevistas con el periódico Portafolio. En la Figura 27 se muestra una imagen tomada durante la conferencia a los comerciantes de la plaza de mercado.



**Figura 27:** Capacitación de la clasificación de los R.S por parte de los auxiliares de investigación.

Dentro de la capacitación se da a conocer el método de clasificación que se indica en la normativa vigente colombiana RAS- Título F, mostrando la manera correcta de clasificar los residuos aprovechables, no aprovechables y orgánicos aprovechables. A su vez, se enseña la implicación del proyecto dentro de la comunidad, en donde se indica en que consiste el diseño, desarrollo e implementación del biodigestor, comenzando con el contexto de la digestión anaeróbica y el beneficio que se obtiene al aprovechar este tipo de residuo, así como el método para la obtención de la energía limpia.

Los primeros procesos que se van a realizar en la primera fase son los de diagnóstico y cuantificación de la cantidad de R.S.O que se generan diariamente. Con la participación de una comunidad capacitada se pueden llevar dichos procesos de una manera coordinada, por ello la importancia de que cada comerciante esté enterado y capacitado con el proyecto.

En la Figura 28 se muestra la socialización del proyecto impartido por los docentes investigadores de la Universidad de Cundinamarca.



**Figura 28:** Socialización del proyecto impartido por los docentes investigadores.

Finalmente se abre un espacio para resolver las dudas que se presentaron durante la capacitación, para concluir, se puede observar un entusiasmo en los comerciantes de la plaza por participar con el proyecto que se les ha propuesto.

#### **5.4.2. Desarrollo de charlas individuales a cada uno de los puestos comerciales**

Se realiza una visita a cada local comercial de la plaza de mercado con el fin de brindar una capacitación en el proceso de separación de los R.S.O y aquellos residuos que ya no pueden ser aprovechables. Se aprovecha esta actividad para informar a la comunidad sobre la metodología del proceso de caracterización y los horarios en los cuales se recogerían los residuos ya clasificados para su posterior cuantificación.

Es importante mencionar que muchos de los comerciantes, después de recibir las capacitaciones, cumplieron con todas las dinámicas propuestas por los auxiliares del proyecto. En la Figura 29 se muestra a los estudiantes auxiliares de investigación impartiendo las capacitaciones de manera individual para cada comerciante de la plaza de mercado.



**Figura 29:** Capacitación impartida en cada local comercial de la plaza de mercado.

En cada una de las capacitaciones realizadas a los comerciantes de la plaza de mercado, se entregan folletos e impresos informativos, esto, con el fin de brindar información detallada y concisa de las temáticas que se impartieron, de la manera más didáctica posible.

#### **5.4.3. Elaboración de herramientas didácticas de información**

Con este tipo de herramientas se logra que los comerciantes de la plaza de mercado conozcan los conceptos que se iban dando en cada una de las capacitaciones. Esto permitió dar a conocer el proceso que se deseaba realizar para lograr la culminación exitosa del proyecto, mostrando que ellos como comunidad serán los más beneficiados y todos estaremos aportando de manera positiva al medio ambiente. En la Figura 30 y en la Figura 31 se muestran los folletos utilizados como herramienta didáctica para las capacitaciones impartidas.

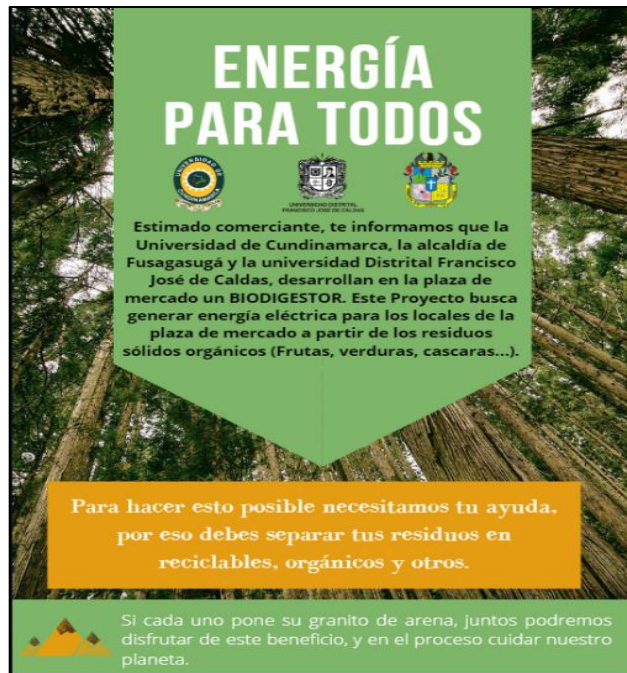


**Figura 30:** Cara frontal del primer folleto entregado a los comerciantes en cada una de las capacitaciones realizadas.



**Figura 31:** Cara trasera del primer folleto entregado a los comerciantes en cada una de las capacitaciones realizadas.

A su vez, se realiza un impreso (o folleto) informativo con el cual se invita a toda la comunidad a participar en los procesos de capacitación impartidas por los estudiantes auxiliares del proyecto, indicando la importancia de la participación de los comerciantes dentro de todo el proceso. En la Figura 32 y en la Figura 33 se muestran los impresos realizados para impartir las capacitaciones.



**Figura 32:** Folleto 1 utilizado para incentivar la participación de los comerciantes de la plaza de mercado.



**Figura 33:** Folleto 2 utilizado para incentivar la participación de los comerciantes de la plaza de mercado.

#### 5.4.4. Socialización en la emisora de la plaza de mercado

La plaza de mercado cuenta con el recurso tecnológico para difundir información por medio de la emisora del establecimiento, lo que permitió brindar todos los detalles de las fechas, horas y temáticas a tratar en cada una de las capacitaciones brindadas, invitando a todos los comerciantes a ser partícipes. En la Figura 34 se presenta el uso de la emisora para transmitir información a los comerciantes de la plaza de mercado.



**Figura 34:** Difusión de las capacitaciones mediante la emisora de la plaza de mercado.

Esta herramienta permitió llegar a todas las personas que, por algún motivo, no se habían enterado de las capacitaciones que se estaban ofreciendo, brindando información sobre el estado del proceso que se realizaba para la caracterización de los R.S.O que se generan en el establecimiento diariamente.

## **6. Capítulo 5. Producción energética**

---

Los residuos sólidos orgánicos mediante fermentación anaeróbica pueden llegar a transformarse en fertilizantes con una alta concentración de nutrientes [47] y en biogás, que es un gas compuesto de metano (CH<sub>4</sub>), carbono, amoníaco, nitrógeno, sulfuro de hidrogeno y otros compuestos [3].

El biogás puede llegar a utilizarse como una fuente de energía térmica para el proceso de generación eléctrica. Este proceso es posible gracias a la implementación de motores reciprocantes de combustión interna, turbinas de gas o microturbinas. [48]

Para conocer el porcentaje de cobertura que se tendrá con el prototipo de biodigestor para la demanda de energía eléctrica de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá, se deben realizar 3 procesos: estimar los valores de demanda de energía eléctrica del lugar, definir la cantidad de residuos recolectados diariamente y en estos, el porcentaje de residuos orgánicos aprovechables en el biodigestor y determinar los índices de producción de biodigestores anaeróbicos.

### **6.1. Demanda energética.**

Para la obtención de la información de la demanda energética se utiliza un procedimiento que se comprende por 3 etapas:

- Diagnóstico energético en los locales internos de la plaza de mercado de Fusagasugá.
- Definición de valores de demanda energética.
- Proyección de consumo eléctrico.

#### **6.1.1. Diagnóstico energético en los locales internos de la plaza de mercado de Fusagasugá.**

El proceso de diagnóstico de la demanda energética proporcionará la información necesaria para definir el consumo eléctrico en la plaza de mercado de Fusagasugá.

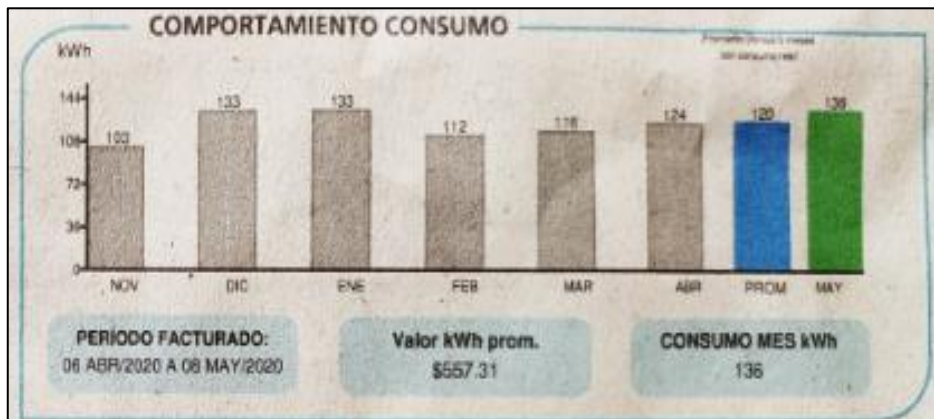
El diagnóstico se realizó teniendo en cuenta el consumo de las áreas comunes y el de cada uno de los locales internos de la plaza de mercado. La información se recolectó mediante el uso de instrumentos de encuestas con la plataforma "Forms de Google". La estrategia para la recolección de información consistió en pasar por cada uno de los locales y solicitar a la administración la factura del servicio de energía eléctrica. En la Figura 35 se evidencia esta labor en la plaza de mercado.





**Figura 35:** Encuestadores solicitando la información de consumo y factura de servicio de energía eléctrica.

En las facturas de servicio de energía eléctrica recolectados se encuentra la información de consumo de los últimos seis meses, tal como se muestra en la Figura 36.



**Figura 36:** Muestra de los consumos de energía eléctrica de los últimos meses.

Cabe resaltar que no todos los administradores de locales entregaron la factura de servicio de energía eléctrica por razones personales, en algunos casos solamente entregaron datos muy concretos de la información que contenía dicha factura. Asimismo, algunos locales no cuentan con el servicio de energía eléctrica, dado que aprovechan el suministro de las áreas comunes o comparten los costos de consumo con otro local que si cuenta con el servicio. La distribución de los casos anteriormente expuestos se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7:** Distribución de casos para la información de consumo energético de los locales.

<b>CASOS</b>	<b>Cantidad de Locales</b>
Muestran factura de servicio de energía eléctrica.	14
No muestran factura, pero suministran la información del consumo.	3
No suministran información de su consumo eléctrico	26
Comparte el servicio con otro local.	30
Solo usa el suministro de energía de las áreas comunes.	110
Total de locales	168

### **6.1.2. Definición de valores de demanda energética.**

En el proceso para definir los valores de la demanda energética de los locales y áreas comunes de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá, la unidad de medida será el kWh. Los resultados que se obtuvieron se muestran en la Tabla 8 y la Tabla 9.

**Tabla 8:** Consumo eléctrico mensual (kWh/mes) de las áreas comunes de la plaza de mercado de Fusagasugá.

<b>#</b>	<b>No. Cuenta</b>	<b>Denominación del predio</b>	<b>Enero</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Máximo</b>	<b>Promedio</b>	<b>kWh/mes (Máximo)</b>	<b>kWh/mes (Promedio)</b>	<b>Total/año</b>
1	5071067-9	Plaza de mercado-zonas comunes	\$1.562.340	\$677.500	\$2.064.880	1.521.305	3258,7	2400,9	\$18.799.240
2	5071084-7	Plaza de mercado-módulo de frutas	\$187.910	\$91.160	\$520.980	\$173.101	822,2	273,2	\$2.425.094
3	5071066-7	Plaza de mercado-piso 1	\$86.090	\$98.030	\$109.830	\$93.660	173,3	147,8	\$1.140.090
4	5044534-5	Plaza satélite	\$611.340		\$828.520	\$676.353	1307,5	1067,4	\$7.592.050
						<b>TOTAL</b>	<b>5561,7</b>	<b>3889,3</b>	

**Tabla 9:**Consumo Mensual (kWh/mes) de locales comerciales de la plaza de mercado de Fusagasugá, de julio a diciembre 2019.

#	Local	Propietario	kWh/mes últimos 6 meses						Lect. única	Máx.	Prom. (Av)	min	(Av/máx) %	(Av/min)
1	7	José Alfredo Rodríguez Hermosa	25	31	32	28	30	13	-	32	26,5	13	120,8	2
2	9	Pedro Nieto Galeano	118	126	140	135	133	68	-	140	120	68	116,7	1,8
3	53	Estanislao Arias Prada	100	107	114	113	113	54	-	114	100,2	54	113,8	1,9
4	125	Municipio de Fusagasugá (Periodo Abr y May)	48	39	43	46	72	43	-	72	48,5	39	148,5	1,2
5	172	Municipio de Fusagasugá	1541	1693	1772	1732	1759	1648	-	1772	1690,8	1541	104,8	1,1
6	173	María Mayorga – Alcaldía Fusagasugá.	890	955	1020	1009	985	938	-	1020	966,2	890	105,6	1,1
7	180	Municipio de Fusagasugá	247	326	353	338	318	294	-	353	312,7	247	112,9	1,3
8	223 y 225	Municipio de Fusagasugá	32	31	37	34	34	17	-	37	30,8	17	120,1	1,8
9	Admin	Yaneth Hernández	259	1356	1444	1497	1441	1371	-	1497	1228	259	121,9	4,7
10	Desconocido.	Municipio de Fusagasugá	418	457	473	497	496	256	-	497	432,8	156	114,8	1,7
11	Desconocido.	Municipio de Fusagasugá (Periodo Abr y May)	87	70	57	67	66	76	-	87	70,5	57	123,4	1,2
12	Desconocido	Municipio de Fusagasugá	163	178	187	181	185	178	-	187	178,7	163	104,6	1,1
13	Desconocido	Municipio de Fusagasugá	587	622	630	618	576	310	-	630	557,2	310	113,1	1,8
14	Desconocido	Municipio de Fusagasugá (Periodo Sep. y Oct)	147	129	170	169	176	185	-	185	162,7	129	113,7	1,3
15	Desconocido	No cuenta 5149203-2	-	-	-	-	-	-	34	40	37	22	116,8	1,7
16	Desconocido	No cuenta 5071079-0	-	-	-	-	-	-	29	34	31,5	19		
17	Desconocido	No cuenta 5071071-4	-	-	-	-	-	-	179	209	194	114		
									<b>Total (kWh/mes)</b>	<b>6906</b>	<b>6188,1</b>	<b>4198</b>		

Según lo anterior es posible afirmar que los de mayor consumo energético son el local 172 y **admin**, los cuales distribuyen energía a locales vecinos durante el horario de atención al público (6:00 a.m. a 5:00 pm.).

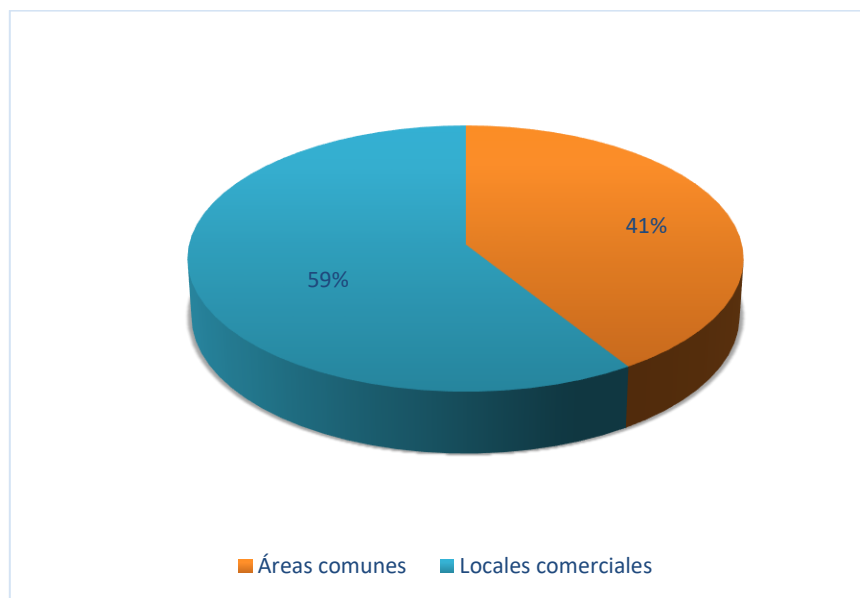
### 6.1.3. Proyección de consumo de energía eléctrica.

Dado que no fue posible acceder a la información del consumo de energía eléctrica del 15 % de los locales de la plaza de mercado, fue necesario realizar una proyección. Los resultados finales de consumo se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10:** Datos de máximo consumo eléctrico.

Consumo Energético	Valor de consumo (kWh/mes)
Máximo en áreas comunes	5562
Locales comerciales	6906
Máximo estimado en locales comerciales	7941,9

De acuerdo con la Tabla 10 el consumo energético total de la plaza de mercado es de 13503,9 kWh/mes. Este consumo presenta la proporción que se muestra en la Figura 37.



**Figura 37:** Distribución del consumo energético de la Plaza de mercado de Fusagasugá

Los comerciantes de la plaza de mercado atienden al público durante 11 horas continuas, a esto se agregan 4 horas por labores de acopio y cierre de locales. Por lo anterior, diariamente se presenta consumo de energía eléctrica en las áreas comunes durante 15 horas. En algunos locales debido a la necesidad de conservación de algunos alimentos a baja temperatura, se presenta consumo de energía eléctrica por la conexión de refrigeradores durante las 24 horas del día.

Si se toma como punto de partida la información que se describió anteriormente es posible utilizar la ecuación (1), para definir el consumo por hora de la plaza de mercado dentro del horario de atención al cliente, que es el intervalo de mayor consumo.

$$P_{\text{total}} = \frac{\frac{5562 \text{ kWh/mes}}{30 \text{ días/mes}} + \frac{7941,9 \text{ kWh/mes}}{30 \text{ días/mes}}}{15 \text{ horas/día}} \approx 30 \text{ kW} \quad (1)$$

Es posible definir que el consumo máximo aproximado en la plaza de mercado es de 30 kW por día. Valor que se pretende generar con el prototipo de biodigestor que se implementará en el lugar.

## 6.2. Caracterización de residuos sólidos.

### 6.2.1. Diseño del método

Tomando como base lo descrito en el documento "[Recopilación bibliográfica de caracterización](#)" que se diseñó gracias a las revisiones bibliográficas por parte de los autores, se determina que es posible desarrollar una metodología propia, siempre y cuando cumpla normativas vigentes, tenga un aval institucional y brinde la información que se requiera para el estudio,

El método diseñado y aplicado que también se muestra en el documento relacionado anteriormente utiliza normativas colombianas y mexicanas, junto a proyectos de gestión ambiental de otros países latinoamericanos. El contenido y procesos de dichas fuentes han sido aplicadas en casos similares al requerido, dado que no usan caracterización de balance de masas y la cultura poblacional es similar entre estos países.

## 6.2.2. Resultados de Caracterización.

### 6.2.2.1. Selección de muestra:

La cantidad de locales internos de la plaza de mercado es de 168 y según la Ecuación (2) [49], los locales con los que se debe trabajar son 34. Estos locales deben mantener la misma proporción de la distribución de los residuos en la totalidad de locales. Bajo las consideraciones anteriores, los locales seleccionados para tomar la muestra de residuos sólidos de la plaza de mercado de Fusagasugá se distribuyeron como se muestra en la Tabla 11.

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N - 1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2} \quad (2)$$

Donde:

n = Número de locales a muestrear.

N = Total de locales de la plaza de mercado.

Z = Nivel de confianza 95% = 1.96

$\sigma$  = Desviación estándar. (0,25Kg/día)

E = Error permisible. (10% "0,0075Kg/hab/día")

**Tabla 11:** Tipo y número de local, seleccionado para la muestra.

TIPO DE LOCAL	NÚMERO DE LOCALES	ID DEL LOCAL
CAFETERIA	2	154 - 66
CÁRNICOS	2	172 - 179
DESECHABLES	1	167
FRUTAS Y VERDURAS	18	125 - 94 - 90 - 184 (Primer piso) - 37 - 54 - 10 - 87 - 62 - 70 - 98 - 113 - 150 - 163 - 32 - 31 - 92 - 136
HIERBAS	2	56 - 77
CARBÓN Y PAPA	2	52 - 42
OLLAS Y PLÁSTICOS	1	3
RESTAURANTE	3	184(Segundo Piso) - 165 - 74
SALSAMENTARIA	2	117 - 181
VARIADO	1	210

### 6.2.2.2. Grupo técnico:

El grupo técnico que se encargará del proceso de caracterización y toma de muestras de los residuos sólidos se describe en la Tabla 12.

**Tabla 12:** Nombres de cada uno de los integrantes del grupo técnico con su respectivo Rol de trabajo.

<b>ROL</b>	<b>NOMBRE</b>
<b>RESPONSABLE</b>	RUBIELA BELLO
<b>COORDINADOR DE CAMPO</b>	YEISON ATERHORTUA
<b>REGISTRO</b>	ANDRÉS FELIPE GUERRERO
<b>ENCUESTADOR</b>	RICARDO TORRES
<b>OPERARIO DE RECOLECCIÓN</b>	EUGENIO
<b>OPERARIO DE CLASIFICACIÓN</b>	GONZALO LIZCANO

### 6.2.2.3. Rotulación de bolsas:

En los locales seleccionados se entregaron bolsas para residuos un día previo a la recolección de la muestra. En cada local se entregaron hasta dos bolsas, una para residuos sólidos orgánicos y otra para el resto de los residuos. Las características y número de bolsas dependen del tamaño y tipo de local, dado que en algunos locales no se generan residuos orgánicos o aprovechables. Durante la recolección de las bolsas con residuos, se impone una etiqueta a cada una de estas para determinar su procedencia y contenido. La nomenclatura utilizada en el etiquetado de las bolsas se muestra en la Tabla 13.

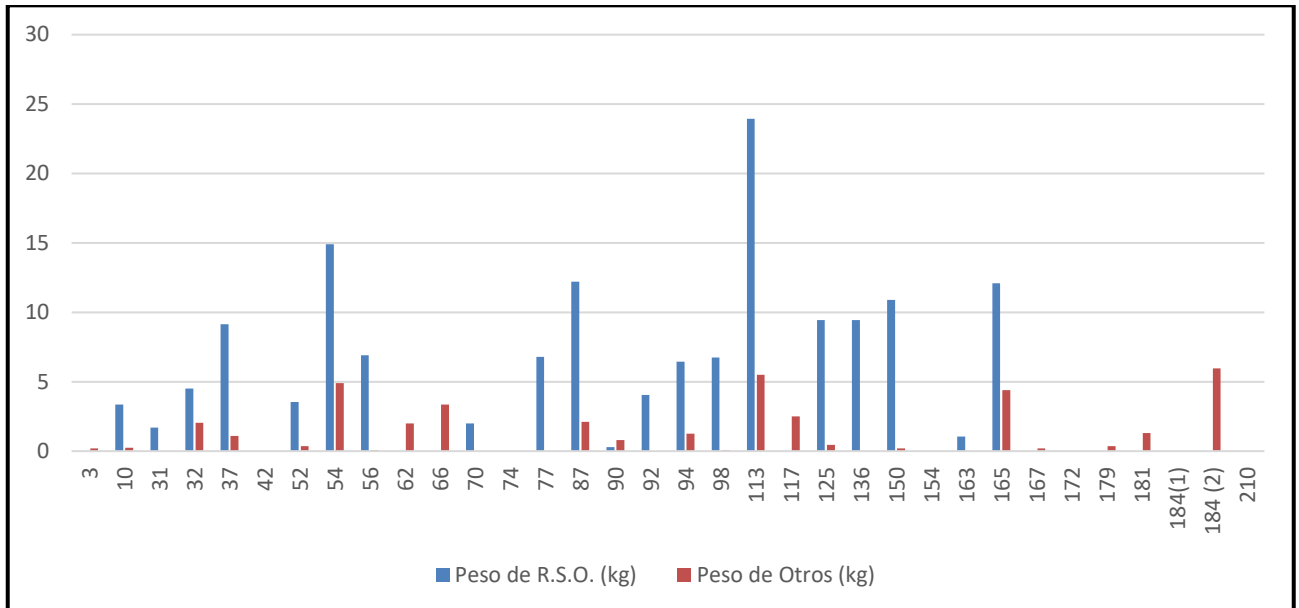
**Tabla 13:** Nomenclatura utilizada para la etiqueta de las bolsas.

<b>TIPO DE LOCAL</b>	<b>CÓDIGO</b>
<b>CAFETERIA</b>	CA
<b>CÁRNICOS</b>	CS
<b>DESECHABLES</b>	DS
<b>FRUTAS Y VERDURAS</b>	FV
<b>HIERBAS</b>	HS
<b>CARBÓN Y PAPA</b>	CP
<b>OLLAS Y PLÁSTICOS</b>	OP
<b>RESTAURANTE</b>	RE
<b>SALSAMENTARIA</b>	SA
<b>VARIADO</b>	VO
<b>R.S.O.</b>	RO
<b>OTROS</b>	OS



#### 6.2.2.4. Día de caracterización:

En la Figura 38 se relacionan las cantidades y tipo de residuo sólido recolectado en cada local el primer día de caracterización.



**Figura 38:** Cantidad y tipo de residuo por local, recolectado en el primer día de caracterización.

Una vez terminada la recolección, se realizó el proceso de mezclado y cuarteo de residuos, de acuerdo con el procedimiento definido, hasta obtener la muestra de 50 kg. En la Figura 39 se observa a los operarios realizando mezclado y cuarteo de los residuos sólidos recolectados.



**Figura 39:** Operarios realizando el proceso de cuarteo a los residuos de los locales de la muestra.

La muestra de 50 kg se dispuso para realizar el proceso de clasificación de residuos sólidos, según la resolución 2184 de 2019. (Figura 40).

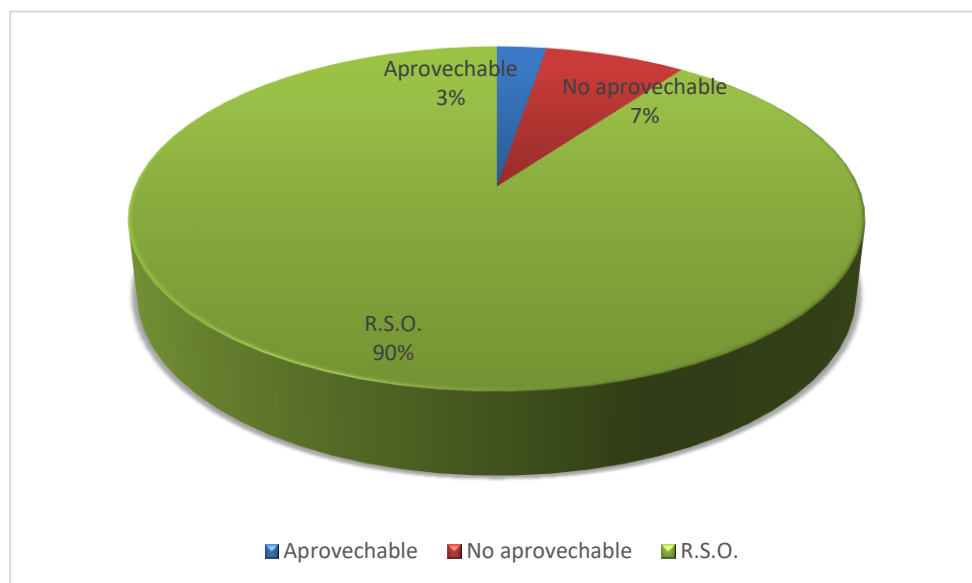


**Figura 40:** Operario realizando el proceso de separación de residuos.

Cada grupo de residuos fue pesado, obteniendo una relación porcentual sobre el total. Los datos del proceso se muestran en la Tabla 14 y se explican gráficamente en la Figura 41.

**Tabla 14:** Datos de bolsas de los locales en proporción por tipo de residuo.

Tipo	Peso (kg)	Porcentaje (%)
<b>Aprovechable</b>	1,3	2,53%
<b>No aprovechable</b>	3,7	7,32%
<b>R.S.O.</b>	45	90,15%
<b>Total</b>	50	100%



**Figura 41:** Composición de los RS generados en la plaza de mercado de Fusagasugá.

Teniendo presente las grandes cantidades residuos que genera una plaza mercado y los resultados obtenidos en la sección, es posible afirmar que:

- Los residuos que se generan diariamente en la plaza de mercado de Fusagasugá se componen de un 90% de orgánicos aproximadamente.
- Existe una gran producción de residuos orgánicos que están siendo desaprovechados y apoya la idea de generar una oportunidad de desarrollo socioeconómico para la población.

- Aunque la presencia porcentual de los residuos reciclables es baja, también podría generarse un proyecto de aprovechamiento de estos, creando así una posibilidad beneficiosa para la población y a la vez ayudar al medio ambiente.

#### 6.2.2.5. Pesaje de residuos totales y determinación de la densidad volumétrica:

Para la obtención de la información de cantidad total de los residuos generados en la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá, se realizaron pesajes durante una semana, en ambos horarios de recolección.

Los operarios y coordinadores de actividad se reunieron en el espacio destinado por la empresa de aseo para recoger los residuos de la plaza, utilizando los elementos de protección personal. Cada una de las canecas de residuos fue etiquetada con un número del 1 al 21, para poder relacionar el peso de una, como se evidencia en la Figura 42.



**Figura 42:** Operario marcando cada una de las canecas con su número de identificación.

La Tabla 15 contiene el pesaje total por cada día de la semana en la que se realizaron los pesajes de los residuos que se generan en la plaza de mercado de Fusagasugá y su respectivo acumulado semanal.

**Tabla 15:** Peso total de los residuos durante cada día de una semana.

<b>Día</b>	<b>Peso Total de residuos por día (kg)</b>
<b>Lunes</b>	1106,72
<b>Martes</b>	1011,46
<b>Miércoles</b>	1047,65
<b>Jueves</b>	967,84
<b>Viernes</b>	1039,84
<b>Sábado</b>	1553,85
<b>Domingo</b>	1409,28
<b>Acumulado</b>	<b>8136,64</b>

Por último, con base en la información de la Tabla 15 y el volumen de las canecas, que es de 240 litros, se define la relación de densidad de los residuos, los resultados se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16:** Valores de densidades diarias de los residuos generados en la plaza de mercado de Fusagasugá.

<b>Día</b>	<b>Peso Total de residuos por día (kg)</b>	<b>Volumen total de los recipientes utilizados (<math>m^3</math>)</b>	<b>Densidad de residuo por día (<math>kg/m^3</math>)</b>
<b>Lunes</b>	1106,72	5,04	219,59
<b>Martes</b>	1011,46	5,04	200,69
<b>Miércoles</b>	1047,65	5,04	207,87
<b>Jueves</b>	967,84	5,04	192,03
<b>Viernes</b>	1039,84	5,04	206,32
<b>Sábado</b>	1553,85	5,04	308,30
<b>Domingo</b>	1409,28	5,04	279,62

Es importante mencionar que, en la actualización del plan de gestión integral de residuos sólidos PGIRS de Fusagasugá del año 2016 [50], se nombran algunos programas de aprovechamiento, realizando una caracterización de residuos para el desarrollo e implementación de sistemas de aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos, esto debido a que los proyectos deben tener como base y soporte los resultados obtenidos del muestreo en el punto de generación. En [50] determinan por medio de proyecciones, que en la plaza de mercado se generan 3 Ton/día, lo que aproximadamente representan 60 bultos, sin embargo, en el documento no se detalla el proceso de caracterización realizado. El costo de recolección y transporte diario es de \$2.100.000, de esta manera, creando los procesos de aprovechamiento de los R.S.O (constituyen el 90% de los residuos totales de la plaza de mercado) propuestas en este proyecto, existiría un ahorro de \$1.890.000 diarios, lo que representaría en el mes un monto de \$56.700.000 ahorrados.

Un mayor detalle del procedimiento de caracterización de los residuos de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá, puede encontrarse en el documento [“diagnóstico de la plaza de mercado”](#)

### 6.3. Índices de producción de biodigestores anaeróbicos.

El incremento en la aplicación de tecnologías para la producción de biogás en América Latina y el mundo, en gran parte, es incentivado por los beneficios ambientales y económicos que este conlleva. La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes del aire son uno de los aspectos beneficiosos en términos ambientales, esto producto de la disminución del uso de leña o queroseno en sus diferentes aplicaciones en los hogares. En la Tabla 17 se muestran las emisiones de gases en la quema de diferentes tipos de combustibles.

**Tabla 17.** Emisiones de gases por la quema de diferentes combustibles.

Cantidad y tipo de combustible	Emisiones (kg de dióxido de carbono)
1 kg de leña	1,70
1 kg de carbón	3,45
1 L de queroseno	2,50
1 L de LPG	1,45
1 kg de LPG	1,90

**Fuente:** Measuring small-scale biogas capacity and production [51].

Una empresa productora de energía renovable en Reino Unido propone un biodigestor cuya ficha técnica ofrece una producción de biogás en m<sup>3</sup> por cada tonelada de materia prima que se introduce al biodigestor, a su vez, se muestra el precio equivalente que puede llegar a costar el biogás producido en la moneda inglesa para su venta, como se muestra en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Producción de biogás de las diferentes materias primas

Materia prima	Producción de biogás por materia prima ( $m^3$ por tonelada)	Valor equivalente (£ por tonelada)
Lodos de ganado	15 – 25	4.00 – 6.00
Lodos de cerdo	15 – 25	4.00 – 6.80
Aves de corral	30 – 100	8.10 – 27.00
Ensilado de maíz	200 – 220	54.40 – 60.00
Ensilado de hierba	160 – 200	43.50 – 54.40
Trigo de cultivo entero	185	50
Glicerina bruta	580 – 1000	155 – 270
Harina de colza	620	168

**Fuente:** Measuring small-scale biogas capacity and production, International Renewable Energy Agency (IRENA) [52].

NNFCC muestra el rendimiento energético del biogás por  $m^3$  en la ficha técnica del biodigestor, estos datos se presentan en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Producción de energía por  $m^3$  de biogas.

	Valor energético
1 $m^3$ de Biogás	23 MJ
Únicamente electricidad	1.7 kWh
Únicamente calor	2.5 kWh
CHP de biogás	1.7 kWh y 2 kWh

**Fuente:** NNFCC Renewable Fuels and Contact our Agriculture Expert [52].

En [53] se muestra el diseño de un biodigestor para la obtención de gas metano con el uso de excremento de vacas y cerdos. Una vaca puede producir una mezcla de estiércol, orina y agua de aproximadamente 25 litros, sumado con la configuración de temperatura dentro del biodigestor a 30 °C en un lapso de 24 días, se pueden obtener los resultados que se tabularon en la Tabla 20.

**Tabla 20.** Producción de biogás obtenido con el proceso de digestión anaeróbica. [53]

Mes	PGB ( $m^3$ )	Energía obtenida del PGB (kWh)	Energía utilizada en el biodigestor kWh
Mayo	868	5205	108.6
Junio	840	5037	2948.4
Julio	868	5205	2948.4
Agosto	868	5205	2948.4
Septiembre	840	5037	400

El biodigestor contaba con una capacidad aproximada de  $39 \text{ m}^3$ , con unas dimensiones del contenedor de 2 m de alto y 5 m de diámetro. El recinto de hormigón se construyó a 1,95 m de profundidad bajo tierra.

El tercer biodigestor cuyos parámetros técnicos se presentan en la Tabla 21 y Tabla 22, puede llegar a producir  $6 \text{ m}^3$  de gas metano por día, alimentando el biodigestor a su máxima capacidad de residuos de alimentos que son aproximadamente 75 kg en el día.

**Tabla 21.** Parámetros técnicos del biodigestor.

Volumen total del biodigestor	Diámetro del biodigestor	Altura del biodigestor	Potencia para el calor	Potencia por eliminación de residuos
$2.4 \text{ m}^3$	1500 mm	2000 mm	2.72 kW	2.2 kW

**Fuente:** PUXIN high efficiency and automated anaerobic treatment system [54].

**Tabla 22.** Capacidad máxima de alimentación diaria en el biodigestor.

	Residuos de alimentos	Estiércol de vaca	Estiércol de cerdo	Estiércol de pollo
<b>Alimentación máxima de residuos (kg/d)</b>	75	186	134	80
<b>Producción de biogás (<math>\text{m}^3/\text{d}</math>)</b>	6	6	6	6

**Fuente:** PUXIN high efficiency and automated anaerobic treatment system [54].

#### 6.4. Relación de demanda y producción energética.

Analizando los conceptos presentados en el inciso anterior, se puede relacionar la producción de biogás en términos energéticos de un biodigestor, esto con el objetivo de conocer los parámetros técnicos necesarios para suplir con la demanda energética de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá.



En la Tabla 18 se presentaban la producción de biogás con el biodigestor que ofrece NN FCC esto dependiendo de la materia prima con la que se alimente el biodigestor, haciendo la conversión de  $m^3$  de biogás producido a energía como se presenta en la Tabla 19, se puede notar que una tonelada de lodos de vaca pueden generar entre 95,8333 kWh/día y 159,7222 kWh/día, o bien, 4791,6 kWh/mes lo que significaría cubrir con aproximadamente el 35,47% de la demanda energética de la plaza de mercado, aunque se debe tener en cuenta que al ser residuos orgánicos, la producción de kWh puede ser menor.

En la Tabla 20 se muestra la energía obtenida mensualmente con el biodigestor que se especifica en [53], al realizar la relación de la producción de energía de ese biodigestor, con la demanda de la plaza de mercado, se evidencia que suple con aproximadamente el 38,04% de la demanda de energía máxima en el mes. Para la producción de biogás que ofrece el biodigestor de la empresa PUXIN presentado en la Tabla 22, con 75 kg produce 6  $m^3$ /día, lo que aproximadamente 38,3333 kWh/día haciendo la conversión que se presenta en la Tabla 19, que equivaldría a 1149,9 kWh/mes, supliendo la plaza de mercado con aproximadamente el 8,51% de la energía máxima a satisfacer, lo que haría necesario implementar seis biodigestores de estas características para suplir con el 100% de la demanda energética.

En la Tabla 23 se realiza una comparación de los biodigestores analizados y realizando la conversión de  $m^3$  de biogás a cantidad de energía que puede suplir dentro de las instalaciones eléctricas de la plaza de mercado de Fusagasugá. En la revisión realizada por B. Bharathiraja en [55], explica que una tonelada de R.S.O puede llegar a generar 207.2 kWh, lo que significaría que los residuos de la plaza de mercado en el podrían generar 6216 kWh/mes, produciendo el 46,03% de la energía que consume el establecimiento comercial en un mes.

**Tabla 23.** Comparativa de producción energética en el mes y satisfacción de la demanda energética de la plaza de mercado.

Biodigestor	Producción de energía aproximada (kWh/mes)	Satisfacción de la demanda energética (%)
NN FCC	4791,6	35,47
Biodigestor presentado en [53]	5137,8	38,04
PUXIN	1149,9	8,51
Biodigestor presentado en [55].	6216	46,03

## **7. Capítulo 6. Sistema electrónico de verificación del protocolo de manejo de residuos.**

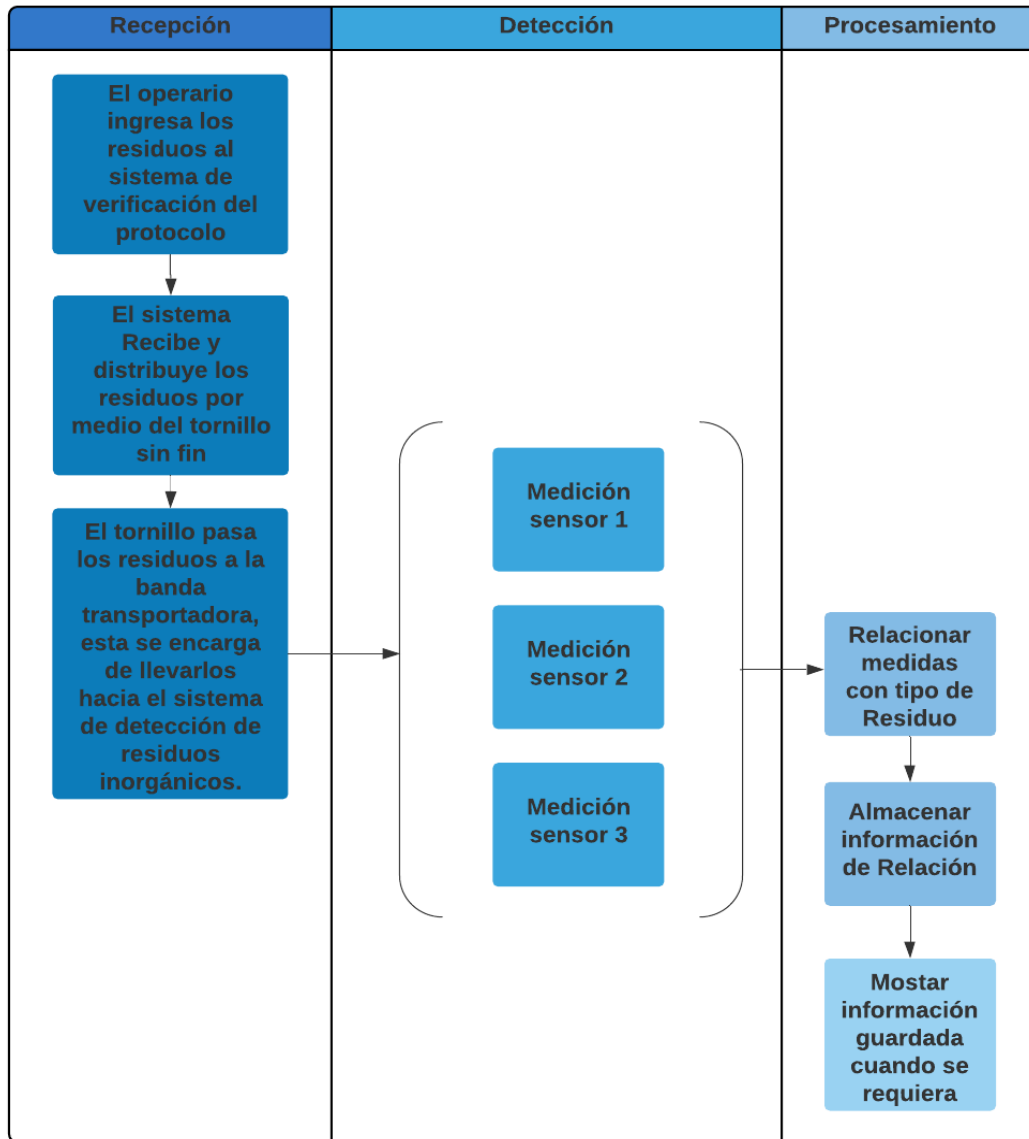
---

Estos métodos de verificación buscan establecer el cumplimiento del protocolo de manejo de residuos establecido, a partir de la detección de materiales inorgánicos que puedan ingresar al biodigestor.

El sistema electrónico de verificación del protocolo debe diseñarse con los siguientes criterios:

- Suministro de residuos sólidos desde los contenedores hacia una única entrada.
- Detección de los residuos inorgánicos más comunes en una plaza de mercado como la del municipio de Fusagasugá.
- Velocidad de procesamiento adecuada para las grandes cantidades de residuos que deben ingresar al biodigestor.
- Almacenamiento y visualización de información de detección por mes.

Para cumplir con los anteriores criterios se tendrán en cuenta 3 sistemas principales: el sistema de recepción de residuos (distribución y transporte), el sistema de detección de inorgánicos y el sistema de procesamiento de información. Los 3 sistemas anteriores se describen en la Figura 43.



**Figura 43:** Descripción del sistema electrónico de verificación del protocolo de manejo de residuos.

## 7.1. Sistema de Recepción de Residuos.

El sistema de recepción de residuos consta de dos subsistemas: el de distribución y el de transporte. En el primero se utiliza un tornillo sin fin para la extracción de los R.S.O. de manera proporcional. El segundo subsistema, consta de una banda transportadora, sincronizada con el primer subsistema de distribución, con el propósito de mantener una velocidad constante para la lectura de los datos en los sensores de identificación de los residuos.

### 7.1.1. Sistema de distribución.

En el diseño del tornillo, primero se consideró la capacidad de procesamiento de R.S.O que son aproximadamente 1000 kg diarios. En este caso particular, se determinó un paso de 200 mm y un radio de 490 mm para la rosca y 190 mm sin la rosca como muestra. Además, se añadió un eje de rotación para que pudiese ser acoplado con el motorreductor de 2 pulgadas. Según la Ecuación (3) se encontró, que de acuerdo con la relación marcada por la Tabla 24, el volumen de transporte con 9 álabes tendrá una capacidad para contener 11.6055 kg por cada álabes. En la Figura 44 presenta el diseño establecido para el tornillo sin fin.

$$RPM = \frac{50}{D_o^{2/3}} \quad (3)$$

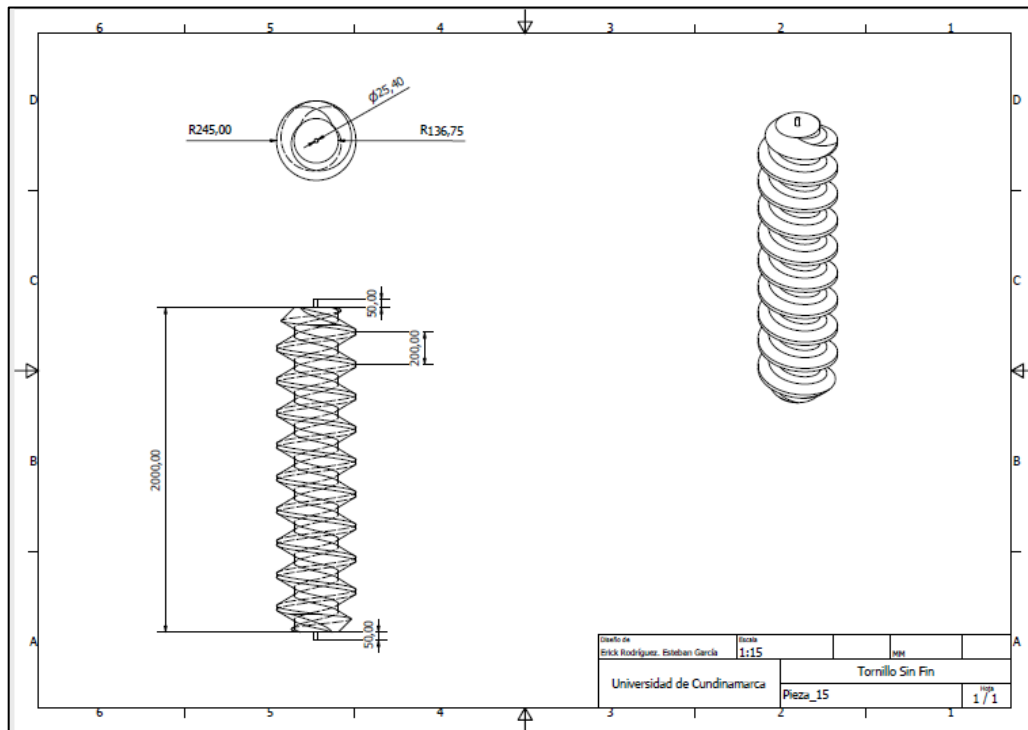


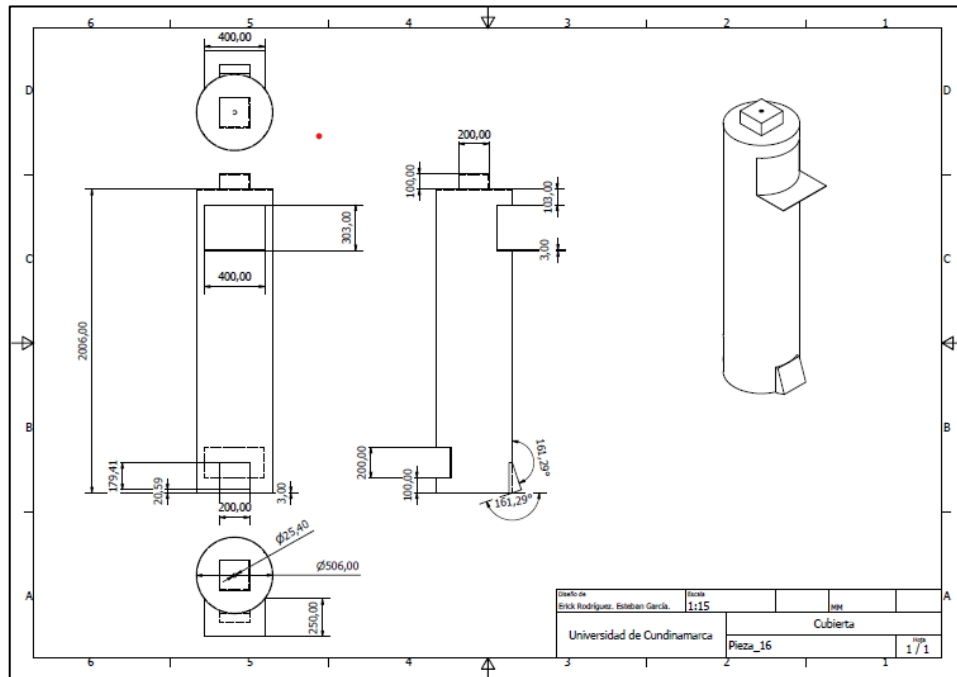
Figura 44: CAD del tornillo sin fin de la banda.

**Tabla 24:** Diámetros y áreas de roscas métricas.

Diámetro mayor nominal d, mm	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión de A <sub>d</sub> , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor A <sub>D</sub> , mm <sup>2</sup>
16	2	157	144
20	2.5	245	225
24	3	353	324
30	3.5	561	519
36	4	817	759
42	4.5	1120	1050
48	5	1470	1380
56	5.5	2030	1910
64	6	2680	2520
72	6	3460	3280
80	6	4340	4140
90	6	5590	5360
100	6	6990	6740

**Fuente:** Modelamiento fluidodinámico de turbina en base a tornillo de Arquímedes en relaves mineros [38].

Luego se acopló a una cubierta de 500 mm de diámetro con un grosor de 3 mm, y una altura de 2006 mm. Esta tiene como objetivo facilitar el ingreso de residuos orgánicos en la banda. En la Figura 45 se muestra la cubierta del tornillo sin fin.



**Figura 45:** CAD de la cubierta del tornillo sin fin.

#### **7.1.1.1. Motor para el tornillo sin fin.**

El motor será aplicado para el giro del tornillo sin fin, necesitará una potencia nominal 420 W aproximadamente para condiciones de trabajo normales. Con el fin de exceder la fricción provocada por el material sólido orgánico y el peso que este tiene, se eligió esta potencia marcada por motorreductores comerciales. La ficha técnica del motor escogido se presenta en la Tabla 25.

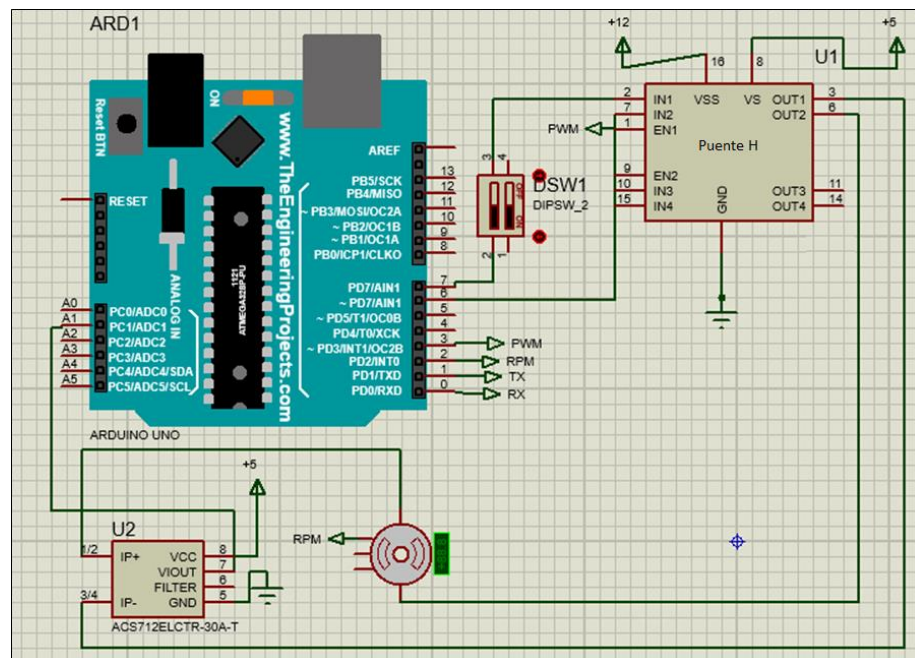
El motor tendrá una regulación de tensión, con el fin de controlar proporcionalmente la velocidad del motor, usando la modulación por ancho de pulsos PWM, esto se logra utilizando un circuito diseñado con un transistor MOSFET de potencia buzz11 (hoja de especificaciones en [56]), (usaron transistor o puente H) permitiendo el control de la velocidad en motores de hasta 10 A de corriente. El motor tendrá una regulación de tensión, con el fin de controlar proporcionalmente la velocidad del motor, usando la modulación por ancho de pulsos PWM, esto se logra utilizando un circuito diseñado con un transistor MOSFET de potencia buzz11 (hoja de especificaciones en [56]), (usaron transistor o puente H) permitiendo el control de la velocidad en motores de hasta 10 A de corriente.

La velocidad de operación del motor para el tornillo sin fin es de 0.25 m/s y está sincronizado con el motor de la banda transportadora, de esta forma se evita que la cinta se sature de R.S.O. El controlador implementado para la operación del motor del tornillo sin fin se presenta en la Figura 46.

**Tabla 25:** Ficha técnica del motor para el tornillo sin fin.

Características	Descripción
Referencia	WHD123224
Tipo	Motor DC de engranaje helicoidal y escobillas.
Angulo de engranaje	Eje hueco
Tipo de cepillo del motor	Núcleo de hierro y escobillas.
Engranaje	Metal
Cojinete	Rodamiento de bolas
Eje	Acero inoxidable
Protección	IP55 con Encoder o freno IP50
Temperatura de funcionamiento	-10°C a +60°C
Reducción	15:1
Torque nominal 12V (Nm)	16
Velocidad nominal 12V (rpm)	135
Torque nominal 24V (Nm)	16
Velocidad nominal 24V (rpm)	135
Longitud (mm)	344
Peso (Kg)	14

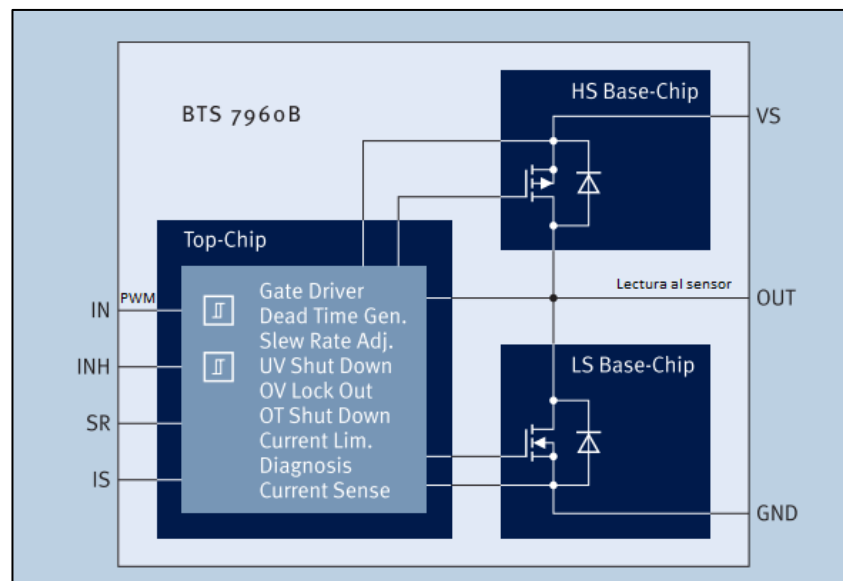
**Fuente:** Ficha técnica del motor DC WHD123224 [57].



**Figura 46:** Esquema circuital para controlar el motor ubicado en el extremo del tornillo sin fin.

En la Figura 46 se puede visualizar el puente H BTS 7960B, cuya función está destinada al accionamiento del motor, soporta hasta 33 A como lo indica su ficha de especificaciones [58]. Por otra parte, se presenta el sensor ACS712 para la medida de la corriente de armadura del motor. Mediante el valor de corriente se monitorea el torque del motor y se evitan puntos críticos de funcionamiento. Cuando la corriente excede su valor máximo de funcionamiento, el controlador desconectará el sistema de potencia.

En la Figura 47 se presenta de manera detallada el esquema circuital del puente H BTS 7960B, empleado en la simulación de Proteus para la fase de potencia, siendo su entrada el PWM fijado desde el Arduino, y su salida irá conectada al sensor ACS712 como se muestra anteriormente en la Figura 46.

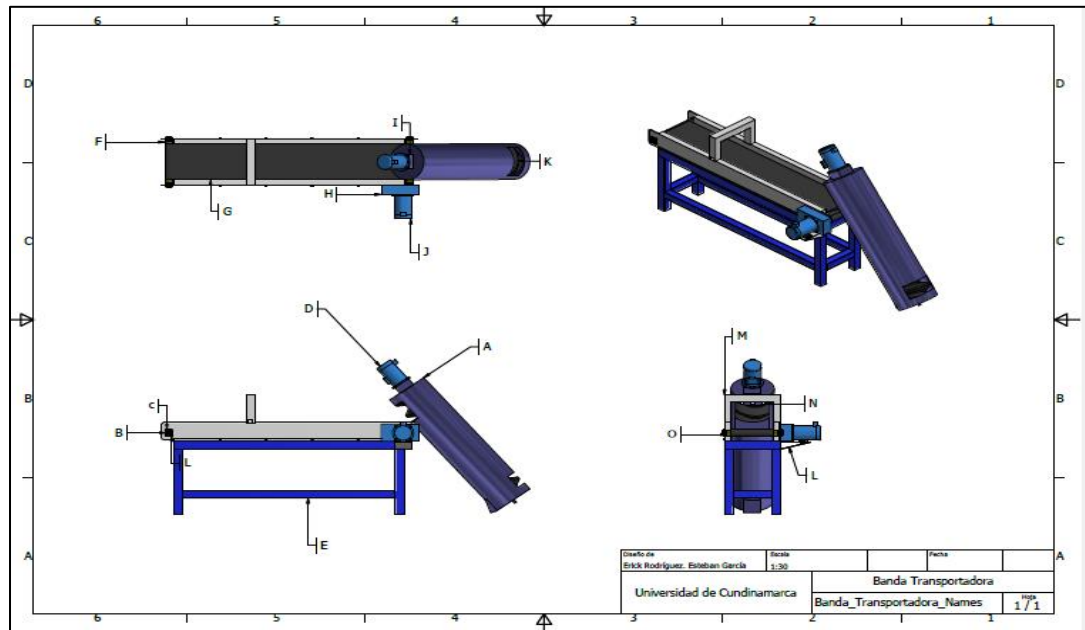


**Figura 47.** Diagrama circuital del puente H BTS7960B [58].

### 7.1.2. Sistema de transporte.

El sistema de distribución acoplado al sistema de transporte se muestra en la Figura 48.





**Figura 48:** Sistema de distribución y transporte acoplados.

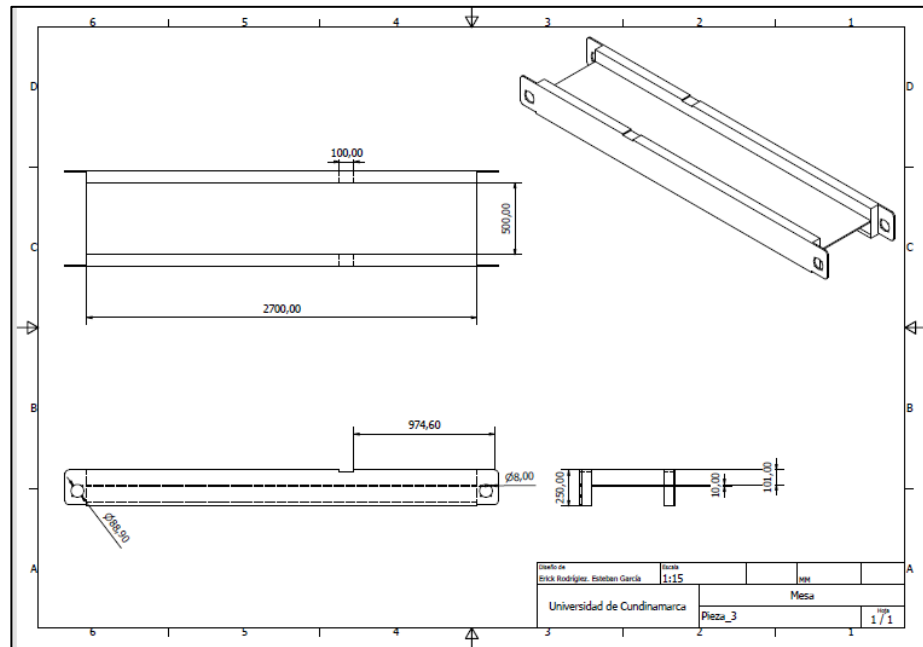
### 7.1.2.1. Ancho de la banda

El ancho de la banda transportadora se diseñó partiendo de la capacidad de materiales que se necesita transportar, que son aproximadamente 1000 kg de R.S.O en el día. Según la norma DIN, como se muestra en la Tabla 26, para este caso en particular se tomó una medida de 503 mm de ancho (Figura 49).

**Tabla 26:** Diámetros y áreas de roscas métricas.

Número de álabes	P Óptimo	$\Lambda$ Óptimo	V Óptimo
1	0.5358	0.1285	0.2811
2	0.5369	0.1863	0.2747
3	0.5357	0.2217	0.2897
4	0.5353	0.2456	0.2667
5	0.5352	0.2630	0.2647

**Fuente:** Modelamiento fluidodinámico de turbina en base a tornillo de Arquímedes en relaves mineros [38].



**Figura 49:** CAD de mesa de la banda transportadora.

### 7.1.2.2. Largo de la banda

El largo de la banda está definido, principalmente, considerando las condiciones que el entorno de trabajo ofrece, por lo que la longitud máxima permisible es de 3 metros de largo.

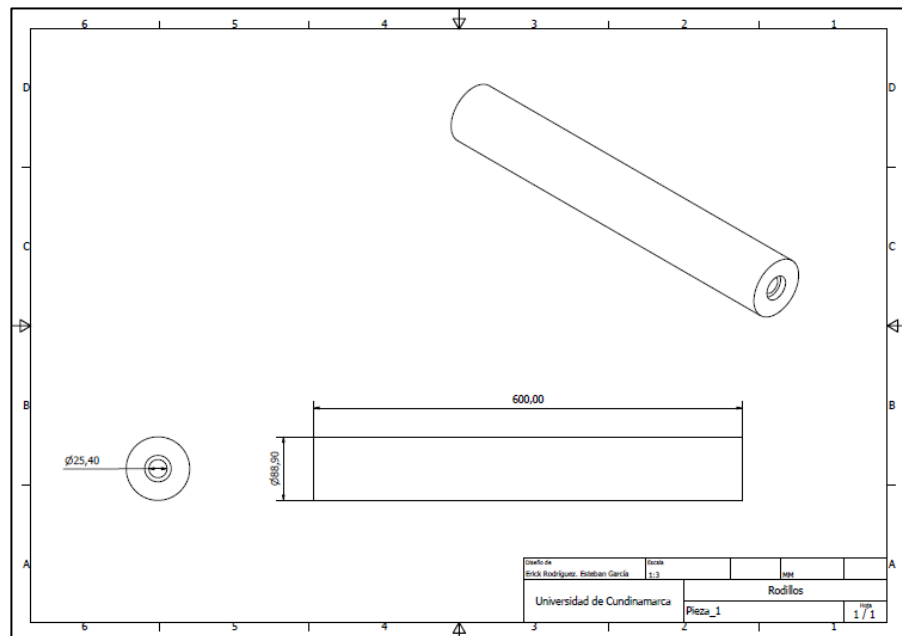
### 7.1.2.3. Diseño del rodillo

Las medidas establecidas para el rodillo de la banda transportadora se fundamentan en la norma DIN 1527 Y 22107, a su vez, se corroboran los datos escogidos con algunos fabricantes para conocer la facilidad de compra de estos rodillos con estas medidas, comprobando que son bastante comerciales. De este modo, el rodillo se diseñó con un diámetro de 88.9 mm, el ancho de 600 mm como se indica en la norma DIN 22101 en la Tabla 27 para los rodillos motriz y contra tambor, estos en material de acero. En la Figura 50 se muestra el CAD correspondiente a los rodillos de la banda.

**Tabla 27:** Medidas estandarizadas de los rodillos.

Diámetro de los rodillos [mm]								
Rodillos portantes	51	63.5	88.9	108	133	159	193.7	219
Rodillos de impacto				156	180	215	250	290

**Fuente:** Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab [40].



**Figura 50:** CAD de rodillos de la banda.

#### 7.1.2.4. Medidas de la cinta

Tomando en cuenta la longitud de la banda, la cinta deberá medir, por lo menos el doble, es decir 6.1 metros de longitud. En cuanto al ancho, será de 500 mm, respetando 1.5 milímetros de distancia entre cada pared de la banda.

#### 7.1.2.5. Diseño de la estructura de la banda transportadora

Se sostendrá por medio de una estructura tubular cuadrada de 1.20 metros de altura, con un tubo acero ANSI AISC 4x4x1/8 pulgadas.

### 7.1.2.6. Motor para la banda transportadora.

Para el desplazamiento de la banda transportadora se utilizará un motor con las mismas características que el motor del tornillo sin fin especificado en la Tabla 25. Este motor estará acoplado en la cabeza de la banda transportadora, en el rodillo motriz y tendrá una potencia máxima de 420 W aproximadamente, esto último basado en la norma HD 213 que se presenta en la

**Tabla 28:** Medida establecida en la Norma HD 231 para el tamaño teniendo en cuenta la relación de potencia y tamaño.

Tamaño carcasa [mm]	112 M	132 M	132 M	160 M	160 L	180 M	180 L	200 L	225 S	225 M	250 M	280 S
Potencia [Kw]	4	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	37	45	55	75
Tamaño carcasa [mm]	280 M	315 S	315 M	315 L	315 L	315	355	355	355	355	400	400
Potencia [Kw]	90	110	132	160	200	250	315	355	400	500	560	630

**Fuente:** Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab [40].

El motor debe contar con un controlador PID de velocidad, esto debido que la cinta de la banda transportadora debe tener una velocidad constante que permita una lectura confiable de los R.S.O en los sensores. Para este fin se van a usar tres softwares que serán las herramientas de diseño para el controlador: MATLAB, específicamente PID Tuner y Simulink, Proteus y LabVIEW para la visualización de la respuesta del motor con su controlador.

Inicialmente se parte de la función de transferencia, que es la representación de la salida sobre la entrada, que es la velocidad angular y el voltaje respectivamente, esto se muestra en la Ecuación (4).

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K_m}{LJs^2 + (RJ + LB)s + RB + K_a K_m} \quad (4)$$

Donde:

$K_a$  y  $K_m$ : Constantes proporcionales

$L$ : Inductancia del motor

$J$ : Inercia del motor

$R$ : Resistencia de armadura

$B$ : Pérdidas por fricción

Posteriormente se procede a realizar la representación en espacio de estados de la función de transferencia. Esta representación será útil en la simulación que se realizará en Simulink de MATLAB. Los valores que se van a reemplazar en la Ecuación (5) se muestran en la Figura 51

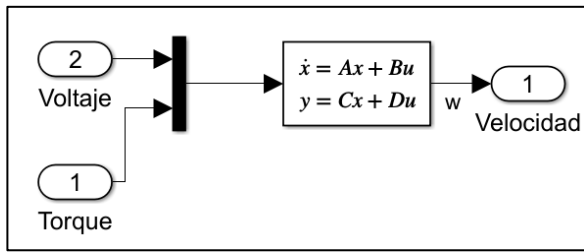
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{B}{J} & \frac{K_m}{j} \\ -\frac{K_a}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} V \quad (5)$$

Name	Value	DataType	Dimensions	Complexity
J	2.2	double (auto)	[1 1]	real
K	0.088	double (auto)	[1 1]	real
L	0.5	double (auto)	[1 1]	real
R	0.955	double (auto)	[1 1]	real
b	0.1	double (auto)	[1 1]	real

**Figura 51:** Parámetros del motor.

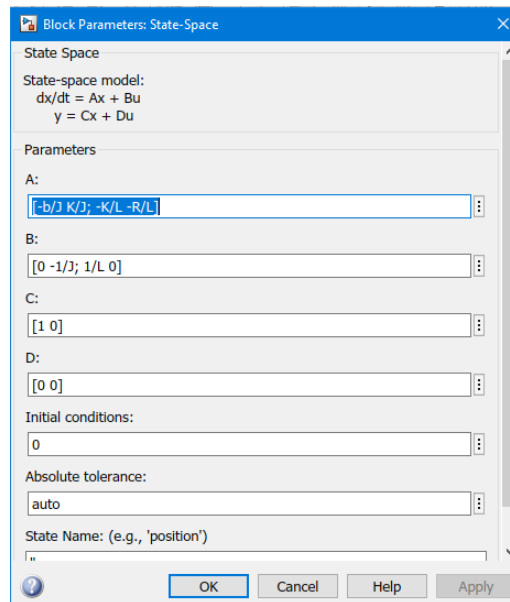
En este punto se procedió a realizar el controlador PID que permite que la banda transportadora opere en la velocidad deseada, esta simulación se realizó haciendo uso de la herramienta de Simulink que ofrece Matlab en la versión R2018b.

Para la simulación del motor, se establece representación en espacio de estados como se muestra en la Figura 52.



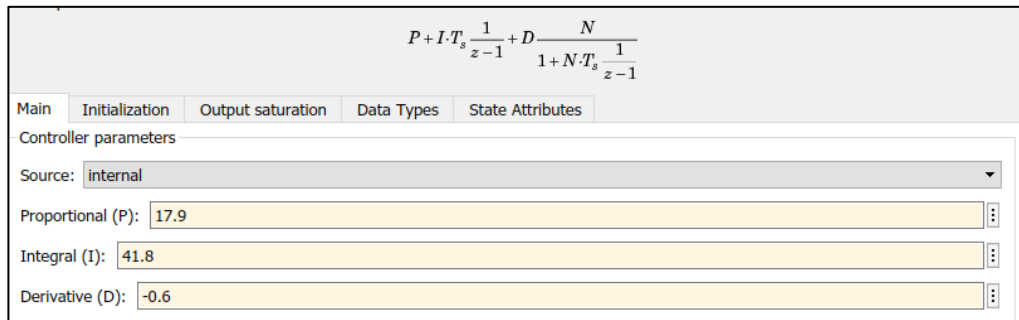
**Figura 52:** Diagrama de bloques que simula el motor DC en simulink.

Dentro del bloque de representación de estados, se toma  $K_m$  y  $K_a$  como  $K$ , esto debido a que sus valores son aproximadamente iguales, y se añaden al programa como se muestra en la Figura 53.

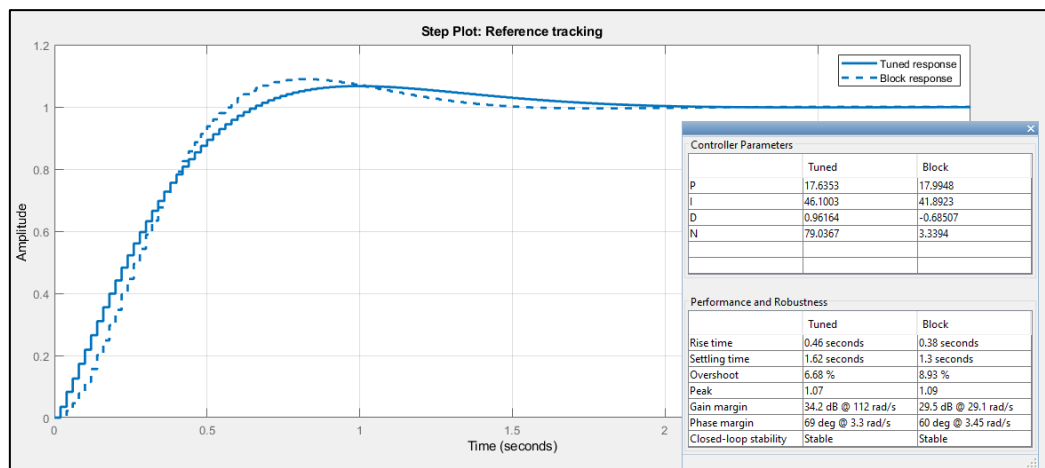


**Figura 53:** Valores establecidos dentro del bloque de la representación de estados para el motor DC.

Una vez construido el bloque que simulará el motor, se procedió a configurar el PID, donde se digitan los valores de  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  resultantes de los cálculos, sin embargo, se puede usar la herramienta de PID Tuner para fijar unas constantes del controlador más exactas. En la Figura 54 se muestran los valores calculados en los parámetros del bloque. El PID Tuner ofrece una configuración más precisa del controlador, como se muestra en la Figura 55 presentando la respuesta del motor en el tiempo con los parámetros calculados y los establecidos por PID Tuner.

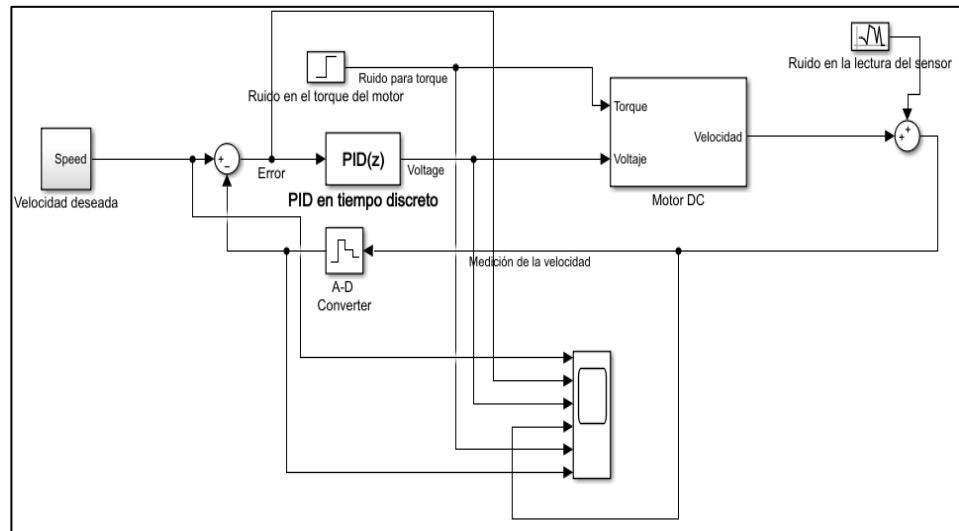


**Figura 54:** Valores de  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  calculados en el diseño del PID.

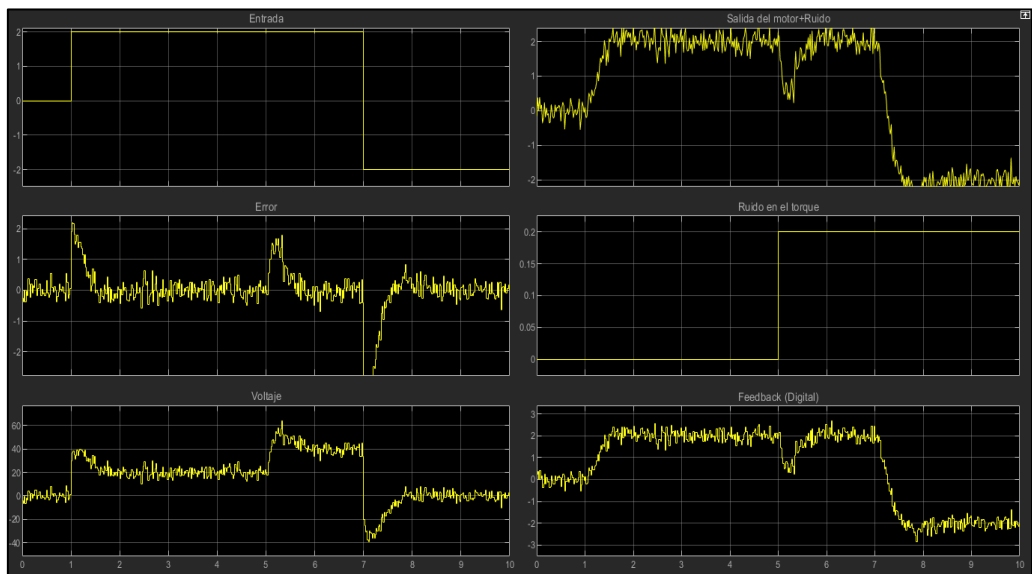


**Figura 55:** Respuesta del controlador con las constantes  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  que sugiere el tool PID Tuner con la línea en azul, y la señal interlineada con las constates calculadas.

El diagrama de bloques completo se muestra en la Figura 56 y en la Figura 57, la respuesta proporcionada por Simulink de cada una de las etapas simuladas.



**Figura 56:** Diagrama de bloques del motor DC y el controlador PID.



**Figura 57:** Respuesta de cada una de las etapas del sistema simulado.

Las constantes proporcionadas por el PID Tuner finalmente se introducen en el código de Arduino como se muestra en la Figura 58.



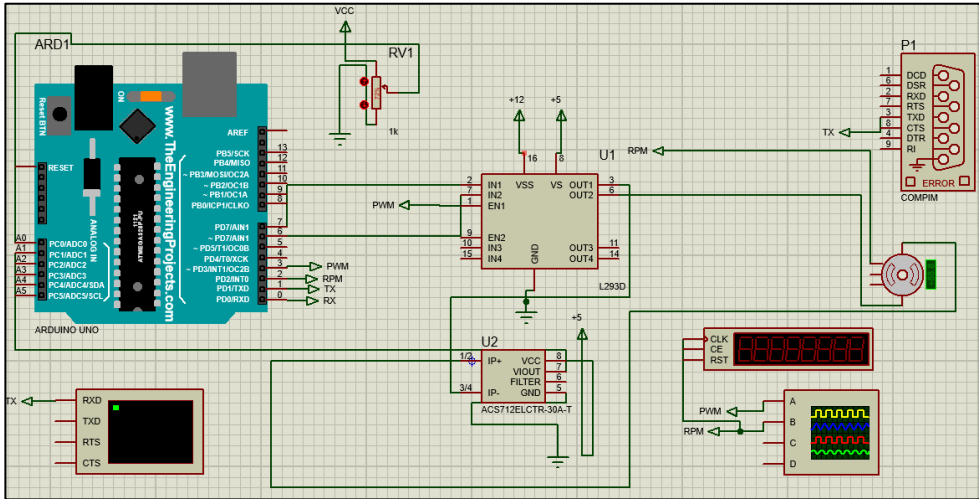
```
//variables pid
float kp=17,5363,ki=46,10,kd=0,96;
float salida;

float error,up,ui=0.0,ui_=0.0,error_=0.0,ud,ut;
float set_point=0;
```

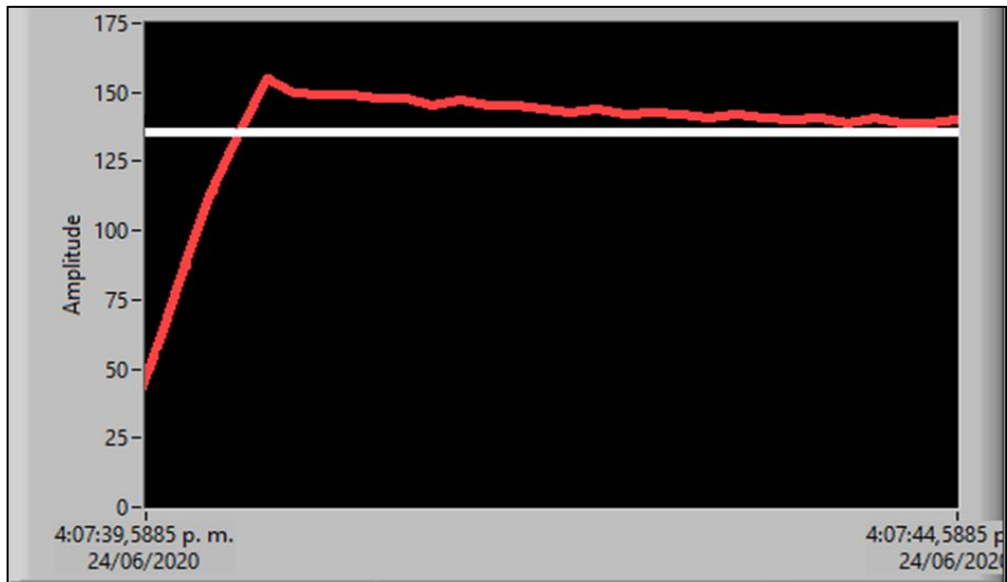
**Figura 58:** Código de Arduino con las variables proporcionadas por PID Tuner.

El controlador PID que establecerá el control de velocidad para el motor de la banda transportadora se simula en Proteus, como se muestra en la Figura 59. Cabe mencionar que al igual que el motor del tornillo sin fin, el motor de la banda transportadora tendrá implementado el sensor ACS712 para la medida de la corriente de armadura del motor. Es importante mencionar que el motor en la simulación debe contener un Encoder con el fin de conocer la velocidad del motor, ya que este será la variable que se irá modificando hasta llegar al Setpoint.

Como se había mencionado anteriormente, se utilizará el software LabVIEW para visualizar la respuesta en el tiempo del motor simulado en Proteus, con el fin de mostrar el comportamiento del motor al establecer una velocidad en RPM como Setpoint, esto se presenta en la Figura 60.



**Figura 59:** Esquema circuital para el control PID del motor DC de la banda transportadora.



**Figura 60:** Respuesta del motor simulado en Proteus visualizado desde LabVIEW.

En la Figura 60 se puede observar la respuesta del motor aplicando el controlador PID diseñado en color rojo, en blanco se muestra el Setpoint de la velocidad (135 RPM) que es configurable a la velocidad que se requiere en la cinta de la banda transportadora.

#### 7.1.2.7. Capacidad de la banda transportadora

La capacidad viene definida por la Ecuación (6), en donde se encontró que esta será de 95.5 t/h, debido a que se van a transportar diariamente un estimado aproximado de 1000 kg de R.S.O sobre la cinta de la banda transportadora.

$$C = 3600 \cdot v \cdot A \cdot \gamma \quad (6)$$

Donde:

C: Capacidad de la banda	[t/h]
V: Velocidad	[m/s]
A: Sección transversal del material	[m <sup>3</sup> ]
$\gamma$ : Peso del material a transportar	[t/m <sup>3</sup> ]

## 7.2. Sistema de detección de inorgánicos.

Los materiales reciclables que más se encuentra en los residuos sólidos generados en Colombia y que afectarían la producción de metano del biodigestor, son el plástico, el metal y vidrio [9]. Por tal razón el método que se implementaría para el sistema de verificación del protocolo de manejo de residuos sólidos se debe centrar en la detección de dichos materiales. Basados en la información del estado del arte del documento, es posible afirmar que los sensores utilizados para tal propósito son los infrarrojos, capacitivos e inductivos.

### 7.2.1. Características y resultados de sensores aplicables.

Dado que ya se conocen los sensores que mejores resultados ofrecen en la aplicación, es necesario comparar sus características y costos. En la Tabla 29 se muestran los datos de algunas referencias de sensores asequibles en el mercado nacional.

**Tabla 29:** Lista y características de posibles sensores a utilizar en el sistema

SENSOR	REFERENCIA	CARACTERÍSTICAS	COSTO
Sensor Capacitivo	<a href="#">Sensor CR30-15DP[59]</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia de medida de 15 mm.</li> <li>• Alimentación de 12 a 24 VDC.</li> <li>• Salida Digital</li> </ul>	\$ 218.009
	<a href="#">Sensor LJC18A3-B-Z NPN [60]</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia de medida de 10 mm.</li> <li>• Alimentación de 6 a 36 VDC.</li> <li>• Salida Digital</li> </ul>	\$41.650
Sensor Inductivo	<a href="#">Sensor PR30-15DP[61]</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia de medida 15 mm.</li> <li>• Alimentación de 12 a 24 VDC.</li> <li>• Salida digital</li> </ul>	\$ 105.371
	<a href="#">Sensor Lj12a3-4[62]</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia de medida 4 mm.</li> <li>• Alimentación de 6 a 36 VDC.</li> <li>• Salida digital.</li> </ul>	\$16.000
Sensor Óptico	<a href="#">Sensor FC-51[63]</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia de medida de 2 a 8 cm.</li> <li>• Alimentación de 3.3 a 5 VDC.</li> <li>• Salida analógica y digital.</li> </ul>	\$4.300
	<a href="#">Sensor TCS3200 [64]</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia de medida 10 mm.</li> <li>• Alimentación de 2.7 a 5.5 VDC.</li> <li>• Salida configurable analógica.</li> </ul>	\$17.300
	<a href="#">Sensor Sharp infrarrojo [65]</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia de medida de 10 a 80 cm.</li> <li>• Alimentación de 5 VDC.</li> <li>• Salida analógica.</li> </ul>	\$25.000

Diferentes autores han utilizado los tres tipos de sensores en identificación de materiales inorgánicos. En esta sección se relacionan los resultados experimentales obtenidos en diversos experimentos reportados en la literatura.

### 7.2.1.1. Sensor capacitivo y sensor inductivo:

Los sensores capacitivos e inductivos son normalmente utilizados en tareas de proximidad y detección, pero también es posible aplicarlos en el reconocimiento de materiales de dos maneras distintas, ya sea con una lectura de tensión y frecuencia, o con una lectura digital (Dos estados “High – Low”).

Los resultados de sensores capacitivos e inductivos con acondicionamiento para lectura digital se muestran en la Tabla 30. En cuanto a medidas análogas, en la Tabla 31 y la Tabla 32 se muestran valores de tensión [4] y frecuencia [33] respectivamente para un sensor capacitivo.

**Tabla 30:** Resultados de detección de sensores capacitivo (CR30-15DP) e inductivo (PR30-15DP) con un resultado fijo de sensibilidad. [4] (Señales digitales)

<b>MATERIAL/ SENSOR</b>	<b>CAPACITIVO</b>	<b>INDUCTIVO</b>
<b>Plástico</b>	No detecta	No detecta
<b>Vidrio</b>	<u>Detecta</u>	<u>No detecta</u>
<b>Papel (Tetrapak)</b>	<u>Detecta</u>	<u>Detecta</u>
<b>Metal</b>	<u>Detecta</u>	<u>Detecta</u>

**Tabla 31:** Promedio de voltaje de los materiales medidos con un sensor capacitivo.[33]

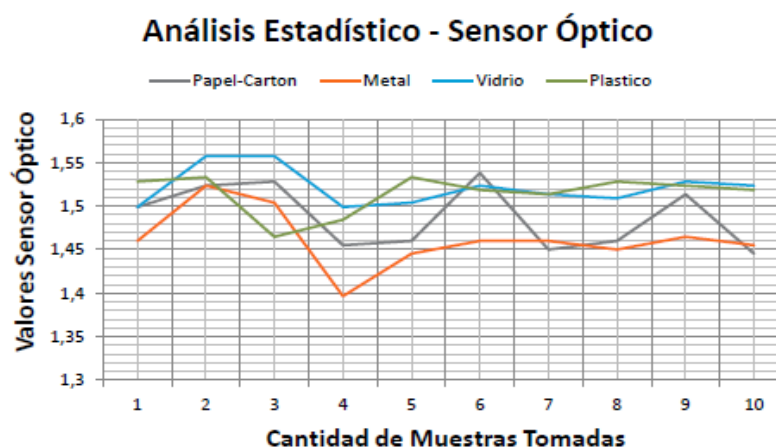
<b>MATERIAL</b>	<b>VOLTAJE PROMEDIO DE LECTURA (V)</b>
<b>Sin algún material</b>	1,41
<b>Papel</b>	1,475
<b>Plástico</b>	1,478
<b>Vidrio</b>	1,472
<b>Cartón</b>	1,467

**Tabla 32:** Medidas de frecuencia del sensor según los materiales medidos con un sensor capacitivo. [33]

MATERIAL	DISTANCIA (cm)	RESPUESTA EN FRECUENCIA (MHz)
Papel	0,5	1,21
	1	1,45
	1,5	1,56
	2	1,68
Plástico	0,5	1,33
	1	1,44
	1,5	1,52
	2	1,623
Vidrio	0,5	1,32
	1	1,34
	1,5	1,51
	2	1,72
Cartón	0,5	1,28
	1	1,29
	1,5	1,55
	2	1,75

### 7.2.1.2. Sensor óptico:

Con el sensor se realizaron un total de 10 mediciones con cada material a detectar (Papel – Cartón, Metal, vidrio, plástico). Los resultados se muestran en la Figura 61.



**Figura 61:** Resultados del sensor óptico dado en voltios con el sensor TCRT 5000.[6]

## 7.2.2. Resultados experimentales con sensores.

### 7.2.2.1. Sensores ópticos:

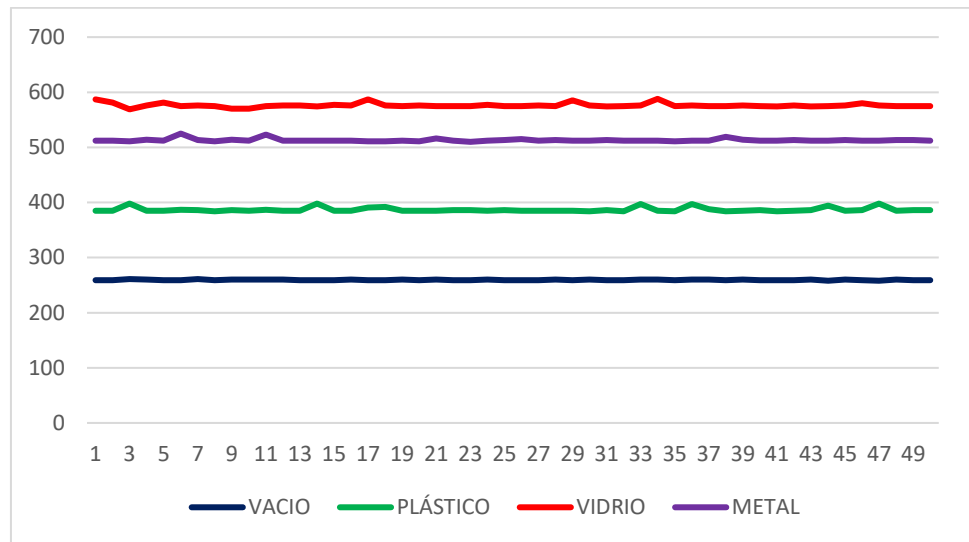
Basados en los resultados de las mediciones de los sensores descritos anteriormente, se decide ampliar la información mediante mediciones experimentales propias. Los sensores aplicados para este propósito son los ópticos, debido a que presentaron mayor variación para ser diferenciados entre sí y la distancia de medición es más amplia que la de los sensores capacitivos o inductivos.

Los sensores con los que se tomaron las medidas son el sensor SHARP *GP2Y0A21YK* e infrarrojo FC-51. Los sensores se ubicaron en una base y se conectaron al microcontrolador de prueba, así como se muestra en la Figura 62.

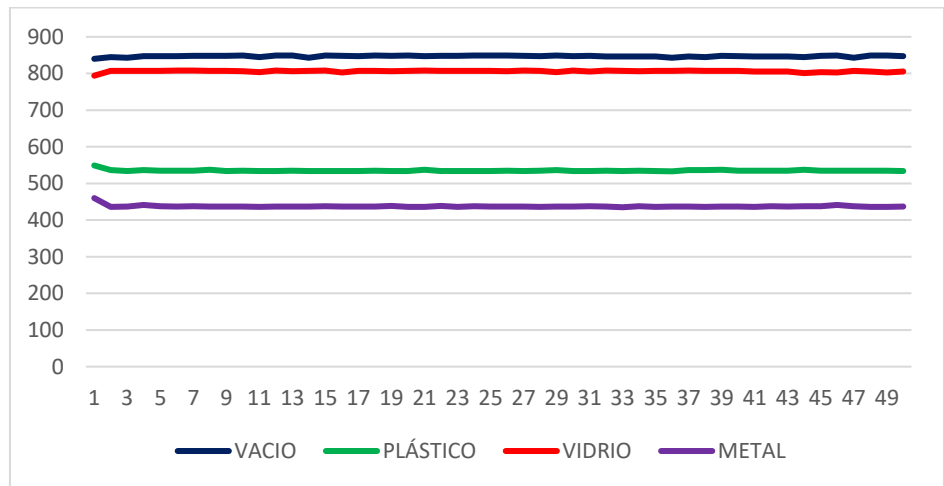


**Figura 62:** Base de sensores para medidas experimentales.

Las lecturas de las mediciones de los sensores estaban en un rango entre 0 y 1023 en los puertos ADC del microcontrolador (resolución de 10 bits). Los materiales utilizados para las pruebas fueron plástico, vidrio, metal y sin ninguno de esos (Vacío), los resultados de las 50 mediciones se pueden apreciar en la Figura 63 y en la Figura 64.



**Figura 63:** Resultados medidos con sensor SHARP *GP2Y0A21YK* con materiales inorgánicos.



**Figura 64:** Resultados medidos con sensor infrarrojo FC-51 con materiales inorgánicos.

Analizando los resultados obtenidos por los sensores, es posible afirmar que la implementación de ambas referencias proporcionaría un alto nivel de detección de los 3 tipos de materiales. Analizando los valores de medida de cada uno de estos ante los diferentes materiales, se determina que los dos sensores pueden usarse como complementos. La combinación de los dos sensores aseguraría un porcentaje alto de detección de los materiales medidos.

### 7.3. Sistema de procesamiento de información.

En esta sección se describen los métodos y dispositivos que pueden ser aplicables para el procesamiento de información. Para este caso el sistema se comprende de los elementos que se describen a continuación:

#### 7.3.1. Plataformas o microcontroladores.

Este sistema será el encargado de procesar los valores medidos por los sensores (Los ópticos para la detección y los utilizados para la medición de corriente y velocidad de los motores del sistema de recepción de residuos), generar las señales de control a los motores que se implementan en el transporte y distribución de los residuos sólidos y transmitir la información que se adquiere del proceso de verificación del protocolo de manejo de residuos. Las alternativas evaluadas para este propósito se muestran en la Tabla 33.

**Tabla 33:** Características y especificaciones de los microcontroladores aplicables para el prototipo.

<b>Características o Especificaciones</b>	<b><u>Esp32</u> [66]</b>	<b><u>Esp8266</u>[67]</b>	<b><u>Arduino Due</u>[68]</b>	<b><u>Tiva Launch Path</u>[69]</b>
<b>Precio</b>	\$31.000	\$19.000	\$79.000	\$75.000
<b>Facilidad de entorno de desarrollo</b>	Alta	Alta	Alta	Media
<b>Número de núcleos</b>	2	1	1	1
<b>Arquitectura</b>	32 bits	32 bits	32 bits	16 bits
<b>Frecuencia de CPU</b>	160 MHz	80 MHz	84 MHz	16Hz
<b>Wifi</b>	Si	Si	No	No
<b>Bluetooth</b>	Si	No	No	No
<b>Memoria RAM</b>	512 KB	160KB	94KB	521B
<b>Memoria Flash</b>	16MB	16MB	512KB	16KB
<b>Pines GPIO</b>	36	17	68	20
<b>Pines ADC</b>	18	1	12	12
<b>Pines DAC</b>	2	0	2	0
<b>Modo Ahorro de energía</b>	Si	Si	Si	Si

Según la Tabla 33 se elige el ESP32 debido a su precio, la velocidad de procesamiento, tamaño de la memoria RAM y Flash, conectividad Wifi sin módulos extras e incluir la posibilidad de trabajar con dos tareas simultáneas por el doble núcleo integrado.



El sistema propuesto para el ESP32 y los sensores empleados para la verificación del protocolo tendrá una distribución de conexiones como el que se detalla en la Tabla 34 y su diagrama se muestra en la Figura 65.

**Tabla 34:** Distribución de conexiones del ESP32 con los sensores y demás sistemas del método de verificación del protocolo de manejo de residuos.

<b>Pin de Tarjeta ESP32</b>	<b>Conexión</b>
<b>GPIO0</b>	IN1 Puente H
<b>GPIO4</b>	IN2 Puente H
<b>GPIO2</b>	IN3 Puente H
<b>GPIO12</b>	Lectura de Encoder
<b>GPIO14</b>	Touch de inicio de proceso
<b>GPIO15</b>	IN4 Puente H
<b>GPIO16</b>	ENB Puente H
<b>GPIO17</b>	ENA Puente H
<b>GPIO25</b>	Lectura de sensor Sharp
<b>GPIO26</b>	Lectura de sensor Infrarrojo
<b>GPIO27</b>	Lectura de sensor Hall
<b>GPIO32</b>	Lectura de sensor Sharp
<b>GPIO33</b>	Lectura de sensor Infrarrojo
<b>GPIO34</b>	Lectura de sensor Sharp
<b>GPIO35</b>	Lectura de sensor Infrarrojo
<b>GPIO36</b>	Lectura de sensor Sharp
<b>GPIO39</b>	Lectura de sensor Infrarrojo
<b>GND</b>	CSA Puente H, CSB Puente H, GND demás elementos del circuito

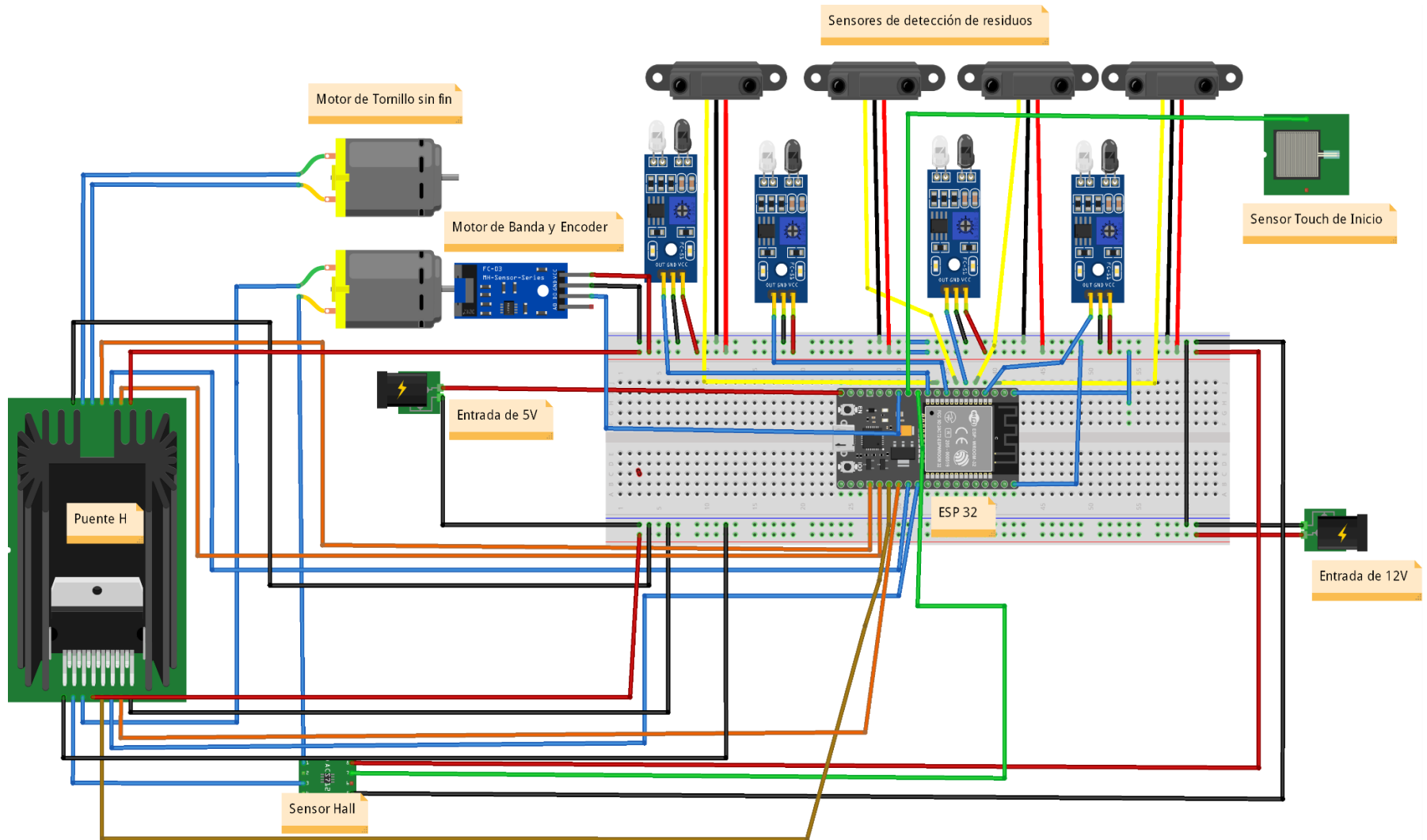


Figura 65: diagrama de conexiones de sistema propuesto para la detección de residuos inorgánicos.

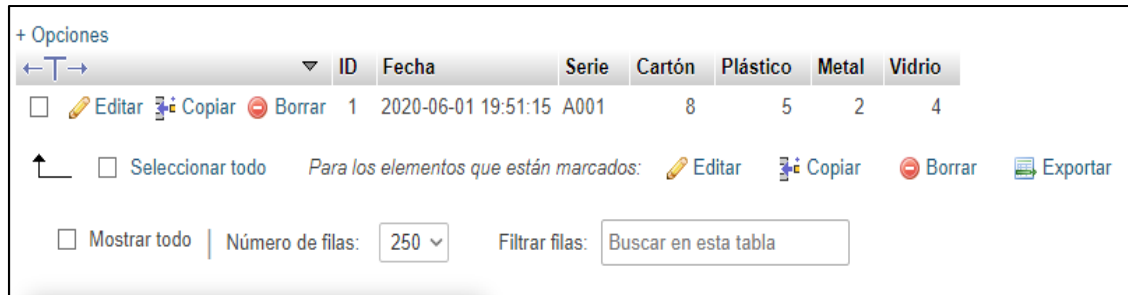
### 7.3.2. Métodos de almacenamiento de información.

Este sistema permitirá almacenar toda la información ingresada al microcontrolador, con el fin de acceder a registros previos de información. Lo anterior permitiría al usuario conocer o determinar algún cambio o comportamiento del sistema. Los sistemas de almacenamiento aplicables para el prototipo, junto a sus características y especificaciones, se muestran en la Tabla 35.

**Tabla 35:** Características y especificaciones de los sistemas de almacenamiento aplicables para el prototipo.

<b>Características o Especificaciones</b>	<b>Modulo SD</b>	<b>Modulo Lector de memoria USB</b>	<b><u>000webhost</u></b>
<b>Precio</b>	\$6.000	\$21.000	\$2.000/mes x 48 meses
<b>Facilidad de entorno de desarrollo</b>	Alta	Alta	Alta
<b>Cantidad de información que puede ser almacenada</b>	GB según la SD que se adquiera	GB según la USB que se adquiera	10 GB
<b>Gestión de Acceso remoto</b>	No aplica	No aplica	Aplica
<b>Facilidad de Gestión de Copias de seguridad</b>	Baja	Baja	Alta
<b>Acceso múltiple a la información</b>	No aplica	No aplica	Aplica
<b>Gestión de usuarios y contraseñas para acceso remoto</b>	No aplica	No aplica	Aplica

Según la Tabla 35, se elige 000webhost debido a que permite almacenar la información transmitida por Wifi del ESP32, se puede acceder a esta remota y simultáneamente por múltiples usuarios mediante la gestión de usuarios y contraseñas, la plataforma brinda la opción de copias de seguridad e incluye servicio técnico semanal. La información que se almacenaría en el servidor 000Wbhost en su base de datos es la que se muestra en la Figura 66.



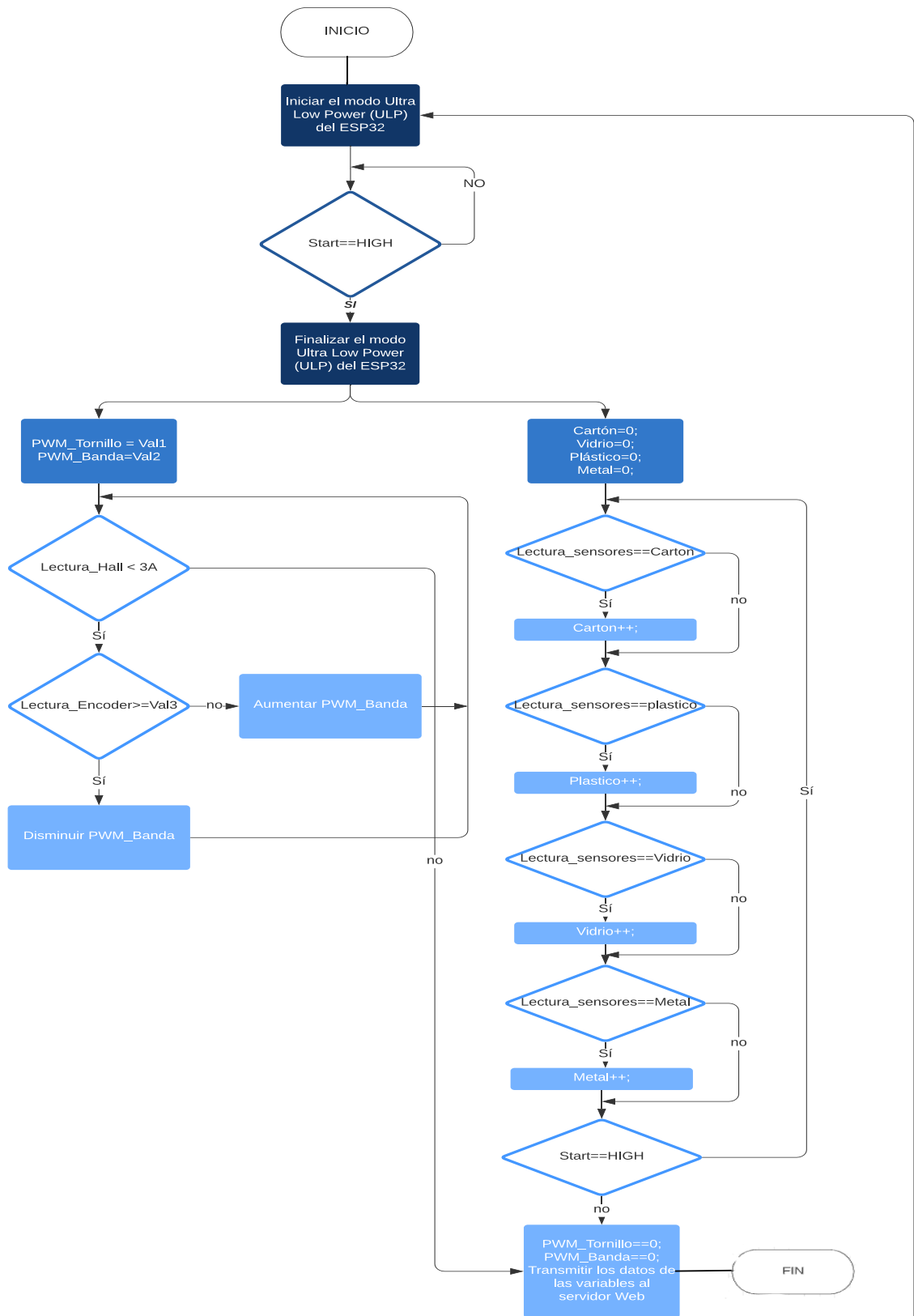
The screenshot shows a web interface for a data table. At the top left, there is a '+ Opciones' menu. Below it is a search bar with a dropdown arrow. The table has the following columns: ID, Fecha, Serie, Cartón, Plástico, Metal, and Vidrio. There is one row of data with the following values: ID: 1, Fecha: 2020-06-01 19:51:15, Serie: A001, Cartón: 8, Plástico: 5, Metal: 2, Vidrio: 4. Below the table, there are action buttons: 'Editar', 'Copiar', and 'Borrar'. There is also a 'Seleccionar todo' checkbox and a 'Para los elementos que están marcados:' section with 'Editar', 'Copiar', and 'Borrar' buttons. At the bottom, there is a 'Mostrar todo' checkbox, a 'Número de filas:' dropdown set to '250', and a 'Filtrar filas:' search box with the text 'Buscar en esta tabla'.

	ID	Fecha	Serie	Cartón	Plástico	Metal	Vidrio
<input type="checkbox"/>	1	2020-06-01 19:51:15	A001	8	5	2	4

**Figura 66:** Estructura de la información en la base de datos para los índices de detección.

Para finalizar la sección del sistema de procesamiento de información, se presenta en Figura 67 el diagrama de flujo que muestra la lógica de programación que seguirá el programa en el ESP32. El diagrama realiza dos procesos en paralelo dado que el microcontrolador posee doble núcleo. Uno de estos núcleos verificará el estado de los sensores de efecto Hall y Encoder que miden la corriente requerida y velocidad de los motores del sistema de recepción de residuos, además realiza disminución o aumento del PWM según los valores que establezca el PID del motor del sistema de transporte.

El segundo núcleo del ESP32 será el encargado de las lecturas de los sensores de detección, almacenamiento y transmisión de información al servidor 000webhost. Por último, este núcleo también se encargará de la detención de los motores del sistema e iniciar el modo ULP del microcontrolador.



**Figura 67:** Diagrama de flujo de programa de ESP32 para el sistema de verificación del protocolo.

### 7.3.3. Métodos de visualización de información.

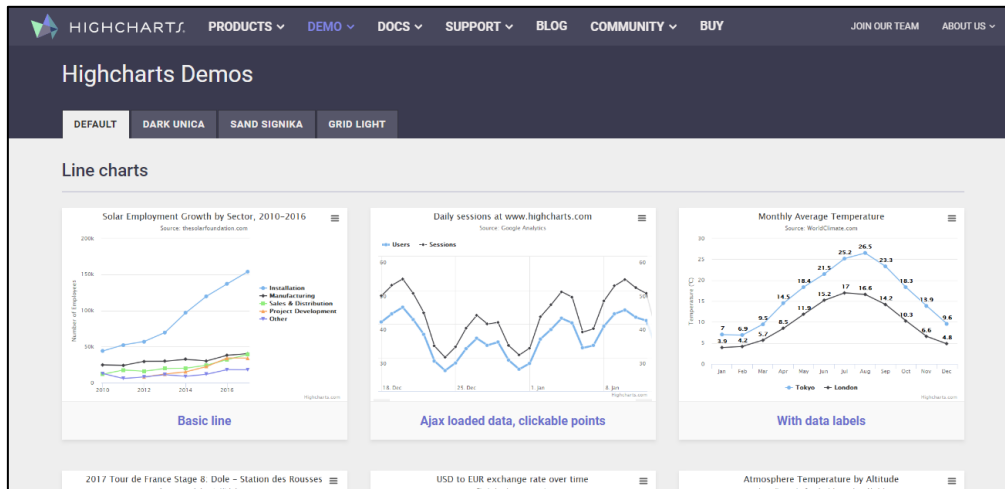
Este sistema permitirá la visualización de la información que reciba el microcontrolador y la que se haya almacenado previamente. Las alternativas evaluadas para este propósito se muestran en la Tabla 36.

**Tabla 36:** Características y especificaciones de los sistemas de visualización aplicables para el prototipo.

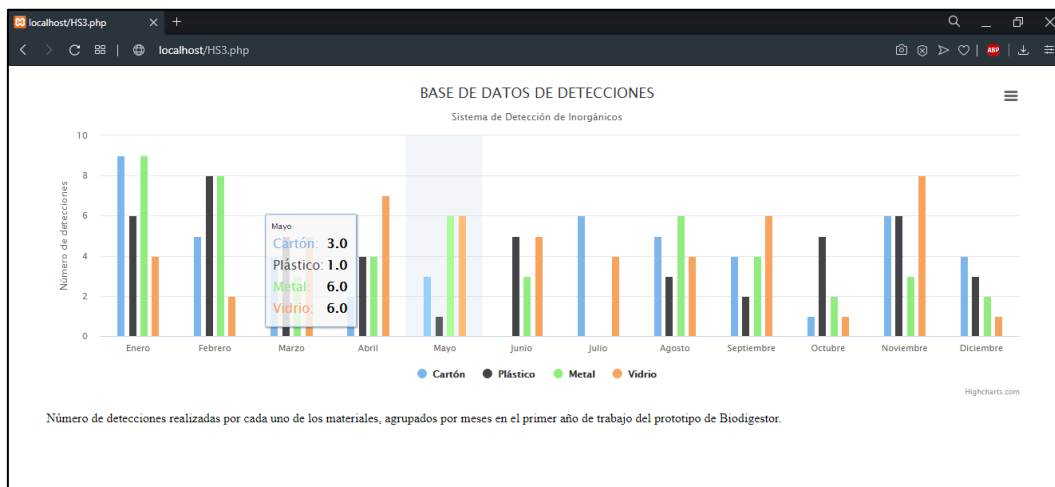
<b>Características o Especificaciones</b>	<b><u>Pantalla Oled 128x64 I2c</u></b>	<b><u>Pantalla táctil Tft 2.4</u></b>	<b><u>000webhost</u></b>
<b>Precio</b>	\$15.000	\$28.000	Se incluye Dominio web con el Host
<b>Facilidad de entorno de desarrollo</b>	Media	Media	Alta
<b>Facilidad de visualización</b>	Media	Media	Alta
<b>Visualización con acceso remoto</b>	No aplica	No aplica	Aplica
<b>Acceso múltiple a la información</b>	Bajo	Bajo	Alto

Según la Tabla 36, se elige 000webhost debido a la facilidad de entorno de desarrollo. Su precio incluye el servicio de almacenamiento de información, puede mostrar la información remotamente en cada una de las pantallas de los dispositivos de acceso de los usuarios y la visualización de datos es más agradable a la vista y dinámica.

Una herramienta que se aplicaría para este propósito sería Highcharts (Figura 68), que permite visualizar la información numérica dentro de un servidor, sin ningún costo. Al ser implementado en el sistema de verificación del protocolo, es posible obtener resultados como los que se aprecian en la Figura 69.



**Figura 68:** plataforma Highcharts que permite la visualización de información.



**Figura 69:** Resultado de visualización de información en la base de datos de 000Webhost mediante un programa en PHP y la librería de Highcharts.

El anterior diseño del sistema de detección de residuos inorgánicos tiene como fin la verificación del cumplimiento del protocolo de manejo de residuos sólidos por parte de la comunidad de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá. Si se llegan a detectar irregularidades en las mediciones es posible realizar inspecciones o cambios en el proceso de recolección o separación en la fuente de los residuos sólidos.

## **8. Capítulo 7. Plan de trabajo y Análisis de resultados**

### **8.1. Plan de trabajo del proyecto.**

A continuación se van a describir cada una de las actividades realizadas para lograr al cabalidad los objetivos, se van a diferenciar las actividades por la letra A, para la determinación de la cantidad y volumen de los RS en la plaza de mercado, la letra B para las actividades que enmarcan el desarrollo del protocolo para el manejo integral de los R.S.O. y la letra C para las actividades del diseño del sistema de identificación de identificación de materiales con el propósito de verificar el cumplimiento del protocolo de manejo de residuos sólidos, esto se presenta en la Tabla 37, donde a su vez muestra el tiempo empleado a cada una de las actividades en semanas, cuyo total son 24 semanas.

#### **8.1.1. Objetivo específico No. 1.**

- A1: Búsqueda de protocolos y normatividad vigente para manejo y pretratamiento de R.S.O en bases de datos y revistas especializadas.
- A2: Desarrollo de los planos de distribución de la plaza de mercado
  - Locales comerciales.
  - Rutas de recolección de los R.S.
- A3: Realizar una citación a los puestos comerciales de la plaza seleccionados, para tratar los temas relacionados con el proyecto.
- A4: Desarrollo del protocolo para la plaza de mercado específicamente, partiendo de la recopilación bibliográfica y el diagnóstico.
- A5: Impartir capacitaciones al cuerpo de administrativos y comerciantes de la plaza de mercado para dar a conocer el protocolo que estará vigente en el establecimiento comercial.

#### **8.1.2. Objetivo específico No. 2.**

- B1: Recopilación bibliográfica necesaria para la caracterización y toma de muestras para análisis fisicoquímico de los residuos sólidos orgánicos generados en la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá.
- B2: Recopilación bibliográfica necesaria para el manejo y estudio de los residuos sólidos orgánicos generados en la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá.
- B3: Solicitar ayuda en la Secretaria de Agricultura, Ambiente y Tierras de Fusagasugá para el pesaje de los R.S, préstamo de la pesa y acompañamiento en la toma de muestras.
- B4: Realización de encuestas basados en la normatividad y demás fuentes bibliográficas.
- B5: Impartir charlas y capacitaciones a los comerciantes y administrativos de la plaza, para dar a conocer todo el proceso que se llevará a cabo en el transcurso. del muestro y la caracterización de los R.S.
- B6: Diagnóstico de la plaza de mercado:
  - Consulta del calendario agrológico de la región.
  - Levantamiento de la información de los locales comerciales existentes de la plaza y su clasificación por sector económico.



- Seguimiento de toda la ruta de recolección de R.S de los operadores de la plaza y toma de tiempos.
  - Verificación del estado de las canecas y el cuarto de almacenamiento de estas.
- B7: Definir la distribución de las canecas que quedarán establecidas para la recolección y clasificación de los residuos.
- B8: Toma de pesos durante una semana, 2 veces al día.
  - Pesar las canecas vacías.
  - Pesar las canecas antes de la pasada de los camiones recolectores.
  - Toma de resultados.
  - Tabulación de resultados.
- B9: Definir el espacio de trabajo, implementos de seguridad basados en la normativa del ministerio de salud y protección social del año 2017, sobre el programa de elementos de protección personal, uso y mantenimiento (tapabocas, guantes, overol, vacunas, cuadros hemáticos, entre otros), el personal encargado de la manipulación de los residuos, las herramientas, bolsas Ziploc (tamaño adecuado según la muestra solicitada por el profesional encargado del estudio de la composición fisicoquímico de las muestras), recipiente de almacenamiento de las muestras, medio de transporte de las muestras.
- B10: Adquirir las bolsas plásticas para poder ser etiquetadas con la información que se explica en el protocolo realizado para el manejo de los R.S para la plaza de mercado.
- B11: Conseguir las bolsas de papel para poder hacer el proceso de tratamiento de las muestras y las canecas de transporte, cómodas para hacerlas llegar al laboratorio.
- A12: Toma de pesos de residuos aprovechables, no aprovechables y orgánicos, de los locales seleccionados para el muestreo y siguiendo el protocolo para el manejo de los R.S realizado para la plaza de mercado.
- B13: Tabulación de los datos recopilados en la caracterización y diagnóstico de la plaza de mercado.
- B14: Diagnóstico de la demanda energética segregada de los locales comerciales existentes en la plaza de mercado de Fusagasugá

### **8.1.3. Objetivo específico No. 3.**

- C1: Recopilación bibliográfica necesaria para detallar las características y métodos de estudio, que se especifican en las diversas fuentes bibliográficas, ya que servirán para el diseño del prototipo de clasificación de residuos
- C2: Diseño del sistema de transporte y el sistema de distribución basados en las referencias bibliográficas encontradas en la recopilación.
- C3: Simulación del sistema de transporte y el sistema de distribución en el Software de modelado 3D Autodesk Inventor.
- C4: Recolección de referencias para los sensores aplicables.
- C5: Experimentación con los sensores escogidos.
- C6: Sistema de procesamiento de información.
- C7: Métodos de visualización de la información.

**Tabla 37.** Plan de trabajo establecido en semanas.

OBJETIVO	ACTIVIDADES	Tiempo en semanas																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Desarrollar un protocolo de manejo de residuos sólidos de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá con el fin de clasificar los residuos aprovechables en la generación de energía eléctrica.	A1	■	■	■	■																						
	A2		■	■	■																						
	A3			■	■																						
	A4										■	■	■	■													
	A5								■	■																	
Determinar la cantidad y volumen de residuos sólidos generados diariamente en la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá con el fin de estimar la producción energética de un biodigestor anaeróbico.	B1	■	■	■	■																						
	B2		■	■	■																						
	B3			■	■																						
	B4				■	■																					
	B5				■	■	■																				
	B6					■	■	■																			
	B7					■	■	■																			
	B8					■	■	■																			
	B9					■	■																				
	B10						■	■																			
	B11							■	■																		
	B12								■	■																	
	B13									■	■																
	B14										■																
Diseñar un sistema electrónico de identificación de materiales con el propósito de verificar el cumplimiento del protocolo de manejo de residuos sólidos.	C1												■	■													
	C2												■	■	■	■											
	C3																■	■	■								
	C4																	■	■	■							
	C5																		■	■	■	■					
	C6																		■	■	■	■	■				
	C7																					■	■	■	■	■	

## **8.2. Análisis de resultados.**

### **8.2.1. Análisis de resultados del objetivo específico No. 1**

Se logran establecer los lineamientos del protocolo de manejo integral, pretratamiento y disposición de R.S.O de la plaza de mercado de Fusagasugá. Primero fue necesario realizar un diagnóstico de la situación y manejo actual de los residuos de la plaza de mercado, encontrando que no se contaba con ningún protocolo ni gestión para los R.S.O en el establecimiento. Fue necesario establecer una guía de procedimiento adecuados para el manejo de los R.S.O hasta su disposición final, en donde se caracteriza y cuantifican estos residuos de la plaza de mercado. Finalmente se diseña una capacitación al personal involucrado en el manejo de los residuos con el protocolo establecido.

Es importante mencionar que las normativas estudiadas para la estructuración del protocolo para el manejo integral de los R.S.O parte de la ley 99 de 1993 que da creación al Ministerio de Ambiente, el SINA, y formaliza las políticas orientadas al ordenamiento del sector ambiental dentro del territorio nacional. La ley establece que es función de las autoridades ambientales de la región otorgar licencias autorizaciones ambientales que busquen el beneficio del medio ambiente y evitar el deterioro de este. Las normativas se especifican detalladamente en la Tabla 6 en el capítulo para la metodología del desarrollo del protocolo.

Fue conveniente establecer una capacitación individualizada a cada uno de los comerciantes y administrativos de la plaza de mercado de Fusagasugá, con el propósito de dar a conocer la estructura establecida para el protocolo de manejo integral de los R.S.O que se generan dentro del establecimiento comercial. Como producto se obtuvo una concreta coordinación de los comerciantes en cada una de las fases del proceso de caracterización. Se aprovechó esta actividad para establecer los planos actualizados de la plaza de mercado, separando por actividad comercial de cada local, a su vez, se diseñaron los planos de las rutas de recolección que recorren los operadores encargados de los residuos que irán a su disposición final.

### **8.2.2. Análisis de resultados del objetivo específico No 2.**

A partir de las bases bibliográficas del desarrollo de este objetivo se puede afirmar que Colombia para procesos de caracterización de residuos no cuenta con las suficientes políticas establecidas. Por tal motivo fue necesario que la metodología diseñada y aplicada se complementara con normativas y procesos internacionales.

Luego de realizar el proceso de caracterización de residuos sólidos de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá, está claro que en el lugar no se realiza un adecuado proceso de manejo de residuos y de separación en la fuente. Lo anterior se presenta debido a la inexistencia de una cultura ambiental y la desinformación que tiene la comunidad con respecto a las ventajas de una adecuada separación de residuos en la fuente.

El diagnóstico de los residuos permite establecer que en la plaza de mercado de Fusagasugá se generan aproximadamente 1 tonelada de residuos diariamente. La distribución de residuos sólidos es de un 90,15% de orgánicos aprovechables, el porcentaje restante corresponde a residuos inorgánicos, 7,32% de no aprovechables y un 2,53% de aprovechables.

### **8.2.3. Análisis de resultados del objetivo específico No. 3**

#### **8.2.3.1. Sistema de recepción de muestras.**

En esta sección se diseñó el sistema de distribución que consiste en un tornillo sin fin, con el cual se garantiza una proporción constante de R.S.O dentro de la banda transportadora. El segundo sistema diseñado es la banda transportadora, cuyos parámetros de diseño se ajustan a las dimensiones del área de instalación, con ajustes adicionales para la instalación de los sensores que verificarán los residuos transportados sobre la cinta de la banda.

Se diseñó un PID para el motor de la banda transportadora teniendo en cuenta los sistemas de seguridad que se instauraron para evitar daños por elevaciones de tensión. Este diseño se logra usando dos softwares; Simulink y PID Tuner de Matlab, y Proteus, con el fin de simular los diseños calculados. El motor para el tornillo sin fin no requiere de un controlador de velocidad, ya que bastará con un sistema que antecede el motor para proporcionarle una velocidad constante, y un sistema on-off para su funcionamiento.

Finalmente se aplican todos los diseños calculados para modelar el sistema en el software Autodesk Inventor, en donde se establecen todas las características mencionadas en la metodología para el diseño del sistema de recepción de residuos, este se muestra finalizado en la Figura 48 de dicha sección.

#### **8.2.3.2. Sistema electrónico de verificación de protocolo de manejo de residuos**

Con base en la investigación y los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera de ingeniería electrónica, es posible diseñar un prototipo con un aceptable nivel de detección de residuos sólidos inorgánicos (Metal, Vidrio, Cartón y Plástico), lo que permite alcanzar el cumplimiento del tercer objetivo del proyecto.

La metodología aplicada en el diseño permite la implementación de diversas herramientas de programación, simulación y modelamiento para mejorar las ideas que provienen de los diseños que se han tomado como referencia. Con lo anterior es posible evitar posibles errores de clasificación que podrían presentarse y mejorar los resultados de detección inorgánicos.

### **8.2.4. Resultados Generales**

El desarrollo de este documento conlleva el diseño de anexos que soportan y especifican los resultados y procesos que se realizaron para alcanzar el cumplimiento de las actividades propuestas para los auxiliares de investigación (Autores). Dichos anexos son los siguientes:

- Diagnóstico de la plaza de mercado.
- Protocolo de manejo de residuos sólidos para la plaza de mercado, que fue revisado por la Secretaría de Agricultura, Ambiente y Tierras del municipio de Fusagasugá, dado que tendrá un impacto directo en el manejo de residuos desde la implementación del prototipo de biodigestor anaeróbico.
- Recopilación bibliográfica para el proceso de caracterización de residuos sólidos.
- Recopilación bibliográfica de las metodologías de detección de residuos sólidos.

- Recopilación bibliográfica de normativas y procesos para diseño de protocolo de manejo de residuos.
- Recopilación bibliográfica de los procesos de capacitaciones para fortalecimiento del protocolo de manejo de residuos.
- Documento de relación de la demanda energética de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá.
- Documento recopilatorio de las técnicas de clasificación de residuos sólidos.
- Postulación al CICI 2020 (3er Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería) del documento “Determinación del potencial energético de los residuos sólidos de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá”, con el propósito de difundir el trabajo realizado.

## 9. Capítulo 8. Presupuesto

### 9.1. Fuente de financiación.

El proyecto se encuentra financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Minciencias (antes Colciencias) con fondos de regalías del departamento de Cundinamarca. En la Tabla 38 se muestra el presupuesto destinado por Colciencias en cada uno de los rubros del proyecto.

**Tabla 38:** Rubros del proyecto financiados por Colciencias.

Rubro	Presupuesto destinado	Presupuesto invertido
Materiales e insumos	\$ 29.250.000	\$772.200
Personal científico	\$ 161.717.094	\$40.549.273
Servicios técnicos	\$ 41.000.000	\$120.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$289.017.670</b>	<b>\$41.441.473</b>

**Fuente:** Presentación del proyecto [70].

### 9.2. Gastos por rubro.

En Tabla 39 se presentan los gastos especificados para los materiales e insumos que se tuvieron para el correcto manejo de los R.S.O. siguiendo cada indicación del protocolo formulado para la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá, así como los materiales de papelería para las capacitaciones y otras actividades que iban surgiendo en la aplicación del proyecto, así como la alimentación de los días en que se realizaron actividades de largas horas en el establecimiento. La Tabla 40 muestra los gastos por rubros que se estimaron como la mano de obra requerida para diferentes procesos de la caracterización y el rubro destinado para el personal científico de la primera fase del proyecto.

**Tabla 39:** Elementos para el rubro de Materiales e Insumos.

ELEMENTOS	IMAGEN	PRECIO
Guantes de Vaqueta		\$ 7.200
Monogafas		\$ 18.000
Casco de seguridad		\$ 49.900
Botas punta de acero dieléctricas		\$ 55.900
Overol		\$ 39.900
Bolsas Industriales		\$ 140.000
Empaque plástico para transporte		\$ 38.900
Transporte		\$27.600
Papelería		\$30.000
Material para las capacitaciones		\$25.000
Alimentación		\$130.000
<b>TOTAL:</b>		<b>\$ 772.200</b>

**Tabla 40:** Gastos totales presentado por rubros.

<b>Rubro</b>	<b>Gasto específico</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
Personal científico	Directores de la etapa	\$40.429.273	\$40.429.273
Servicios técnicos	Operario para la caracterización el día 27/01/2020	\$30.000	\$120.000
	Operario para la caracterización el día 28/01/2020	\$30.000	
	Operario para la caracterización el día 05/03/2020	\$30.000	
	Operario para la caracterización el día 06/03/2020	\$30.000	
<b>TOTAL</b>			\$40.549.273



## **10. Conclusiones**

### **10.1. Conclusiones del objetivo específico No 1.**

- Considerando el diagnóstico inicial, es evidente que los comerciantes de la plaza de mercado no tienen conocimiento sobre el manejo de residuos sólidos, generando un gran impacto ambiental.
- La parte administrativa de la plaza de mercado no cuenta con la normativa suficiente para el debido manejo de los residuos sólidos que se generen en el lugar.
- La aceptación e intención de mejoría en el proceso de manejo de los residuos sólidos por parte de los comerciantes es alta, debido a que entiende los beneficios que les traería un proyecto como el prototipo biodigestor y la necesidad que se tiene del cuidado del medio ambiente.
- Se estudiaron las normativas nacionales e internacionales para el manejo integral de los RSO, orientando las políticas ambientales en un protocolo para el aprovechamiento y manejo adecuado de los RSO para la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá.
- Se dictaron capacitaciones a la comunidad en general, así como individualizadas a cada uno de los comerciantes y administrativos de la plaza de mercado de Fusagasugá, con el propósito de dar a conocer la estructura establecida para el protocolo de manejo integral de los RSO.

### **10.2. Conclusiones del objetivo específico No 2.**

- Basado en el proceso de caracterización se encuentra que los residuos sólidos generados en la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá son de 1 tonelada diaria aproximadamente y alrededor del 90% de estos residuos son orgánicos. Con estos residuos se puede generar una energía de 207.2 kWh.
- Teniendo en cuenta los resultados del estudio de la demanda energética de la es posible afirmar que el valor máximo de consumo se tiene casi durante 15 horas al día.
- Un porcentaje significativo de los locales comerciales solo utilizan la energía eléctrica de las zonas comunes, dado que solo les es necesario iluminación en su espacio asignado.
- Existe un gran apoyo constante por parte de la comunidad de la plaza de mercado para procesos como la caracterización de residuos sólidos, pero en ciertos casos se presentaron inconvenientes frente a solicitudes de información como el consumo eléctrico mensual.

### **10.3. Conclusiones del objetivo específico No 3.**

- El diseño del sistema permitió reforzar y aplicar los diversos conocimientos que se adquirieron durante la carrera en áreas de mecánica, electrónica, control y programación.
- Estructurar la metodología de verificación del protocolo en 3 sistemas (Recepción, detección y procesamiento) permitió un diseño y desarrollo de ideas más estructurado y brinda la facilidad de obtención de mejores resultados.
- La aplicación de programas para el diseño mecánico permitió alcanzar mejoras en el sistema de transporte y distribución de residuos sólidos.
- De acuerdo con la cantidad de los tipos de residuos inorgánicos en Colombia, se decide trabajar con materiales como el plástico, el metal y el vidrio para ser reconocidos por el sistema de detección.
- Se diseñó una banda transportadora en el software de diseño mecánico Autodesk Inventor para la aplicación específica en la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá, pensando en el área de trabajo en donde será instalada, a su vez, capaz de procesar y transportar la generación diaria de RSO del establecimiento comercial. Este sistema permitirá evaluar la correcta aplicación del protocolo de manejo de residuos sólidos.

## 11. Referencias

- [1] C. H. Hernando and Arrieta Loyo Gabriela, "Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo," *Congr. Nac. Del Medio Ambient. CONAMA2014*, pp. 2–15, 2014.
- [2] N. L. RIVERA, "PROPUESTA DE UN PROGRAMA PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA PLAZA DE MERCADO DE CERETE - CORDOBA," PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, 2009.
- [3] R. Guillen Watson and O. Rivas Solano, "Produccion de metano a partir de desechos orgánicos generados en el Tecnológico de Costa Rica," vol. 25, pp. 73–80, 2012.
- [4] H. Monterrosa, "Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente," *El Herald*, 2019.
- [5] Diario La República, "Hasta 70% de los residuos sólidos del país se pueden transformar en compostaje," 23 de agosto, 2018. [Online]. Available: <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/hasta-70-de-los-residuos-solidos-del-pais-se-pueden-transformar-en-compostaje-2762298>. [Accessed: 30-Apr-2020].
- [6] N. Ariza, "Manejo y separación de residuos sólidos urbanos. Análisis comparativo entre Madrid (España) y el distrito especial industrial y portuario de Barranquillas (Colombia)," *Obs. Medioambient.*, pp. 197–211, 2016.
- [7] A. R. Carmona, R. R. Bolaños, U. Á. Hernández, L. E. P. Magaña, S. T. Siller, and M. M. Serrano, "Experiencia de participación comunitaria para el manejo adecuado de residuos sólidos urbanos en México," *Glob. Health Promot.*, vol. 22, no. 2, pp. 96–106, 2015, doi: 10.1177/1757975914543576.
- [8] J. Rojas-Vargas and J. Bogantes, "Cuantificación y caracterización de los residuos sólidos ordinarios de la Universidad Nacional de Costa Rica, dispuestos en rellenos sanitarios," *Uniciencia*, vol. 32, no. 2, p. 57, 2018, doi: 10.15359/ru.32-2.4.
- [9] A. J. Rodríguez Villalba and J. S. Rojas Linares, "DISEÑO DEL PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA VEREDA CHAUTA DEL MUNICIPIO DE MADRID, CUNDIN." UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA, Facatativá, p. 104, 2017.
- [10] A. Runfola, J. Gallardo, "Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de Residuos Urbanos Para Su Recolección Selectiva En Comunidades Urbanas," p. 14, 2009.

- [11] R. Ue, N. Del, P. Europeo, and Y. D. E. L. Consejo, "► B Reglamento (Ue) N," vol. 31, pp. 1–99, 2015.
- [12] ASTM D 5231-92, : "D 5231 – 92 - Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste," *Current*, vol. 06, no. Reapproved 2012, pp. 9–11, 2003, doi: 10.1520/F1459-06R12.2.
- [13] E. Garcia and A. Castro, "ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN Y DESARROLLO EN ESPAÑA DE LA DECISIÓN 2003/33/CE, DEL CONSEJO SOBRE PROCEDIMIENTOS Y CRITERIOS DE ADMISIÓN DE RESIDUOS EN VERTEDERO," pp. 1–93, 2010.
- [14] F. M. Andersen, H. Larsen, M. Skovgaard, S. Moll, and S. Isoard, "A European model for waste and material flows," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 49, no. 4, pp. 421–435, 2007, doi: 10.1016/j.resconrec.2006.05.011.
- [15] P. Beigl, S. Lebersorger, and S. Salhofer, "Modelling municipal solid waste generation: A review," *Waste Manag.*, vol. 28, no. 1, pp. 200–214, 2008, doi: 10.1016/j.wasman.2006.12.011.
- [16] OPS/CEPIS, "GUÍA PARA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS," OPS, pp. 59–71, 1982.
- [17] Environmental Protection Agency (EPA), "Laws & Regulations | US EPA," 2020. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/laws-regulations>. [Accessed: 30-Jun-2020].
- [18] E. Mogollón Cortes, "PLAN DE GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS "PGIR-RESPEL" DE LA EMPRESA EMPUMELGAR E.S.P. EN EL AREA DE PLAZA DE MERCADO 'LOS ALMENDROS'." UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA, SECCIONAL GIRARDOT, GIRARDOT, p. 118, 2017.
- [19] J. Herrera-Murillo, J. Felix Rojas-Marin, and D. Anchia-Leiton, "TASAS DE GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORDINARIOS EN CUATRO MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA COSTA RICA," *Rev. Geogr. Am. Cent.*, no. 57, pp. 235–260, 2016.
- [20] E. P. Pacheco Sosa, "Formulación alternativa para fortalecer el plan de gestión integral de residuos sólidos generados en el club la Colina de Colsubsidio-Bogota DC 2018." UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA, SECCIONAL GIRARDOT, GIRARDOT, p. 83, 2018.
- [21] N. Herrera Tellez, "PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA LA CORRECTA DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL SUPERMERCADO MERCAHOGAR EN LA VILLA DE GUADUAS-CUNDINAMARCA." UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA, Facativá, p. 134, 2018.
- [22] S. G. Paulraj, S. Hait, and A. Thakur, "Automated municipal solid waste sorting

for recycling using a mobile manipulator,” *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, vol. 5A-2016. 2016, doi: 10.1115/DETC2016-59842.

- [23] A. C. Karaca, A. Ertürk, M. K. Güllü, M. Elmas, and S. Ertürk, “AUTOMATIC WASTE SORTING USING SHORTWAVE INFRARED HYPERSPSPECTRAL IMAGING SYSTEM Kocaeli University Laboratory of Image and Signal Processing ( KULIS ), MS MacroSystem Nederland ,” pp. 2–5.
- [24] E. Maris, A. Aoussat, E. Naffrechoux, and D. Froelich, “Polymer tracer detection systems with UV fluorescence spectrometry to improve product recyclability,” *Miner. Eng.*, vol. 29, pp. 77–88, 2012, doi: 10.1016/j.mineng.2011.09.016.
- [25] J. Huang, T. Pretz, and Z. Bian, “Intelligent solid waste processing using optical sensor based sorting technology,” *Proc. - 2010 3rd Int. Congr. Image Signal Process. CISP 2010*, vol. 4, pp. 1657–1661, 2010, doi: 10.1109/CISP.2010.5647729.
- [26] A. Fuchs, H. Zangl, G. Holler, and G. Brasseur, “Design and analysis of a capacitive moisture sensor for municipal solid waste,” *Meas. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 2, 2008, doi: 10.1088/0957-0233/19/2/025201.
- [27] S. P. Gundupalli, S. Hait, and A. Thakur, “A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling,” *Waste Manag.*, vol. 60, pp. 56–74, 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2016.09.015.
- [28] L. Dascalescu, “Robust corona-electrostatic separation method for solid waste recycling,” *Int. J. Environ. Waste Manag.*, vol. 2, no. 4–5, pp. 423–435, 2008, doi: 10.1504/IJEW.2008.021783.
- [29] Espacenet, “METHOD AND APPARATUS FOR DISCRIMINATING COMPONENT OF PLASTIC MATERIAL,” *Espacenet*, 2008. [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/039116980/publication/JP2008026211A?q=material+detection+plastic>. [Accessed: 23-Jul-2020].
- [30] T. Glaria, R. Köck, and F. Leaman, “SISTEMA DE MONITOREO PARA LA DETECCION DE ELEMENTOS FERROMAGNETICOS EN LA CARGA DE MINERAL.,” 2016.
- [31] W. Branner, “Procedimiento y dispositivo para separar un material orgánico de un material inorgánico.,” 2 364 879, 2006.
- [32] J. W. Bohlig and S. P. DUFFY, “Systems and methods for separating materials for single stream recycling,” vol. 1, no. 19, 2014.
- [33] G. Gitseher, “MECHANIZED SEPARATION OF MIXED SOLD WASTE AND RECOVERY OF RECYCLABLE PRODUCTS,” USOO8322639B2 (12), 2012.
- [34] G. J. H. L. M. Z. Márquez, “Aprovechamiento de los residuos solidos organicos

en Colombia,” Universidad de Antioquia, 2008.

- [35] D. general de gestión integral de residuos Sólidos, *Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos*. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013.
- [36] Julio Castro; Nicolas Cruz; Paila Méndez; Daniela Lama; Julián Tibaquira; Cristina Villavaces; Camilo Cáceres; Manuela Ortega, “MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CORABASTOS,” Universidad de los Andes, 2013.
- [37] J. E. B. Vila, “EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CATACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE ORIGEN MUNICIPAL DISPUESTOS EN EL RELLENO SANITARIO PARQUE AMBIENTAL LOS POCITOS DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA,” Universidad Autónoma de occidente, 2014.
- [38] D. A. Troncoso Quintana, “Modelamiento fluidodinámico de turbina en base a tornillo de Arquímedes en relaves mineros.,” UNIVERSIDAD DE CHILE, 2016.
- [39] M. Dc, J. F. Cubillos, A. Gómez, and J. A. Jurado, “Control de velocidad y posición para un motor dc.,” pp. 1–6, 2012.
- [40] M. Salinero, “Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab,” 2013.
- [41] E. Patricio and L. Satuquinga, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BANDA TRANSPORTADORA Y MANIPULADOR SEMIAUTOMÁTICO DE PIEZAS CERÁMICAS EN LA SECCIÓN COLADO DE LA EMPRESA FV ÁREA ANDINA S.A / ECUADOR,” p. 183, 2016.
- [42] M. S. María and V. Gómez, “Parámetros dinámicos a considerar en el diseño de una máquina transportadora de láminas de polialuminio Dynamic parameters to consider in the design of a machine for transporting polyaluminum plates,” vol. 4, no. 3, pp. 33–38, 2014.
- [43] P. A. Daneri, *PLC Automatizacion y Control Industrial*, 1st ed. Buenos Aires: H.A.S.A., 2008.
- [44] C. F. Díaz Colorado, J. A. Caldas Vega, and J. R. Cuarán Valenzuela, “Sistema de control automático para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico,” p. 80, 2018.
- [45] B. Chavarria Neira and E. Gudiño de la A, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL CARRERA: INGENIERÍA DE SISTEMAS PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS CON MENCIÓN EN TELEMÁTICA PÁGINA UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE SOFTWARE LIBRE PARA EL DISPENSARIO &quot;,” 2017.

- [46] A. de Fusagasugá, Aquaviva, and EPC, “Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Soacha,” pp. 1–61, 2019.
- [47] A. W. P. Sevillano, J. F. R. Méndez, and A. D.- Investigador, “Producción de Biogás y compost a partir de Residuos Orgánicos recolectados del Complejo Arqueológico Huaca de la Luna,” *Rev. Cienc. Y Technol.*, vol. 12, no. 1, pp. 29–43, 2017.
- [48] G. Blanco, E. Santalla, V. Córdoba, and A. Levy, “Generación de Electricidad a Partir de Biogás Capturado de Residuos Sólidos Urbanos: Un Análisis Teórico-Práctico,” *Div. Energía*, p. 52, 2017.
- [49] R. Dominicana and M. de M. A. y R. Naturales, “PROYECTO DE FORTALECIMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTITUCIONAL EN EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS A NIVEL NACIONAL EN LA REPÚBLICA DOMINICANA,” 2017.
- [50] D. Barbosa Sierra, “ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PGIRS DE FUSAGASUGÁ 2016-2027,” 2016.
- [51] IRENA, *Measuring small-scale biogas capacity and production*, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi. 2016.
- [52] L. Hopwood, “NNFCC Renewable Fuels and Contact our Agriculture Expert,” vol. 44, no. 0, pp. 0–1, 1904.
- [53] N. Sogari, “Diseño de un biodigestor para obtener metano utilizando excremento de vacas y cerdos,” vol. 6, pp. 7–10.
- [54] PUXIN, “PUXIN high efficiency and automated anaerobic treatment system.” .
- [55] B. Bharathiraja, T. Sudharsana, J. Jayamuthunagai, R. Praveenkumar, S. Chozhavendhan, and J. Iyyappan, “Biogas production – A review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, no. July. Elsevier Ltd, pp. 570–582, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.093.
- [56] N. P. Mosfet, “N-Channel Power MOSFET 5 0V, 30A, 40 m  $\Omega$ ,” no. 2253, 2017.
- [57] TRANSMOTEC, “WHD123224 /  $\varnothing$  123mm / 421W / 421W,” no. mm, p. 123224.
- [58] P. Brief and A. Power, “Product Brief,” pp. 0–1.
- [59] C. Series, “Electric Capacitive Type.” pp. 1–4.
- [60] Y. H. E. CO, “Conductive Proximity Switch Series Conductive Proximity Switch Series.” p. 121.
- [61] P. Series, “Cylindrical Type Proximity Sensor.” pp. 44–49.

- [62] YUEQUING HENGWEI ELECTRONICS CO, "Cylinder Inductive Proximity Switch Series Cylinder Inductive Proximity Switch Series NO," p. 46.
- [63] R. Systems, "IR Sensor Based obstacle de- tection sensor module ( Single ) IR Sensor - Single IR Sensor - Single." .
- [64] T. Inc, "TCS3200, TCS3210 PROGRAMMABLE COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER," vol. 43, no. 0. .
- [65] SHARP, "GP2Y0A21YK0F." pp. 1–9, 2006.
- [66] Espressif System, "ESP32 Series Datasheet," *Espr. Syst.*, pp. 1–61, 2019.
- [67] E. Systems, "ESP8266EX." 2020.
- [68] Farnel, "Arduino Due." p. 225, 2018.
- [69] Texas Instruments, "tiva C series TM4C123G," no. April, p. 27, 2013.
- [70] Colciencias, "PRESENTACIÓN DEL PROYECTO," 2018.

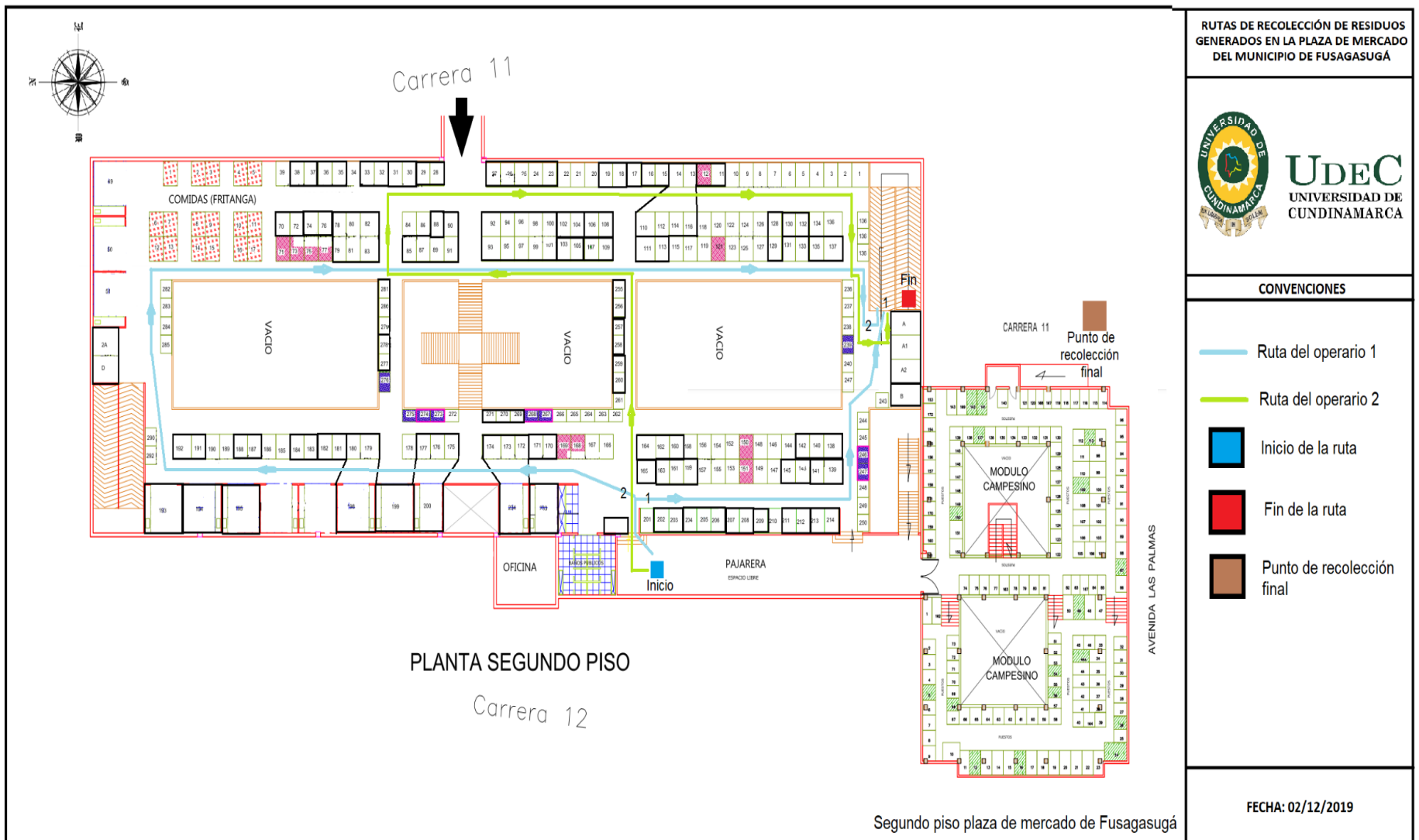


# ANEXOS

## A.1. Planos del diagnóstico del manejo de residuos en la plaza de mercado de Fusagasugá.



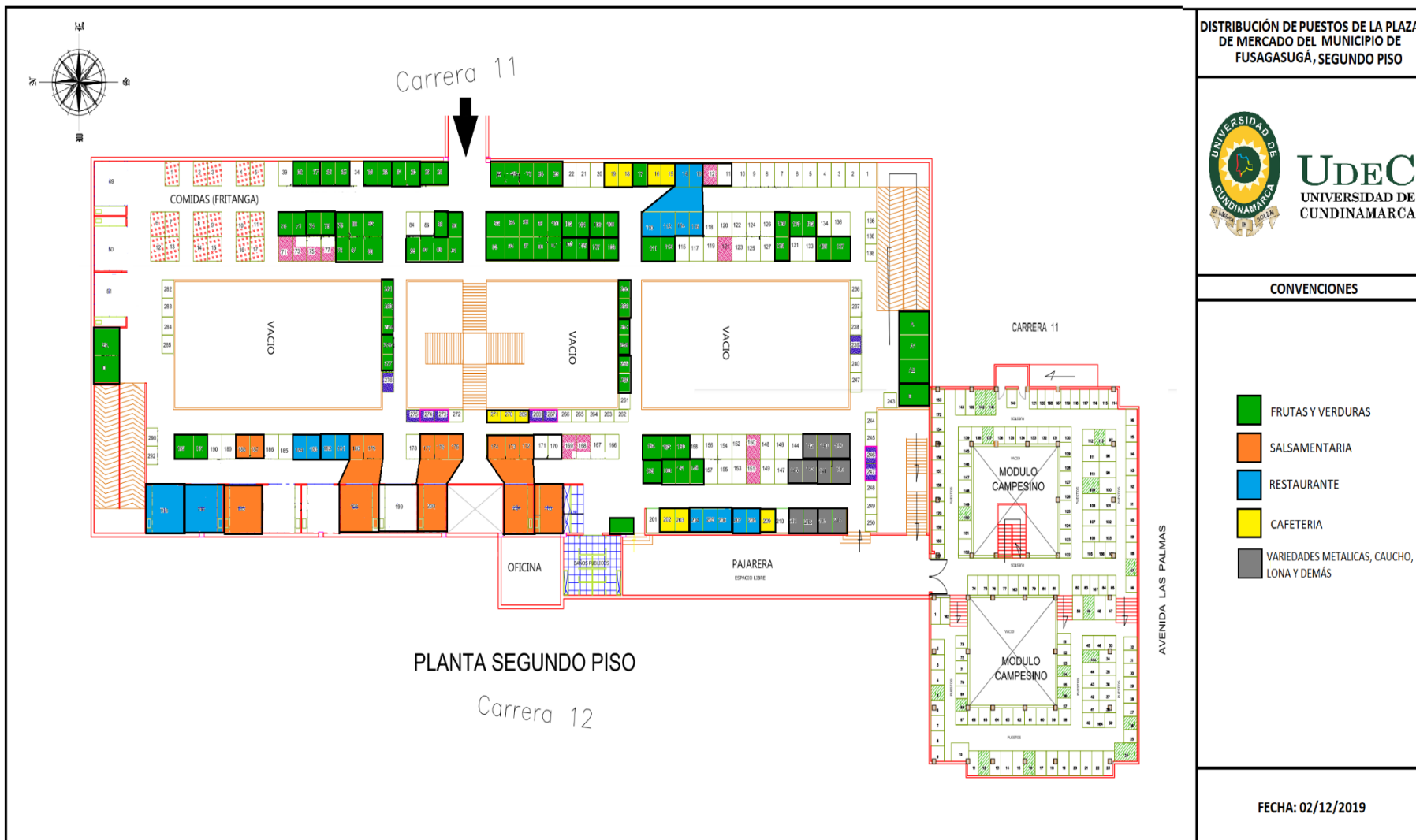
**Figura A1 1:** Rutas de recolección de residuos del primer piso de la plaza de mercado de Fusagasugá. Fuente de modificación: Planos de distribución de puestos plaza de mercado Fusagasugá, Alcaldía Municipal de Fusagasugá.



**Figura A1 2:** Rutas de recolección de residuos del del segundo piso de la plaza de mercado de Fusagasugá. Fuente de modificación: Planos de distribución de puestos plaza de mercado Fusagasugá, Alcaldía Municipal de Fusagasugá.



**Figura A1 3:** Distribución de locales del primer piso de la plaza de mercado de Fusagasugá. Fuente de modificación: Planos de distribución de puestos plaza de mercado Fusagasugá, Alcaldía Municipal de Fusagasugá.



**Figura A1 4:** Distribución de locales del segundo piso de la plaza de mercado de Fusagasugá. Fuente de modificación: Planos de distribución de puestos plaza de mercado Fusagasugá, Alcaldía Municipal de Fusagasugá.