

Diseño de una planta basada en procesos físicos para el beneficio de Chatarra electrónica.

Johan Sebastian Acosta Sanchez y Edwin Javier Bermúdez Landinez.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Metalúrgico

Director

Pedro Luis Del vasto Angarita

PhD en Ciencia y Tecnología de Materiales

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A el universo por permitirme existir, primeramente, a mi madre(q.e.p.d.) quien me enseñó el valor de la resiliencia.

A mi papá, Morphy mi amigo, mi fiel amigo, ser dotado de mucha inteligencia, a mis hermanos Alex, por su visión y perseverancia, a Jhonar por su inteligencia, la Nena por su astucia, a mis sobrinas a quienes aprecio con el alma y a toda mi familia Acosta.

Johan Sebastian Acosta Sanchez

A Dios, primeramente, a mis padres Mariela Landinez y José Bermúdez, por el apoyo incondicional, mis hermanos David, Ana María y Paula, mis tías Luz María y Carmen Cecilia, a Adriana Hernández esa persona especial que siempre me acompañó en el proceso educativo y personal, compañeros como Deiby, Peñaloza, Juan José, a Daniel Bueno, Keyner, Sirley, Diego, por hacer agradable varios momentos vividos, en este camino que vivimos juntos llamado vida universitaria, y en general a todos aquellos que de una u otra forma me apoyaron.

Edwin Javier Bermúdez Landinez.

Agradecimientos

Al Doctor, Pedro Luis Del vasto Angarita, no hay forma de pagar todo su acompañamiento incondicional, dedicación, comprensión y tiempo, en la realización de este proyecto. Nuestra admiración y respeto, porque es además de ser gran maestro es un muy buen pedagogo.

A nuestra alma mater, a la Universidad Industrial de Santander, la escuela de Ingeniería Metalúrgica y todos sus funcionarios, quienes con su humanismo hicieron parte de nuestra formación como profesionales.

A Javier Gaitán, Ambrosio Carrillo, Juan Domingo(q.e.p.d.), Mario, Oscar, demás técnicos y al grupo administrativo de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica por el apoyo y colaboración brindada en cada uno de los laboratorios cursados durante la carrera y el desarrollo del presente proyecto.

Johan Sebastian Acosta Sanchez, Edwin Javier Bermúdez Landinez

A mis compañeros y amigos, Juan José Sanchez, Garrido, Larry Muños, Team puppies, Santiago Peña, Edgar Nieto, Edwar Jaimes, Alejo L, Téllez, Cesar R, JP Crofort, F. Amado, Zarza y al Dani, por hacer varios momentos inolvidables, en mi proceso como profesional.

A la comunidad de AA por tantas enseñanzas, en especial a mi padrino Teo.

Al Geólogo Sammy Martínez y la Profesora Ana María Pérez, por su colaboración en todos los momentos de dificultad

Johan Sebastian Acosta Sanchez

Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	12
1.1 Objetivo General.....	12
1.2 Objetivos específicos	12
2. Fundamentación teórica y revisión del estado del arte	13
2.1. Impactos en la salud humana y en el ambiente por la gestión inadecuada de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).....	13
2.1.1 Evolución legal de los antecedentes y normatividad	14
2.1.2 Procesos de reciclaje de los RAEE, métodos físicos de separación.	15
3. Metodología experimental	17
3.1 Descripción de la metodología.....	18
4. Resultados	19
4.1 Base conceptual de diseño e Identificación de necesidades.	19
4.1.1 Necesidades Físicas.	19
4.1.2 Necesidades de proceso	19
4.1.3 Alcance del proyecto.....	20
4.1.4 Usuario final.....	21
4.1.5 Caja negra de funciones de la planta recicladora.....	21
4.1.6 Árbol de funciones de la planta basada en procesos físicos para el beneficio de chatarra electrónica.	22

4.1.7 Alternativas de Procesos.....	23
4.1.8 Evaluación preliminar de alternativas.....	25
4.1.9 Diagramas de flujo y balance de masas de los procesos.....	26
4.1.10 Balance de masa del proceso.	29
4.2 Alternativas de diseño de la planta	34
4.2.1 Dimensionamiento de los equipos.	36
4.2.2 Diseño 3D de la planta.....	39
4.3 Análisis técnico económico de la viabilidad de la planta a pequeña escala para la valorización integral de la chatarra electrónica en el municipio de San Gil.....	40
4.3.1 Costos de adquisición de equipos.	40
4.3.2 Costos de instalaciones.	41
4.3.3 Costos de ingeniería y construcción.	42
4.3.4 Costos anuales.....	43
4.3.5 Ingresos a partir del material obtenido en la planta	44
5. Conclusiones.....	46
Referencias Bibliográficas	48
Apéndices.....	51

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema del diagrama de la metodología experimental.	17
Figura 2. Caja negra de funciones de la planta piloto recicladora de RAEE.	22
Figura 3. Árbol de las funciones de la planta piloto.	23
Figura 4. Criterios de evaluación 26	26
Figura 5. Diagrama de flujo 27	27
Figura 6. Composición porcentual. 30	30
Figura 7. Balances de masa proceso manual 31	31
Figura 8. Balance de masa Corriente Foucault 32	32
Figura 9. Balance de masa separación magnética..... 32	32
Figura 10. Balance de masa corriente Foucault en tics..... 33	33
Figura 11. Balance de masa general 34	34
Figura 12. Plano alternativa 1 35	35
Figura 13. Plano alternativa 2 36	36
Figura 14. Principales dimensiones de cada uno de los equipos que operan en la planta 37	37
Figura 15. Sumatoria total de las áreas 38	38
Figura 16. Dimensionamiento 3D de la planta 39	39
Figura 17. Precio en COP de los principales equipos de la planta. 40	40
Figura 18. Costes de instalación eléctrica..... 41	41
Figura 19. Costos en COP de instalaciones. 42	42
Figura 20. Costo en COP de ingeniería y construcción 42	42

Figura 21. Concepto de gastos de operación	43
Figura 22. Gastos de personal	44
Figura 23. Ingresos diarios y anuales por ventas de aluminio, chatarra ferrosa y Cobre.	44
Figura 24. Tiempo de recuperación de la inversión para la planta.	45
Figura 25. CAPEX y OPEX para la planta.	46

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Planos eléctrico de la planta piloto.	51

Resumen

Título: Diseño de una planta basada en procesos físicos para el beneficio de chatarra electrónica.*

Autores: Johan Sebastián Acosta Sánchez y Edwin Javier Bermúdez**

Palabras clave: RAEE, Reciclaje, planta, procesos físicos.

Descripción:

Diversos metales contenidos en los RAEE (residuos eléctricos y electrónicos) generan grandes problemas en los ecosistemas de la nación y del mundo. El reciclaje de estos elementos minimiza el impacto ambiental y da un uso alternativo a estos desechos, en Colombia estos residuos no son aprovechados y se han convertido en inconvenientes. En el presente trabajo de investigación, se estudió la posibilidad de recuperar Cobre, Aluminio y chatarra ferrosa, contenido en los RAEE, a partir de procesos físicos. El procedimiento comienza con la separación manual de las materias primas, la trituración, separación magnética, separadores por corrientes y luego continua con la separación de corrientes Foucault para obtener la mayor cantidad posible de los metales anteriormente nombrados y darle una disposición final al material de no interés. La simulación de la maquinaria y de la planta, en tres dimensiones, se simula con la ayuda de SolidWorks (software para el dimensionamiento en tres dimensiones). Los resultados obtenidos del estudio técnico-económico se realizan en un escenario ideal, en los cuales se pudo analizar la viabilidad del diseño de la planta.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales director Pedro Luis Del vasto Angarita Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales

Abstract

Title: Design of a plant based on physical processes for the benefit of electronic scrap*

Authors: Johan Sebastian Acosta Sánchez y Edwin Javier Bermúdez **

Key words: RAEE, Recycling, plant, physical processes.

Description:

Various metals contained in RAEE (electrical and electronic waste) generate great problems in the ecosystems of the nation and the world. The recycling of these elements minimizes the environmental impact and gives an alternative use to these wastes, in Colombia these wastes are not used and have become inconvenient. In the present research work, the possibility of recovering Copper, Aluminum and ferrous scrap, contained in RAEE, from physical processes was studied. The procedure begins with the manual separation of raw materials, crushing, magnetic separation, current separators and then continues with the separation of eddy currents to obtain as much as possible of the previously named metals and give a final disposition to the material of no interest. The simulation of the machinery and the plant, in three dimensions, is simulated with the help of SolidWorks (software for dimensioning in three dimensions). The results obtained from the technical-economic study are carried out in an ideal scenario, in which the feasibility of the plant design could be analyzed.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales director Pedro Luis Delvasto Angarita Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales

Introducción

En la actualidad, el planeta se encuentra en un aumento exponencial de la población humana, lo cual hace que el consumismo aumente día a día en todas las naciones a nivel mundial, dicho consumismo trae consigo diversos factores y/o efectos, siendo uno de ellos la basta generación de basuras o desechos diariamente. Estas basuras son una mezcla de desechos orgánicos, inorgánicos, desechos químicos y médicos (peligrosos), desechos reciclables, chatarras electrónicas, entre otros. Pará la gran mayoría de estas basuras los diferentes entes que se encargan de su manejo, cuentan con diversos métodos de reciclaje o procesos de tratamientos residuales, aunque si se estudia detalladamente en nuestro país no se están aprovechando diversos tipos de desechos con el fin de obtener un beneficio a partir de estos; es allí donde surge una idea la cual consta en la implementación y diseño de una planta a pequeña escala para el tratamiento físico de las chatarras electrónicas en nuestra región (San Gil, Santander), con el fin de obtener un producto de concentrado o un beneficio de la cantidad de materiales metálicos que dicha chatarra electrónica posee, los cuales por medio de ciertos procesos físicos se pueden tratar, y convertir en productos que reflejen tanto ganancias monetarias, diversas fuentes de trabajo para la comunidad, y también, y no menos importante, un impacto ambiental positivo ya que uno de los grandes problemas ambientales y de salubridad por los cuales está pasando Santander y sus áreas metropolitanas, son las constantes saturaciones de los vertederos y la mezcla de toda clase de estos desechos. Como lo mencionado anteriormente, gran parte de los residuos metálicos son provenientes de la chatarra electrónica, estos no son reutilizados ni reciclados lo cual termina siendo un problema al pasar del tiempo bajo condiciones de intemperie y oxidación continua, debido a que desprenden óxidos y

sulfuros que terminan contaminando aguas subterráneas, lagos y canales fluviales. En este proyecto se presenta una idea para la implementación de una planta a pequeña escala cuyo fin es trabajar con los residuos electrónicos que la región genera, y poder mostrar el impacto ambiental positivo de dicha planta.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

- Diseñar y establecer la viabilidad técnico-económica de una planta de pequeña escala para la valorización integral de la chatarra electrónica en el municipio de San Gil, Santander.

1.2 Objetivos específicos

- Diseñar el diagrama de flujo de procesos de la planta de pequeña escala para la valorización integral de la chatarra electrónica.

- Establecer el dimensionamiento de los equipos y la distribución de los mismos en un diseño 3-D detallado de la planta a pequeña escala para la valorización integral de la chatarra electrónica en el municipio de San Gil.

- Realizar el análisis técnico económico de la viabilidad de la planta a pequeña escala para la valorización integral de la chatarra electrónica en el municipio de San Gil.

2. Fundamentación teórica y revisión del estado del arte

2.1. Impactos en la salud humana y en el ambiente por la gestión inadecuada de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Varias sustancias, luego de ser desechados, acarrear riesgo en la salud humana y medio ambiente sino son manipulados adecuadamente, dichas sustancias posiblemente se encuentran en los RAEE: presencia de metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes, retardantes de llama y otras sustancias peligrosas. En la manipulación de la recuperación de los RAEE existen tres motivos de preocupación mundial, pues durante el proceso se pueden generar o añadir sustancias iguales o peores de nocivas como lo son: los constituyentes originales de los equipos, como el plomo, el cadmio y el mercurio; las sustancias que pueden añadirse durante algunos procesos de recuperación, como el cianuro; y las sustancias no intencionales que pueden formarse durante estos procesos como las dioxinas y furanos. Estas toxinas se pueden encontrar en los siguientes tipos de emisiones o salidas Lixiviados procedentes de actividades de tratamiento y disposición final. Material particulado (partículas gruesas y finas) procedentes de las actividades de desmantelamiento de los aparatos. Cenizas liberadas al aire y cenizas residuales de las actividades de quema o incineración de componentes. Liberación de humos de mercurio amalgamado provenientes de actividades de “cocción”, de remoción de soldaduras y otras propias de la quema de componentes. Aguas de desecho provenientes de instalaciones de trituración y desmontaje de los aparatos. Efluentes de lixiviación con cianuro y otras actividades de lixiviación (Lundgren, 2012)

2.1.1 Evolución legal de los antecedentes y normatividad

• **2005** El entonces ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, “Enunció” la Política ambiental para la gestión integral de los residuos o desechos Componente Localización en los RAEE.

• **2008** En el 2008 arranca de manera conjunta el “Proyecto Integrado de Reacondicionamiento y Reciclaje de RAEE en Colombia”, implementado por el Instituto Federal Suizo de Ciencias de Materiales y Tecnologías, EMPA, y el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales -CNPML de Colombia. Por medio de este proyecto se buscó apoyar la creación de un sistema de gestión nacional de RAEE y se creó un comité técnico nacional integrado por diferentes entidades de los sectores público y privado (Ministerio de Ambiente, 2010)

• **2010** 2 años después en el 2010 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, expidió tres resoluciones relacionadas con la implementación de sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de pilas y acumuladores, de computadores y periféricos y de residuos de bombillas fluorescentes.

• **2013** El Congreso de la República promulgó la Ley 1672 del 19 de julio de 2013 “por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE y se dictan otras disposiciones” (Min Justicia, 2013)

• **Actualidad** A partir del 2013 se ejecuta la ley 1672 del 19 de julio de 2013. En colaboración con las empresas privadas lo que se busca a nivel nacional es promover e implementar la ejecución de estrategias encaminadas a la prevención, la sensibilización y la

educación, la implementación de sistemas de recolección y gestión ambientalmente segura y la creación de infraestructura aprovechamiento de los RAEE, entre otros aspectos. Las anteriores estrategias tendrán un seguimiento por parte de los distintos funcionarios que hacen parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, como los regulatorios, de información, planificación, participación y otros (Ministerio de Ambiente, 2010). Para la realización del proyecto se tuvo en cuenta el decreto 2041 del 2014.

2.1.2 Procesos de reciclaje de los RAEE, métodos físicos de separación.

El reciclaje de este tipo de desechos es importante en medida tanto ambiental como monetaria, aunque existen ciertas compañías, entidades gubernamentales, ministerios y empresas comerciales que implementan un mecanismo de logística para reciclar estos desechos (Istanbul Commerce University Turkey, 2020), aun así, la gran mayoría de estos desechos no son reciclados. Existen empresas que incluso pusieron en marcha campañas para reciclar estos desechos, como lo es la compañía estadounidense DELL, quienes trabajaron con los presos para el reciclaje de los RAEE (Borraz, 2015). Este reciclaje y procesamiento de la chatarra electrónica RAEE lleva consigo un proceso adecuado, desde el transporte y almacenamiento de este, hasta el punto final que es llegar a recuperar esos materiales metálicos o de otro tipo como polímeros y cerámicos. Para hablar de procesos de separación, se puede hacer referencia a dos tipos, físicos y químicos, en este caso centrándose en los procesos físicos de separación, se cuenta con ciertos procesos que, aunque pueden ser sencillos de adecuar a un medio de trabajo, van a depender bastante de la cantidad que se quiera procesar, del tamaño de los desechos y al peso del mismo. Para estos procesos físicos, las variables que tienen gran importancia y que se deben tener en cuenta son, el

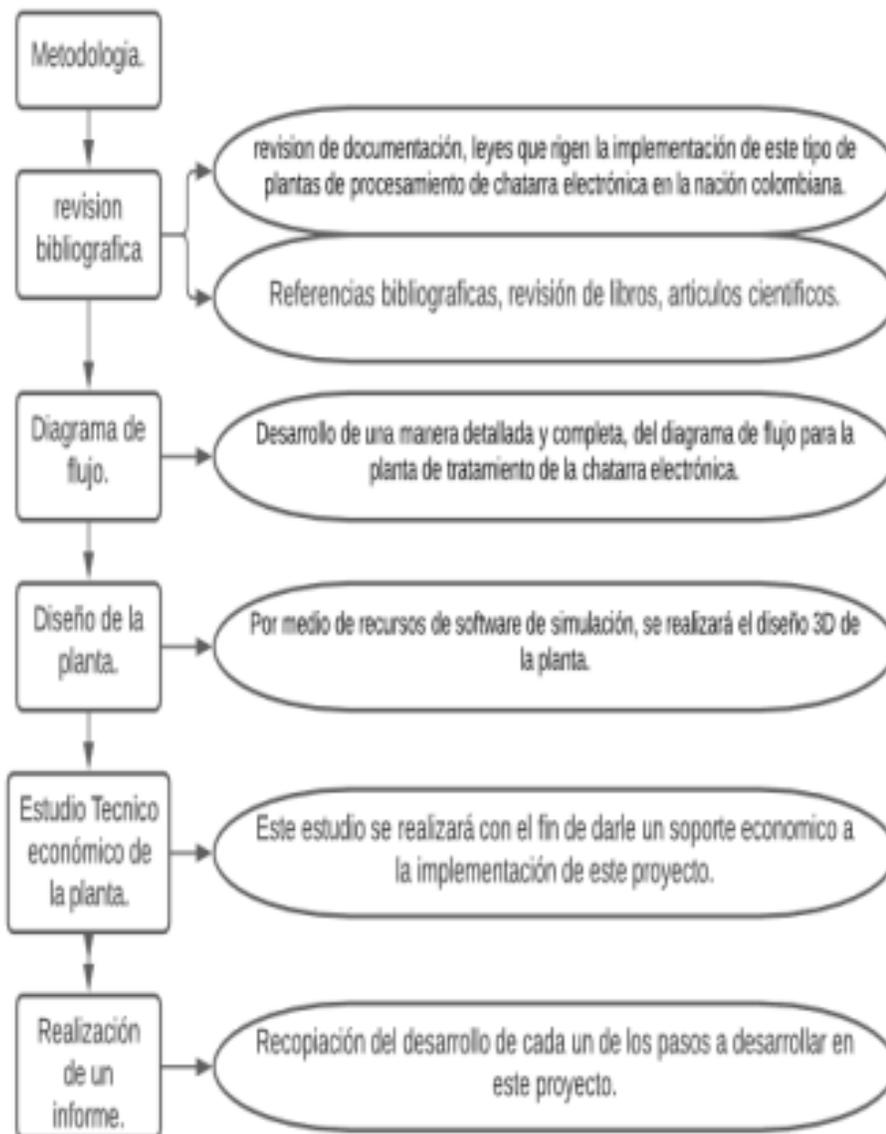
tamaño y el peso, ya que de estos depende el poder separar y llevar un conteo de cuanto material de interés se está liberando para su posterior reutilización (Nelen, 2014).

Ciertos procesos físicos que se pueden llevar a cabo para la separación y liberación de los materiales a partir de los RAEE (KELL, 2009) son: - Separación manual: básicamente el trabajo de operarios humanos, es un proceso primario que se lleva a cabo en las plantas de separación y tratamiento de los RAEE, principalmente con el objetivo de separar los desechos de chatarra electrónica según su clasificación. - Trituración y molienda: este proceso es el más utilizado en el beneficio de minerales a partir de chatarra electrónica RAEE, es el pie de partida para el desarrollo de procesos de separación posteriores, y su principal función u objetivo es reducir el tamaño de partícula (KELL, 2009). - Separación magnética: este proceso de separación es un proceso secundario, necesita de un proceso anterior como lo es la trituración y molienda, ya que para hacer que su eficiencia sea mejor, el trabajar con un tamaño de partícula adecuado (Ledgerwood, 2011) es la variable más importante.

3. Metodología experimental

Figura 1.

Esquema del diagrama de la metodología experimental.



3.1 Descripción de la metodología.

Primeramente y como todo proyecto se debe contar con una base de información, esta información salió de libros, artículos científicos, libro de leyes que rige la normatividad del país, Colombia, revistas industriales, base de datos de la Universidad Industrial de Santander, UIS etc. Los temas que se seleccionaron, fueron a partir de estas bases de información y temas relacionados con el tratamiento de la chatarra electrónica, información acerca del beneficio de minerales que trae consigo el tratamiento y la reutilización de estos desechos de chatarra electrónica, normatividad ambiental y legal, entre otros. Cabe destacar que esta revisión bibliográfica, se llevó a cabo antes y durante el desarrollo del proyecto.

El Diagrama de flujo se realizó, teniendo en cuenta la evaluación de la ponderación y el árbol de funciones, se utilizó un software en línea llamado *Lucidchart*, La importancia de realizar este diagrama de flujo, es básicamente obtener una noción del funcionamiento de la planta de tratamiento de desechos electrónicos, procesos, maquinaria espacios de trabajo y transporte. Es importante aclarar que este diagrama de flujo únicamente mencionará y explicará el procedimiento de funcionamiento de la planta, el total de la producción de esta, y además será el pie de partida para la simulación de la misma en un esquema 3D, en cuanto al diseño, en 3D de la planta se utilizó, *solidworks*, software simulador en 2 y 3 dimensiones, en cuanto a análisis técnico Económico se tuvo en cuenta el libro "Gestión en proyectos según el PMI", en su índice 4, Áreas de conocimiento de la gestión de proyectos, en su apartado 4.5, Gestión de coste, y un análisis económico a cerca de la viabilidad de la planta.

4. Resultados

4.1 Base conceptual de diseño e Identificación de necesidades.

El proyecto plantea el diseño conceptual de una planta piloto para la recuperación de aluminio, cobre y chatarra ferrosa, obtenidos a partir de los RAEE, así como la disposición final del material que no es interés para el proceso recuperativo planteado, el cual podría ser entregado a otros manejadores de residuos o llevados al vertedero. A continuación, se identifican cada una de las necesidades que guían el diseño del proceso

4.1.1 Necesidades Físicas.

- **Espacio:** Posibilidad de ser instaladas en edificaciones tipo taller (500-1000 m²).
- **Ubicación:** Salida del municipio de San Gil (coordenadas).

4.1.2 Necesidades de proceso

- **Material a procesar:** Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)
- **Capacidad de la planta piloto:** Una tonelada día RAEE procesado
- **Productos obtenidos del procesamiento:** Material ricos en aluminio, cobre y chatarra ferrosa.
- **Fuentes de energía:** utilización de la red eléctrica nacional.

- **Grado de automatización:** La indispensable para mantener un control óptimo de las operaciones más relevantes de la planta, por ejemplo, reducción de tamaño, separaciones físicas, clasificación de materiales, entre otros.

4.1.3 Alcance del proyecto.

Utilizar el conocimiento adquirido en Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, acerca de las tecnologías existentes para la posible recuperación de material rico en aluminio, cobre y chatarra ferrosa, así como la disposición final del material de no interés y de esta manera generar una disminución en gran parte del porcentaje de los RAEE que son arrojados a rellenos sanitarios u otros lugares en donde son fuente de contaminación y alteración del medio ambiente.

La problemática medioambientalista se ha venido acrecentando en los últimos tiempos, es así como reconocidos diarios, revistas, sitios WEB, entre otros han hecho énfasis en la gravedad del asunto, por ejemplo, el pasado 25 de julio del presente año, el diario Vanguardia Liberal, de Bucaramanga, en su sección de *tecnología* publicó: ***“residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*** “La basura electrónica: otra ‘Pandemia’, ¿Qué está haciendo el mundo al respecto?” (Resumen de agencias, 2021). En este apartado, Vanguardia Liberal (Diario departamental), informó de los problemas de salud que se encuentran relacionados con los RAEE, ya que, en estos aparatos, pueden encontrarse hasta 69 elementos químicos, incluidos materiales potencialmente tóxicos como plomo, mercurio, cromo, entre otros. A su vez, en el artículo se explica a la ciudadanía cómo disponer correctamente estos residuos, recomendando su reciclaje. Así mismo, informa, de que un poco más del 81% de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos “no son recogidos y tratados” adecuadamente en el mundo. De esta manera se hace

notorio una problemática departamental y/o nacional la cual se podría mitigar con la creación de una planta piloto para residuos eléctricos y electrónicos (RAEE) disminuyendo el porcentaje de está chatarra en los rellenos sanitarios del municipio de San Gil en el Departamento de Santander.

4.1.4 Usuario final

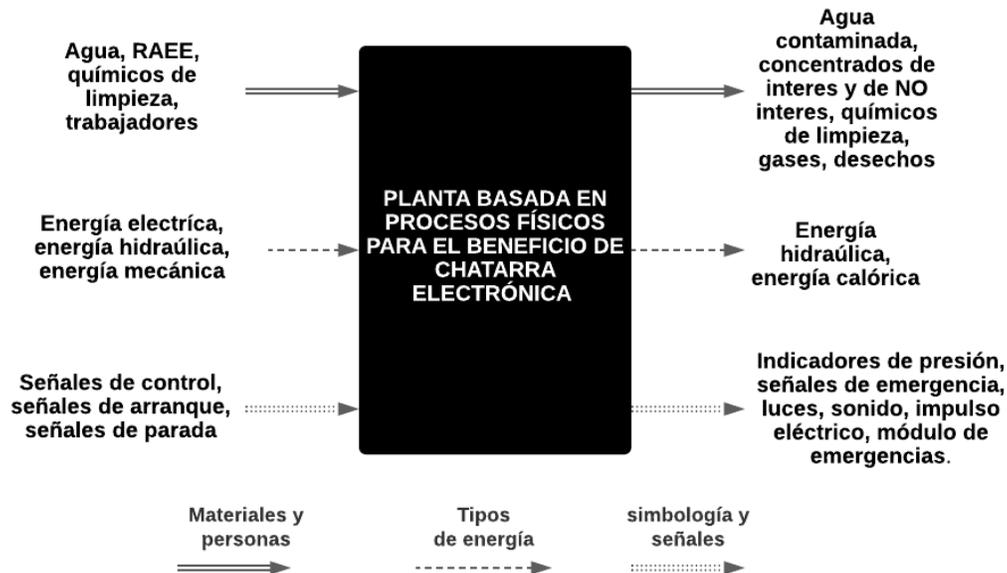
Personas naturales, entidades privadas, organizaciones no gubernamentales, comunidades o entes gubernamentales, a los cuales les puedan interesar, las tecnologías para el procesamiento de los RAEE.

4.1.5 Caja negra de funciones de la planta recicladora

Al disponer de un bosquejo de una caja negra de funciones se observan los componentes de entradas y salidas a la planta piloto a pequeña escala, así como las posibles alteraciones externas, por ende, en la figura 2 se muestran los elementos o materiales y personas (doble línea continua), tipos de energías (línea sencilla discontinua), simbología y señales (doble línea punteada), que pueden entrar y salir la planta piloto de reciclaje de los RAEE, propuesta en este trabajo. De igual manera, se presentan los posibles impactos hacía el entorno.

Figura 2.

Caja negra de funciones de la planta piloto recicladora de RAEE.



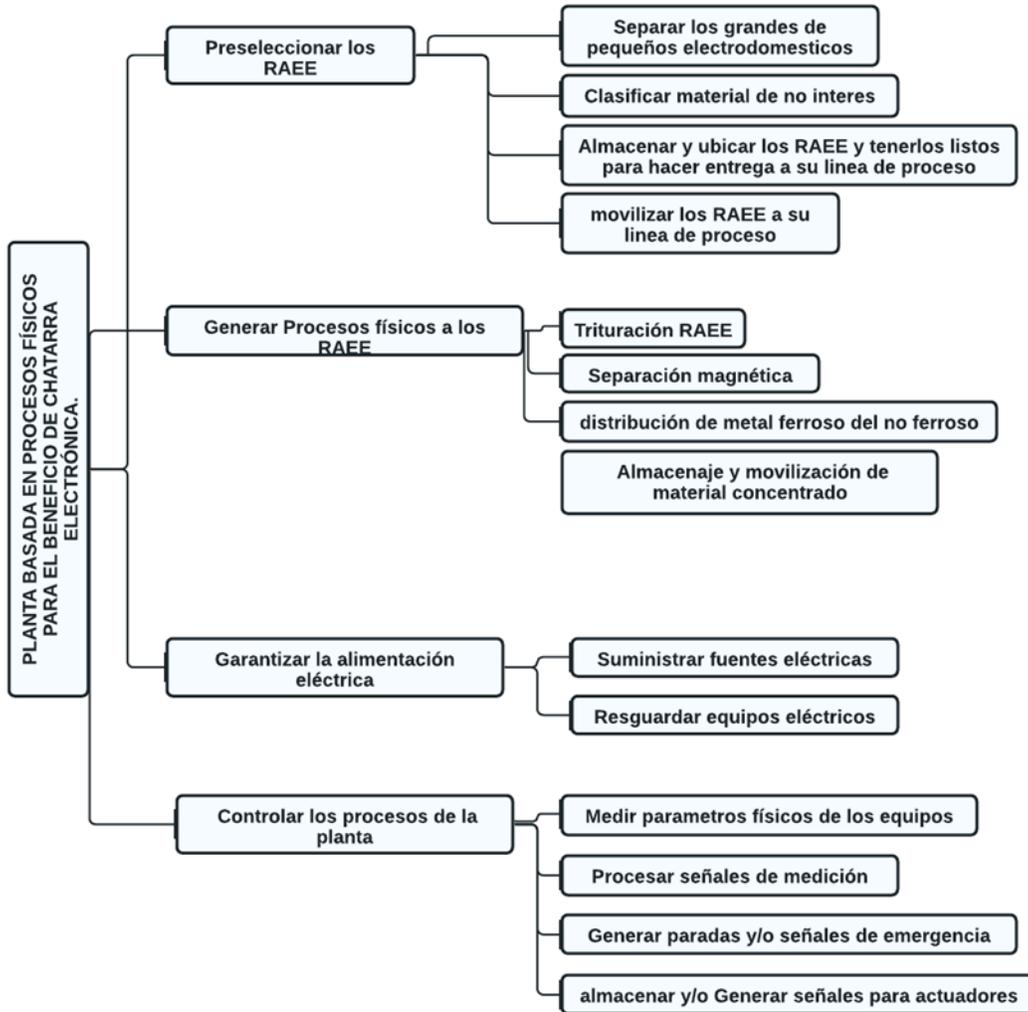
4.1.6 Árbol de funciones de la planta basada en procesos físicos para el beneficio de chatarra electrónica.

Una vez se encuentren organizado los materiales, personas, tipos de energías, condiciones, que ingresan y salen de la planta piloto se continúa enumerando y realizando un esquema de las funciones y subfunciones de manera jerárquica que debe se debe cumplir.

En el esquema se encuentra seis funciones básicas Preseleccionar los RAEE, procesos físicos como lo son separación manual, trituración, compactación, Controlar los procesos de la planta, Garantizar alimentación de suministros de trabajo, Garantizar la alimentación eléctrica. De estas se derivan unas subfunciones que se pueden ver en la. Figura 3

Figura 3.

Árbol de las funciones de la planta piloto.



4.1.7 Alternativas de Procesos.

El proceso al cual deben someterse los residuos o chatarras RAEE, tiene que ser adecuado y bien ejecutado, para que la recuperación final de los materiales de interés sea la más óptima

(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2017). Por lo tanto, se hace necesario tomar como referencia procesos de plantas de tratamiento de chatarra RAEE que ya se encuentran en funcionamiento y que constituyen casos de éxito. En el mundo, existen diversos tipos de plantas industriales que se encargan del reciclaje de los RAEE, unas a gran escala y otras, más sencillas, con menor capacidad de procesamiento. Algunas de estas plantas, no solo se encargan de residuos RAEE, sino que, también, son capaces de procesar otros tipos de desechos. Lo que sí es claro y, de destacar, es que, en gran parte, dichas plantas tienen procesos muy similares, sobre todo en las primeras etapas de desmantelamiento de los RAEE.

Todos los procesos inician con la recolección de los residuos, en centros de acopio o a través de empresas asociadas. La planta RAEE Andalucía, de España, es un claro ejemplo de este proceso ya que, trabaja de la mano con varias empresas recolectoras que hacen parte del proceso (RAEE Andalucía, 2015); después de dicho acopio y depósito en la planta, se procede a realizar una selección o clasificación de estos desechos. Por su parte, la planta Perú Green Recycling tiene un proceso que se basa, únicamente, en la separación mediante procesos manuales, realizados por operarios de la planta que ejecutan una separación de materiales presentes en los RAEE, tanto por tamaño, tipo, aprovechamiento o riesgo biológico (Velasquez, 2015). Un proceso similar es llevado a cabo en el Complejo Medioambiental de Cerceda en España, el cual, aunque no se dedica de lleno a el tratamiento de RAEE, si tiene en su proceso una etapa, dedicada a dicha clasificación (Sogama, 2014). A continuación, los materiales que no han sido seleccionados como de interés, son llevados a la bodega de desechos, mientras que los equipos de cómputo y comunicaciones, se llevan a un proceso de desmantelamiento y desinfección, proceso que va de la mano con lo anteriormente mencionado; de allí, se procede a realizar una trituración de los desechos, cuyo principal objetivo es desprender los materiales de interés (ferrosos y no ferrosos) de las carcasas y

demás materiales que no presentan valor económico de recuperación. Otro ejemplo La planta de Reciclaje RAEE BOMATIC, se basa fundamentalmente en este proceso (Unoreciclaje, 2015), al igual que la ya mencionada planta RAEE Andalucía.

Realizada la trituración, se procede con la separación tanto de los materiales ferromagnéticos y no ferromagnéticos, del resto de componentes. Este proceso, se hace por medio de un separador magnético, seguido de un separador por corrientes de Eddy (Newton, 2021). Esta alternativa es de gran eficiencia para la realización de la separación deseada y se puede observar en plantas tanto grandes, como medianas y pequeñas (Unoreciclaje, 2015). Otro ejemplo de esto es la empresa Coparm, la cual no solo construye y opera plantas de tratamientos de RAEE, sino que también distribuye equipos como trituradoras, separadores magnéticos y separadores por corrientes de Eddy (Coparm, 2015). Con el fin de automatizar la planta en la medida de lo posible, el transporte de los materiales procesados entre uno y otro proceso, se realiza por medio de vehículos de carga y/o bandas transportadoras, las cuales deben estar bien programadas y optimizadas en cuanto a velocidad y capacidad de transporte para que el proceso en general sea lo más eficiente posible.

4.1.8 Evaluación preliminar de alternativas.

El proceso de selección de alternativas, se realizó teniendo en cuenta los diversos ejemplos de plantas de RAEE antes descritos, además de diversos tipos de máquinas o equipos para el desarrollo de dicho proceso. La idea es seleccionar, paso a paso, las prácticas de tratamiento de RAEE más eficientes y ejecutables en el entorno del proyecto (San Gil, Santander) y diseñar, una planta piloto, basada en procesos físicos, para el beneficio de chatarra electrónica RAEE. Para

tales fines, se realizó una cuantificación ponderada de las distintas plantas analizadas, teniendo en consideración los aspectos técnicos más relevantes de las mismas, y dándole mayor cuantificación a los procesos más importantes. Los resultados de este análisis se muestran en la Matriz de evaluación de alternativas que se presentan en la tabla 1.

Figura 4.

Criterios de evaluación

Criterios de Evaluación	opciones	procesos				
	ponderación	RAEE Andalucía	Perú Green Recycling	C.M. Cerceda en España	RAEE BOMATIC	Coparm
		1	2	3	4	5
recolección RAEE	0.150	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
tiempo de desmantelado	0.150	0.13	0.15	0.08	0.08	0.08
separación magnética	0.125	0.11	0.02	0.02	0.11	0.11
tiempo de trituration	0.150	0.13	0.01	0.01	0.14	0.13
Costos de maquinaria	0.100	0.08	0.03	0.01	0.09	0.1
Costo personal	0.100	0.08	0.1	0.06	0.06	0.06
banda transportadoras	0.100	0.09	0.01	0.01	0.1	0.08
separaciones ctes Eddy	0.125	0.09	0.01	0.02	0.11	0.1
sumatoria	1.000	0.840	0.460	0.340	0.820	0.790

Esta figura muestra una matriz de alternativas que brinda el cómo se seleccionaron los procesos a llevar a cabo por medio de un análisis con las diferentes plantas, según sus procesos las plantas que más se asemejan y de las cuales se tomó como mayor referencia, son RAEE Andalucía, y las plantas de RAEE Bomatic.

4.1.9 Diagramas de flujo y balance de masas de los procesos

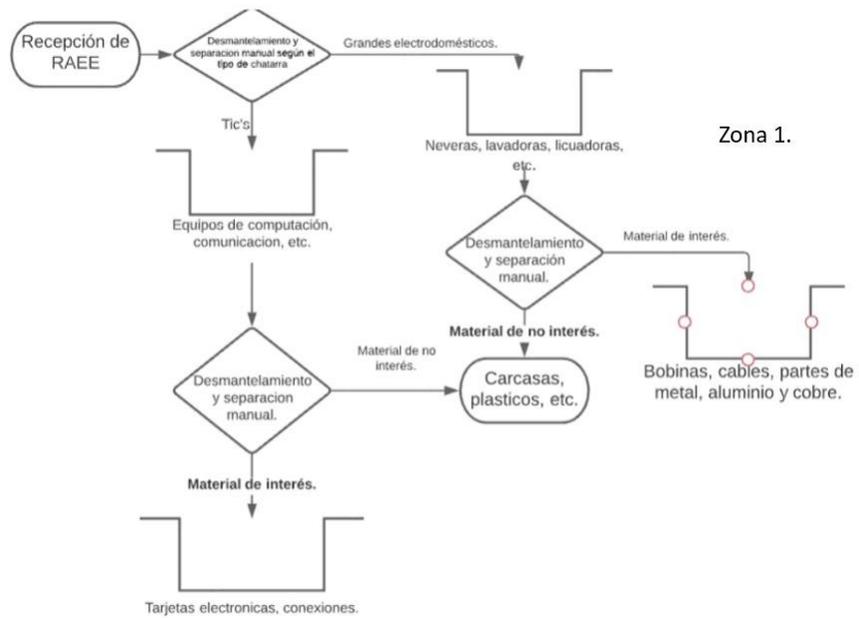
Uno de los primeros pasos luego de recibir y rotular los residuos RAEE, es realizar un desmantelamiento total de los grandes y pequeños electrodomésticos (equipos de cómputo y telecomunicaciones) Tic’s, para luego ser sometidos a trituradoras, separadores magnéticos y de

esta manera obtener el cobre, aluminio y chatarra ferrosa. En la figura 4 se muestra el diagrama de flujo respectivamente, ideal para los procesos de la planta piloto.

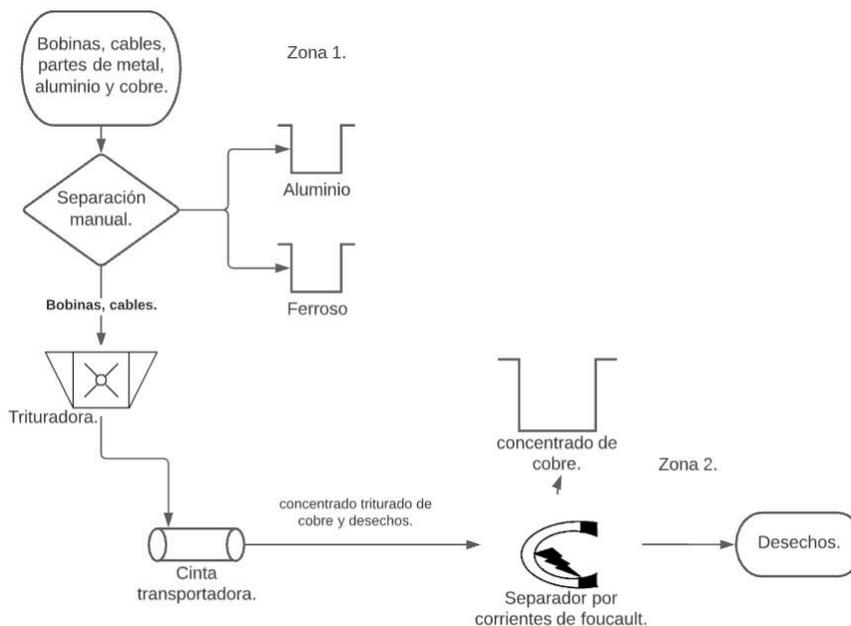
Figura 5.

Diagrama de flujo

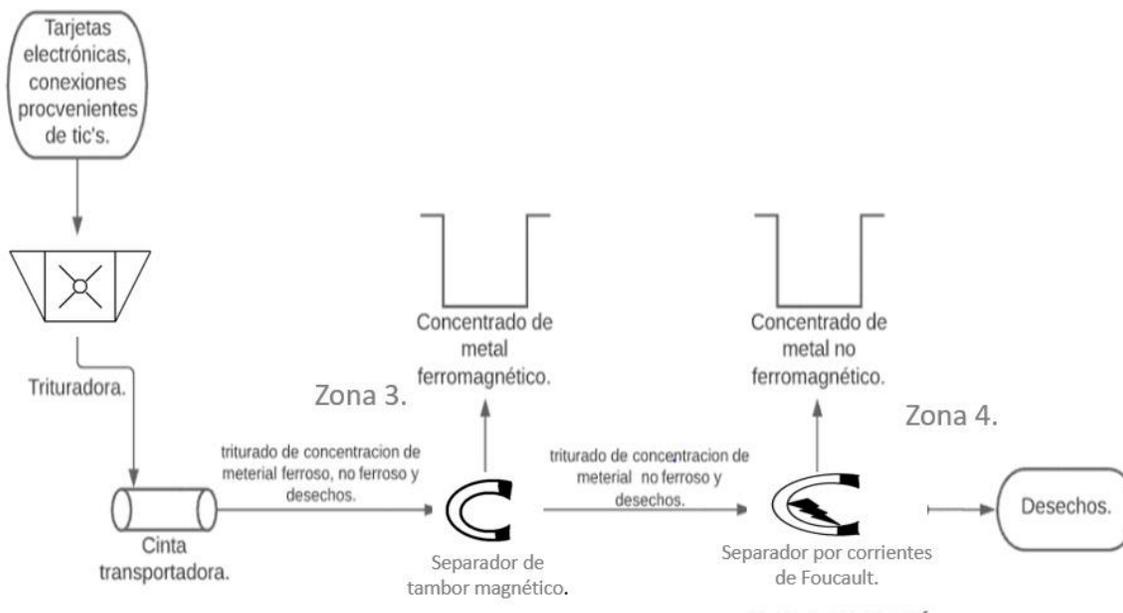
Parte a.: Diagrama de flujo de los procesos implicados dentro de la planta.



Parte b.: Diagrama de flujo de los procesos implicados dentro de la planta.



Parte c.: Diagrama de flujo de los procesos implicados dentro de la planta.



4.1.10 Balance de masa del proceso.

Durante el desarrollo del proceso de beneficio de chatarra RAEE, se realizan ciertos procesos de separación que a medida que avanzan van dejando de lado material de no interés, todo con el fin de obtener finalmente el material de interés para su comercialización. Estos procesos se dividen a lo largo de la planta en distintas zonas, las cuales son, zona de desmantelamiento y separación manual por parte de operarios para electrodomésticos, carcasas y residuos de gran tamaño, luego de este proceso, se derivan otros procesos, los cuales corresponden a la trituración y separación de cables y bobinas, y por otra parte el proceso de trituración y posterior separación de los residuos tics.

En cada uno de estos procesos, se hace necesario realizar un balance de masa del material tratado para conocer o tener un control de las cantidades de material tanto de interés como de no interés que se obtendrán en cada parte, con el fin de conocer de manera aproximada cuanto material se está beneficiando al final del proceso; para poder realizar dichos cálculos, se toma como base de cálculo cantidades de 1000 kg de chatarra tratada y de referencia los porcentajes de materiales establecidos por *Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology*, las cantidades presentes de materiales en estos RAEE se encuentran en la siguiente tabla.

Figura 6.*Composición porcentual.*

Composición porcentual de materiales presentes en los RAEE.		
Material	Grandes electrodomésticos.	Tic's y electrónica de consumo.
Metal ferroso	43	36
Aluminio	14	5
Cobre	12	4
Plásticos Bromados	0.29	18
Otros	30.71	37
Total	100	100

Como se mencionó anteriormente, el proceso se divide en distintas zonas, las cuales se numeran para llevar un orden y/o un seguimiento detallado de los flujos de material presentes en cada fase.

Zona 1. Zona de separación manual de las chatarras provenientes del depósito de compilación.

En esta zona se da inicio al proceso por el cual deben pasar estas chatarras para el beneficio de los materiales de interés. Desde este punto los cálculos se realizan tomando como base de cálculo 1 tonelada tanto de chatarra de grandes electrodomésticos, como de chatarra de Tic's y electrónica de consumo.

En esta parte del proceso se asume una eficiencia del 100% en el proceso de separación de materiales, pero, se debe tener en cuenta que, para la chatarra de grandes electrodomésticos, la cantidad de cobre deberá someterse a un posterior proceso para su liberación, esto debido a que principalmente se encuentra este material en bobinas de motores y en los cables de conexiones, y, en estos componentes los plásticos bromados están presentes. Por otra parte, para la chatarra de Tic's y la electrónica de consumo, también se someterá a este proceso, donde se liberará de

carcasas y partes de no interés, pero para la obtención final de Cobre, Hierro y aluminio, se debe tratar con otros procesos en una zona de proceso posterior.

A continuación, la *tabla 3* muestra los cálculos con las distintas ramas de flujo que se manejan en esta zona de proceso.

Figura 7.

Balances de masa proceso manual

Grandes electrodomésticos		
Material	% presente	Cantidad (Kg)
Ferroso	0.43	430
Aluminio	0.14	140
Cobre	0.12	120
Plásticos bromados	0.0029	2.9
Otros	0.3071	307.1
Total	1	1000

Tic's y electrónica de consumo.		
Material	% presente	Cantidad (kg)
Ferroso	0,36	360
Aluminio	0,05	50
Cobre	0,04	40
Plásticos bromados	0,18	180
Otros	0,37	370
Total	1	1000

Zona 2. Zona de separación mediante el equipo de corrientes de Foucault, aplicado a la rama de bobinas y cables provenientes de Grandes electrodomésticos.

Luego de una trituración previa de estas partes, el material triturado pasa por un separador de corrientes por inducción, el cual permitirá separar en este caso el cobre del material de no interés, para así obtener un concentrado final. Se optó por un equipo separador por medio de corrientes de Foucault R-SPM/E el cual trabaja con una eficiencia del 99.8%.

A continuación, la *tabla 4* muestra el flujo en cantidad (kg) de material separado en este proceso.

Figura 8.

Balance de masa Corriente Foucault

Concentrado	Cantidad (kg)	Eficiencia	Total recuperado
Cobre	120	0,998	119,76
Plásticos	2,9	-	-

Zona 3. Zona de separación de concentrado de chatarra ferrosa, proceso en el cual se trabaja el triturado proveniente de las tarjetas electrónicas y materiales de conexiones que vienen de los Tic's y electrónica de consumo.

En esta parte del proceso, se trabajó con un equipo de separación magnética de tambor (R-TM), el cual brinda una eficiencia del 99,8% en la separación de todo material ferroso.

A continuación, la *tabla 5*, muestra el flujo en cantidad (kg) de material separado en este proceso.

Figura 9.

Balance de masa separación magnética

Concentrado	Cantidad (Kg)	Eficiencia	Total recuperado.(Kg)
Ferroso	360	0.998	359.28
Aluminio	50	-	-
Cobre	40	-	-
Plásticos	180	-	-

Zona 4. Zona de separación de la chatarra no ferrosa, concentrado proveniente del triturado de la chatarra de Tic's y electrónica de consumo.

Esta es la última etapa del proceso se espera separar una mezcla de concentrado de aluminio y cobre, ya que el equipo que es un separador por medio de corrientes de Foucault R-SPM/E, se encarga de separar todo material metálico no ferroso, del resto de material que no es de interés. Este equipo trabaja con una eficiencia igual a 99.8%

A continuación, en la *tabla 6*, se encuentra la cantidad de concentrado de metales no ferrosos que se liberan en este proceso.

Figura 10.

Balance de masa corriente Foucault en tics

concentrado	Cantidad (kg)	Eficiencia	Total recuperado (kg)
Aluminio	50	0.998	49.9
Cobre	40	0.998	39.92
Plásticos	180	-	-
Total concentrado	-	-	89.82

Realizando un balance general de la planta, y teniendo en cuenta que se tomó como base de cálculo 1 tonelada de cada tipo de chatarra, las cantidades de Aluminio, Cobre y chatarra ferrosa, recuperado se encuentran en la *tabla 7*.

Figura 11.*Balance de masa general*

Tipo de concentrado	Cantidad recuperada (kg)
Ferroso	699.28
Aluminio	140
Cobre	119.76
Aluminio + Cobre	89.82
Desechos (otros)	951.14

4.2 Alternativas de diseño de la planta

Se tuvieron en cuenta 2 opciones, luego de realizar una ponderación cualitativa a más de 8 empresas que se encargan de tratar los RAEE, de alternativas En esta propuesta se expone un sistema de funcionamiento en dos brazos, en los cuales se desarrolla cada proceso para los diferentes tipos de chatarra que se tratarán en la planta. A continuación, la figura 5 y figura 6, muestran un posible ordenamiento y distribución de los equipos interconectados de la planta, además, las zonas de trabajo manual.

Figura 12.

Plano alternativa 1

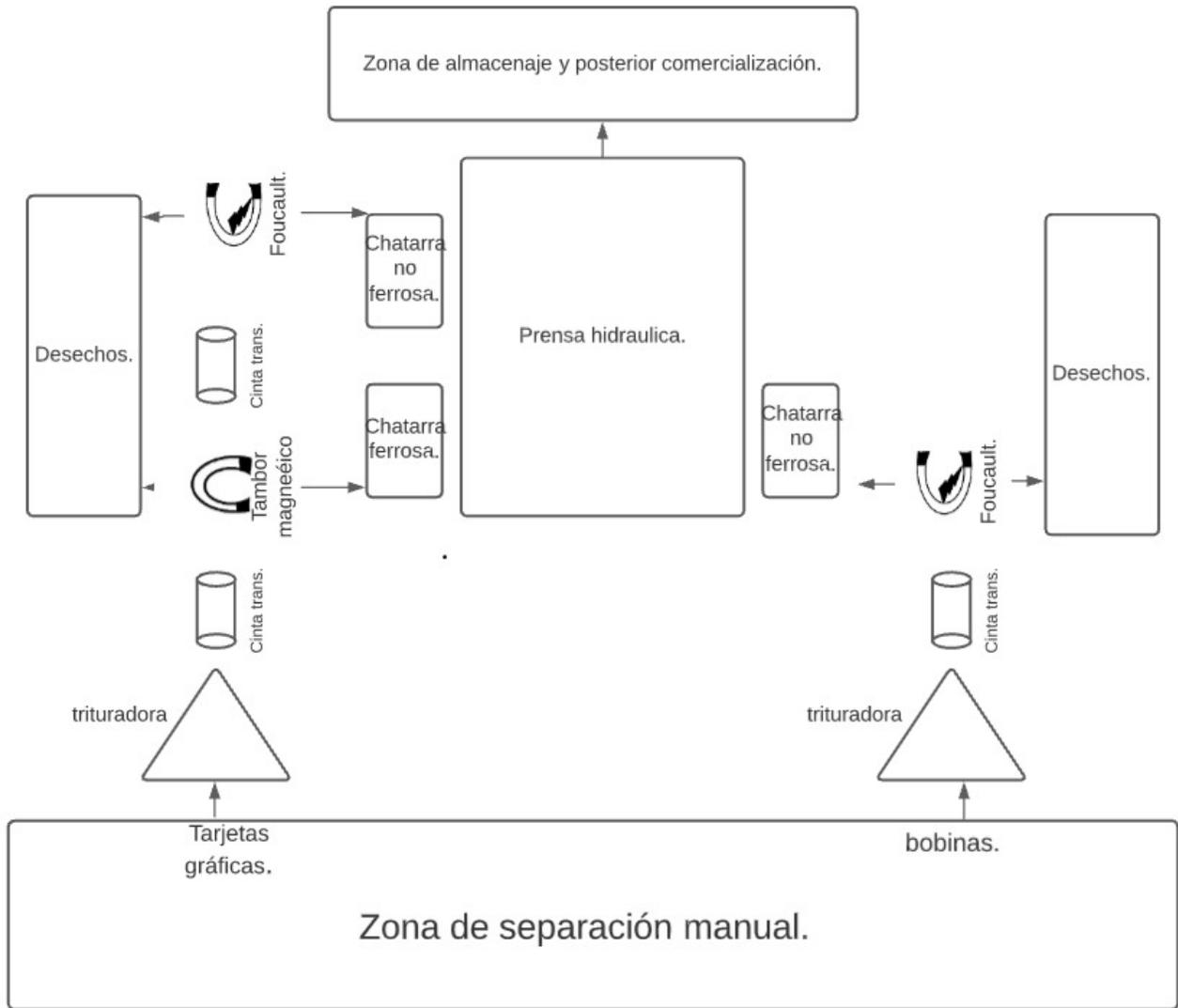
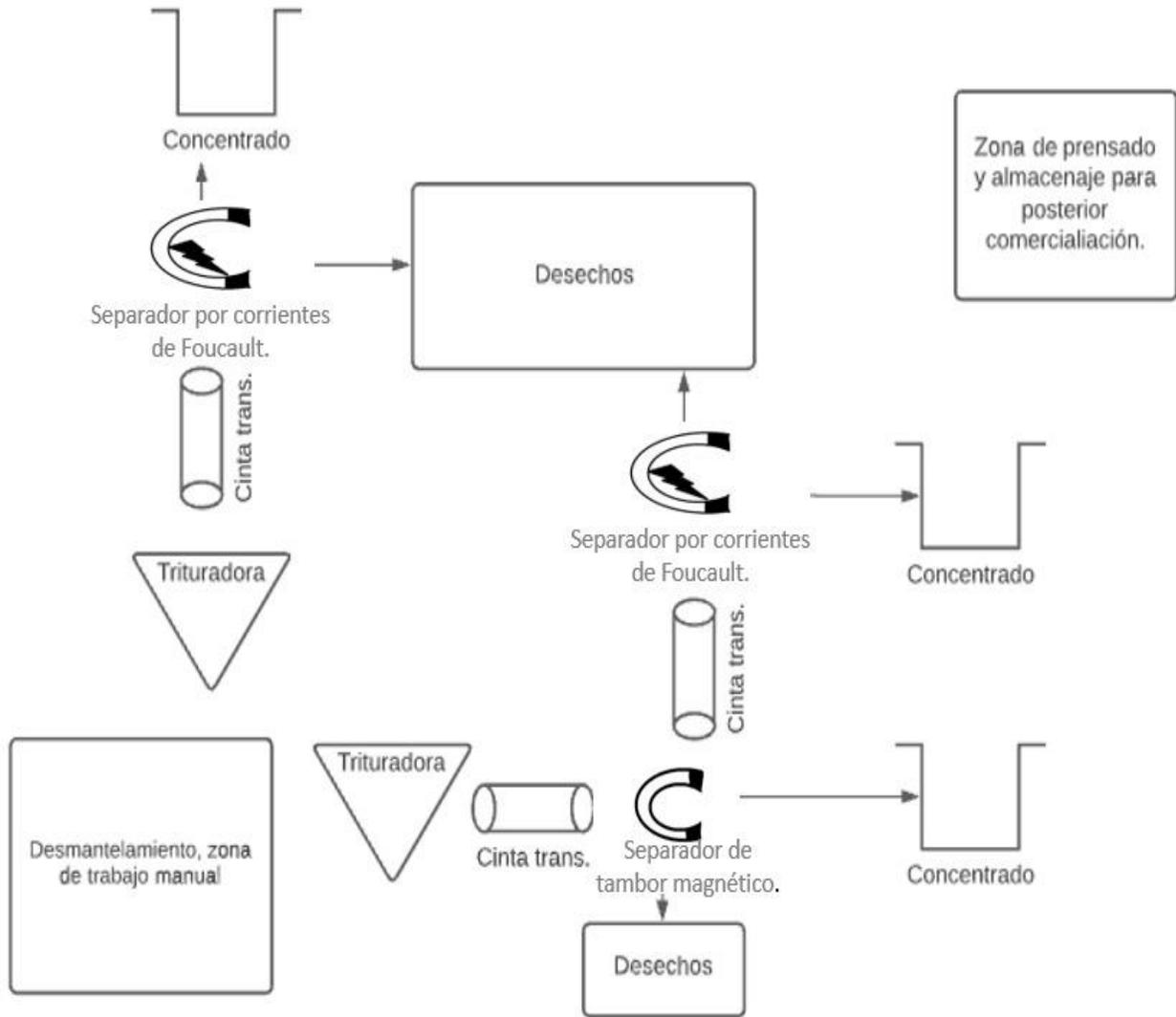


Figura 13.

Plano alternativa 2

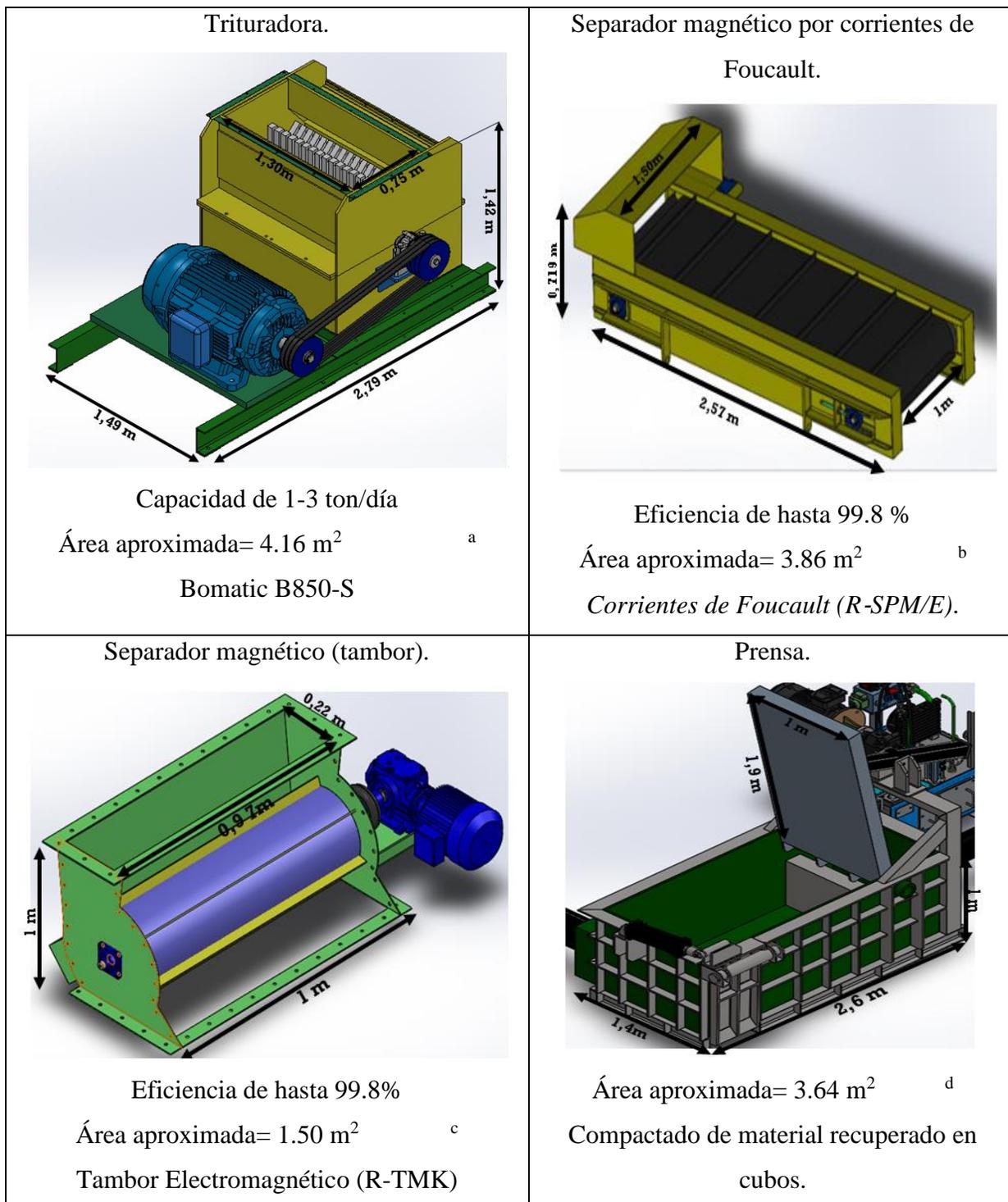


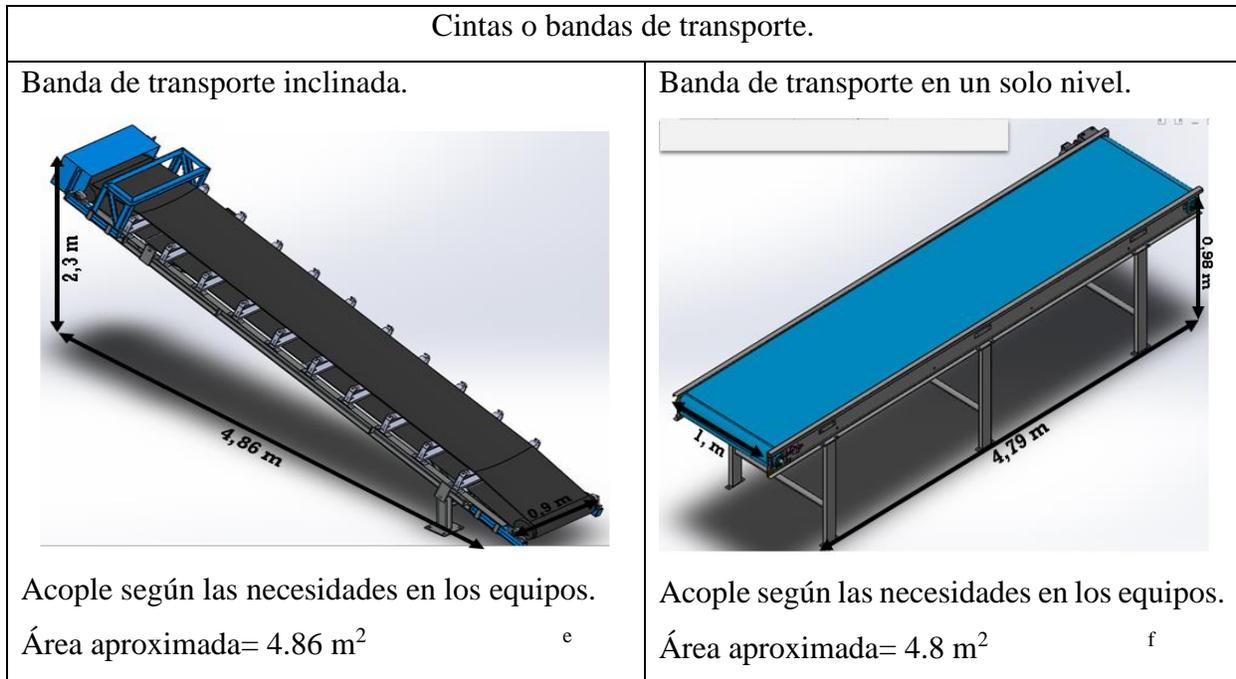
4.2.1 Dimensionamiento de los equipos.

En las figuras 7a.7b.7c.7d.7e.7f, se muestran las principales dimensiones de cada uno de los equipos que operan en la planta, además el área que ocupan aproximadamente y sus principales características.

Figura 14.

Principales dimensiones de cada uno de los equipos que operan en la planta





En la tabla 8, se muestra el sumatorio total de las áreas en que se divide la planta, permitiendo conocer en totalidad la cantidad de espacio que ocupará este complejo.

Figura 15.

Sumatoria total de las áreas

Área	Total (m ²)
Complejo edificado.	81
Zonas de procesos automatizado	508.2
Zona de procesos manuales.	240
Área total de la planta	829.2

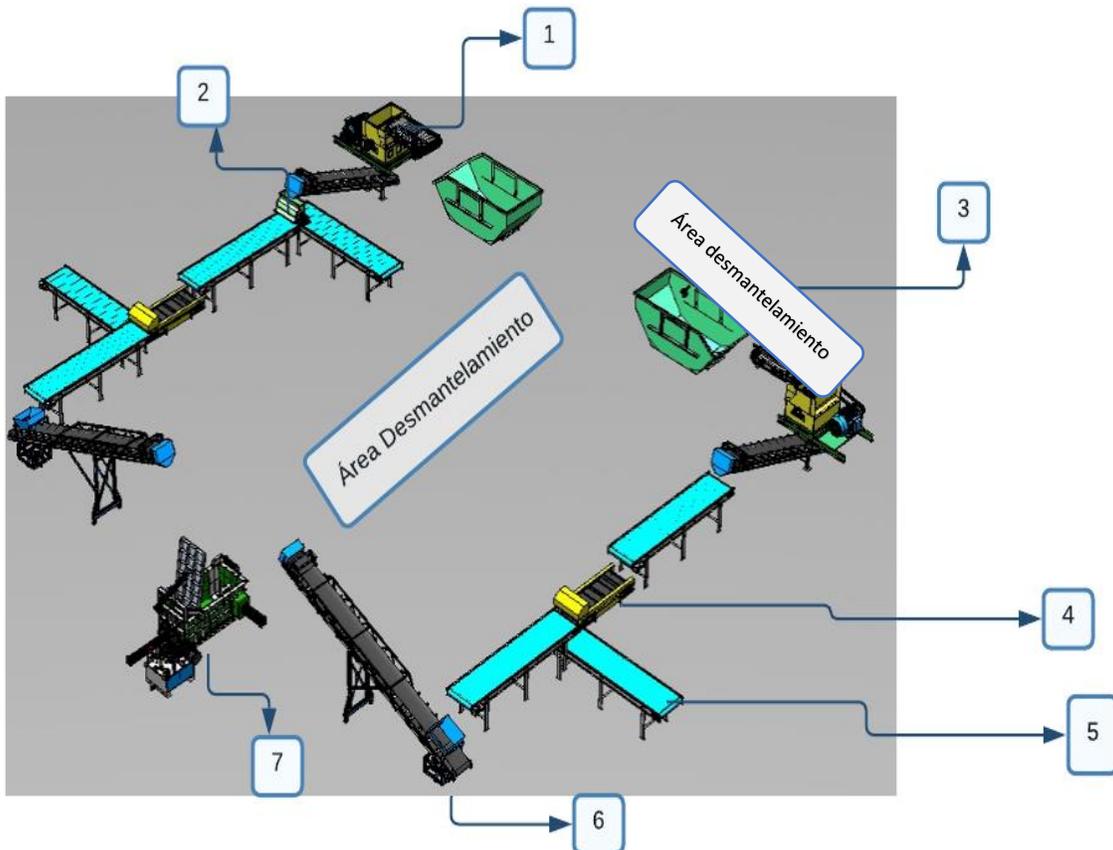
4.2.2 Diseño 3D de la planta.

Principalmente muestra la geometría y funcionamiento de los equipos, además de un aprovechamiento óptimo del espacio.

Figura 16.

Dimensionamiento 3D de la planta

Item	Descripción
1	Trituradora
2	Separador magnético (tambor)
3	Recipiente de almacenamiento
4	Separador de corrientes de Foucault.
5	Banda transportadora
6	Banda transportadora inclinada
7	Presna



4.3 Análisis técnico económico de la viabilidad de la planta a pequeña escala para la valorización integral de la chatarra electrónica en el municipio de San Gil.

4.3.1 Costos de adquisición de equipos.

Los costes para obtener los equipos que hacen parte de la planta a escala para la recuperación de aluminio, cobre y chatarra ferrosa, están dados por la sumatoria de los costos de los equipos, en la figura 10, de manera general se muestran los costos correspondientes a el valor de cada equipo, en moneda nacional, realizando la conversión de dólares a pesos colombianos. Para la obtención de los costos de los equipos, se utilizó como referencia los precios establecidos en diferentes compañías vendedoras de este tipo de maquinaria; se realiza una sumatoria y se obtienen un promedio el cuál arroja un aproximado a \$793.487.227COP

Figura 17.

Precio en COP de los principales equipos de la planta.

Equipo	Cantidad	Precio und (USD)	Precio (Cop)	Total (Cop)
Trituradora	1	\$ 3.800,00	\$ 14.322.200,00	\$ 14.322.200,00
Cinta transportadora	8	\$ 400,00	\$ 1.507.600,00	\$ 12.060.800,00
Tambor magnético	1	\$ 2.013,00	\$ 7.586.997,00	\$ 7.586.997,00
Separador de Foucault	2	\$ 8.125,00	\$ 30.623.125,00	\$ 61.246.250,00
Destornillador Hidraulico	4	\$ 200,00	\$ 753.800,00	\$ 3.015.200,00
Recipiente almacenaje	8	\$ 281,25	\$ 1.060.031,25	\$ 8.480.250,00
Prensa	1	\$ 1.870,00	\$ 7.048.030,00	\$ 7.048.030,00
Total (Cop)				\$ 113.759.727,00

4.3.2 Costos de instalaciones.

Para establecer los costes de las instalaciones eléctricas se tuvo en cuenta el, número de toma corrientes, plafones, interruptor y cantidad de cable. Ver imagen PlanoNo.1, plano del circuito.

Figura 18.

Costes de instalación eléctrica

Costes de instalación eléctrica			
Concepto	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Toma corriente	14	15,000	210,000
Plafones	6	65,000	390,000
Interruptor	2	55,000	110,000
Cable #2	760	3,000	2,280,000
Total			2,990,000

En cuanto a los costes de las instalaciones de una tubería básica, se tuvo en cuenta el precio por unidad de un contador principal, válvulas de agua, fuentes de agua y coste de la tubería por metros. Los valores de las cotizaciones de los equipos y las instalaciones se encuentran en <https://www.unoreciclaje.com/productos/bomatic/r750/> y las otras fuentes que se encuentran en las referencias bibliográficas, se investigamos más de 4 precios del mismo equipo y posteriormente se realiza un promedio de precios.

Figura 19.*Costos en COP de instalaciones.*

Costes de instalación Tubería			
Concepto	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
contador principal	1	555,000	550,000
valvula de agua	4	25,000	100,000
Fuente de agua	2	350,000	700,000
Tubería	110	3,500	385,000
Total			1,735,000

instalación	Coficiente	Precio[COP]	precio total [COP]
Instalación Electrica	1,5	2,990,000	4,485,000
Instalación Tubería	1,5	1,735,000	2,602,500
Instalación Equipos	1,2	100,000	120,000
Total			7,207,500

4.3.3 Costos de ingeniería y construcción.

En cuanto a los costes involucrados a la ingeniería y la construcción de la edificación, se realiza una aproximación de las cotizaciones, pues en este apartado, se pueden generar más costes de acuerdo a la ubicación, acabados, estrato residencial, etc.

Figura 20.*Costo en COP de ingeniería y construcción*

Costos	Coficiente	Precio [COP]	Precio Total
Construcción del Área	1,4	385,000,000	539,000,000
Compra del terreno	1,4	100,000,000	140,000,000
Total			679,000,000

4.3.4 Costos anuales

Los costos yanto de mantenimiento como gastos en energía eléctrica y agua en general, se deben tener en cuenta para llevar cuentas de los gastos que la planta tiene. A continuación, la tabla 13, muestra los valores tabulados de estos gastos anualmente.

Figura 21.

Concepto de gastos de operación

Concepto	Coeficiente	Precio Und [COP]
Mantenimiento de equipos		6,300,000
Energía electrica		349,067,520
Gastos de agua		1,920,000
Total		357,287,520

Para la realización del mantenimiento de los equipos se tuvo en cuenta la revisión en un periodo de 4 meses, esto quiere decir que serían 3 mantenimientos que se le deben realizar a los equipos anualmente. En la tabla 13, se encuentra la cantidad aproximada del gasto de energía eléctrica anual. En cuanto a los gastos de Agua se realiza un cálculo aproximado de gasto de agua por persona, luego, se realizan los cálculos mensuales, finalmente se utiliza un factor multiplicador para realizar el cálculo del consumo por año.

Por otra parte, la tabla 14, muestra los gastos de nómina anualmente de la planta.

Figura 22.*Gastos de personal*

Empleado	Cantidad	salario mensual	Salario anual
Técnico	2	1,450,000	34,800,000
operarios	6	1,100,000	79,200,000
Ingeniero	1	2,000,000	24,000,000
Total			138,000,000

4.3.5 Ingresos a partir del material obtenido en la planta

Una vez se tiene detallado las cantidades tanto de inversión inicial en compra de equipos, terreno, instalaciones y demás, se procede a obtener las cuantificaciones del dinero que se espera obtener al comercializar los distintos materiales que se obtendrán en la planta.

En la tabla 15, podemos encontrar las cantidades monetarias de los distintos materiales que se comercializaran a la fecha 2021, cabe destacar que estos cálculos se realizan con una producción estimada a partir del tratamiento de 45 ton mensuales de chatarra en la planta. Además, se toman como días de trabajo solo de lunes a domingo, durante las 52 semanas del año.

Figura 23.*Ingresos diarios y anuales por ventas de aluminio, chatarra ferrosa y Cobre.*

Ingresos		
Tipo concentrado	Ingresos diarios	Ingresos anuales
Ingresos ferroso	\$ 727.950,48	\$ 189.995.075,28
Ingresos aluminio	\$ 609.420,00	\$ 159.058.620,00
Ingresos cobre	\$ 1.660.951,44	\$ 433.508.325,84
Ingreso (cobre+aluminio)	\$ 770.865,18	\$ 200.424.946,80

Una vez conocidos los costos e ingresos que se tienen en la planta, se realiza un estudio técnico-económico, hallando el tiempo de recuperación de la inversión realizada, o, en otras palabras, mostrando la viabilidad de la planta y por qué se trata de una buena inversión. La tabla 16, muestra los resultados obtenidos en este estudio, dando a conocer que entre el año 2 y el año 3 después de la ejecución del proyecto, se recupera la inversión, y se empieza a generar ganancia neta, cabe resaltar que se tiene en cuenta una tasa de interés anual, manejada por medio del banco de la república, y un escenario ideal de ingresos y egresos respectivamente.

Figura 24.

Tiempo de recuperación de la inversión para la planta.

Interés.	38%				
Años	0	1	2	3	4
Inversión inicial	\$ 113.759.727,00				
Instalaciones	\$ 727.500,00				
ingeniería y construcción	\$ 679.000.000,00				
Gastos operacionales		\$ 357.287.520,00	\$ 357.287.520,00	\$ 357.287.520,00	\$ 357.287.520,00
Sueldos		\$ 138.000.000,00	\$ 138.000.000,00	\$ 138.000.000,00	\$ 138.000.000,00
Total egresos	\$ 793.487.227,00	\$ 495.287.520,00	\$ 495.287.520,00	\$ 495.287.520,00	\$ 495.287.520,00
Ingresos ferroso		\$ 189.995.075,28	\$ 189.995.075,28	\$ 189.995.075,28	\$ 189.995.075,28
Ingresos aluminio		\$ 159.058.620,00	\$ 159.058.620,00	\$ 159.058.620,00	\$ 159.058.620,00
Ingresos cobre		\$ 433.508.325,84	\$ 433.508.325,84	\$ 433.508.325,84	\$ 433.508.325,84
Ingreso (cobre+aluminio)		\$ 200.424.946,80	\$ 200.424.946,80	\$ 200.424.946,80	\$ 200.424.946,80
Total ingresos	\$ -	\$ 982.986.967,92	\$ 982.986.967,92	\$ 982.986.967,92	\$ 982.986.967,92
Diferencia	-\$ 793.487.227,00	\$ 487.699.447,92	\$ 487.699.447,92	\$ 487.699.447,92	\$ 487.699.447,92
Presente	-\$ 793.487.227,00	\$ 353.405.397,04	\$ 256.090.867,42	\$ 185.573.092,34	\$ 134.473.255,32
Saldo	-\$ 793.487.227,00	-\$ 440.081.829,96	-\$ 183.990.962,53	\$ 1.582.129,80	\$ 136.055.385,12

Figura 25.

CAPEX y OPEX para la planta.

Costos de capital que son destinados a la inversión en el activo	inversión	Costo
CAPEX	Ingeniería	\$ 45,000,000
	Maquinaria	\$ 113,759,727
	Infraestructura	\$ 385,000,000
	Obras Eléctricas	\$ 2,990,000
	Total	\$ 546,749,727
"Capital Expenditure" o CAPEX: Gasto que la empresa hace cada año en adquirir y mejorar sus activos durante un periodo de tiempo, inversiones imprescindibles para el funcionamiento del negocio.		
Costos de Operación	Costo de operación/Ton	Costo
OPEX	Personal / Nomina	\$ 138,000,000
	Energía	\$ 349,067,520
	Adm. Operaciones Y corporativos	\$ 24,000,000
	Total	\$ 511,067,520
Opex es el acrónimo de Operating Expenses, traduce, como gastos operativos. Se refiere a todos los gastos que una empresa realiza para llevar a cabo sus funciones principales: pagar la renta, la nómina, adquirir materia prima, entre otras.		

5. Conclusiones

El realizar un diagrama de flujo, de un proceso físico de una planta como en este caso, planta de beneficio de chatarra RAEE, permite conectar la creatividad junto a la investigación de procesos industriales, de manera que este muestre una noción de cómo va a funcionar una planta, o un proceso para tratar la chatarra en este caso. Además, al realizar este proceso, se profundizó en la investigación y el funcionamiento de los distintos puntos a tener en cuenta, con una posterior ponderación y selección de procesos, para obtener la mejor opción para el montaje de dicha planta, esto a raíz de plantas que ya están en funcionamiento.

El dimensionamiento de la planta en tres dimensiones, nos proporciona una expectativa espacial y volumétrica aproximada de ella, con un valor de 580 metros cuadrados y 2320 metros cúbicos en donde cerca del 60% son espacios entre las máquinas y la cubierta de la planta, además, la ubicación, orden, y distancia aproximada que deben tener la maquinaria dentro de la planta para un funcionamiento más óptimo.

De acuerdo a varios motivos, como lo son: minoría de empresas encargadas del manejo de este tipo de residuos, el aumento en la adquisición de Tecnologías en el hogar, el contribuir con la disminución de contaminación en el medio ambiente, la generación de empleo en el municipio, la eventual mitigación de la explotación de recursos naturales para la obtención de estos elementos, (aluminio, hierro y cobre), disminución de agua contaminada, se concluye que la creación de una planta basada en procesos físicos para el beneficio de chatarra electrónica, es un proyecto viable ya que además de la inversión económica que se debe hacer, el hecho de obtener ingresos económicos a partir de “minería urbana”, es una opción que impacta de manera positiva al medio ambiente.

Referencias Bibliográficas

Borraz Mingorance, N., Blasco Marín, R., & Barcos Lafuente, R. (2015). *Reciclado de chatarra electrónica*.

CAS, Redaccion Regional. (25 de Agosto de 2021). Redaccion regional, CAS explica situación de de los rellenos sanitarios. *Vanguardia Liberal*.

COPARM. (2015). *Máquinas y plantas de tratamiento de residuos*. Obtenido de <http://coparm.es/maquinas-y-plantas-de-tratamiento-de-residuos/>

Istanbul Commerce University Turkey. (2020). Reverse Logistics in the Electronics Waste Industry.

KELL, D. (2009). Recycling and Recovery. *Issues in Environmental Science and Technology*, 27 *Electronic Waste Management Edited by R.E. Hester and R.M. Harrison*, 0(0), 1–20.

Ledgerwood¹, W. van Z. and P. V. A. van der W. (2011). the Effect of Particle Size distribution in Electrostatic and Magnetic Separation on Mineral recovery and Yields. *Knovel*, 13, 19–40.

Lundgren, K. (2012). The global impact of e-waste: Addressing the challenge. *Safe Work and SECTOR International Labour Organization*.

Min Justicia. (2013). *Ley 1672*. Sistema único de información normativa

Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial Republica de Colombia. (2010). *Lineamientos técnicos para el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos*.

- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (25 de Mayo de 2017). *Política Nacional, Gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/Politica_RAEE.pdf
- Nelen, D., Manshoven, S., Peeters, J. R., Vanegas, P., D'Haese, N., & Vrancken, K. (2014). A multidimensional indicator set to assess the benefits of WEEE material recycling. *Elsevier Ltd. All Rights Reserved.*, 83(0), 305–316.
- Newton Bunting. (6 de Septiembre de 2021). *5 Parámetros clave de funcionamiento del separador de corrientes de Foucault*. Obtenido de <https://buntingmagnetics.com/es/blog-de-la-industria/parametros-de-funcionamiento-del-separador-de-corrientes-parasitas-de-5-teclas/>
- RAEE Andalucía. (21 de Febrero de 2015). *Empresas que reciclan*. Obtenido de <https://www.raeeandalucia.es/recicla/empresas-que-reciclan>
- Regulator Cetrisa. (2021). *Separador por corrientes de foucault excéntrico (R-SPM-E)*. Obtenido de <https://www.regulator-cetrisa.com/separador-por-corrientes-de-foucault-excentrico-r-spm-e/>
- Sanches, A. (25 de Agosto de 2021). *Congresistas pidieron soluciones al ministerio de medio ambiente, crean comisión técnica por crisis en el Carrasco*. *Vanguardia Liberal*. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/>
- Sogama. (1 de Septiembre de 2014). *Sogama - Vídeo Técnico [video]*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=Ou0_n78-wOY
- Uno Reciclaje. (2021). *Bomatic Rotacrex - R750*. Obtenido de <https://www.unoreciclaje.com/productos/bomatic/r750/>

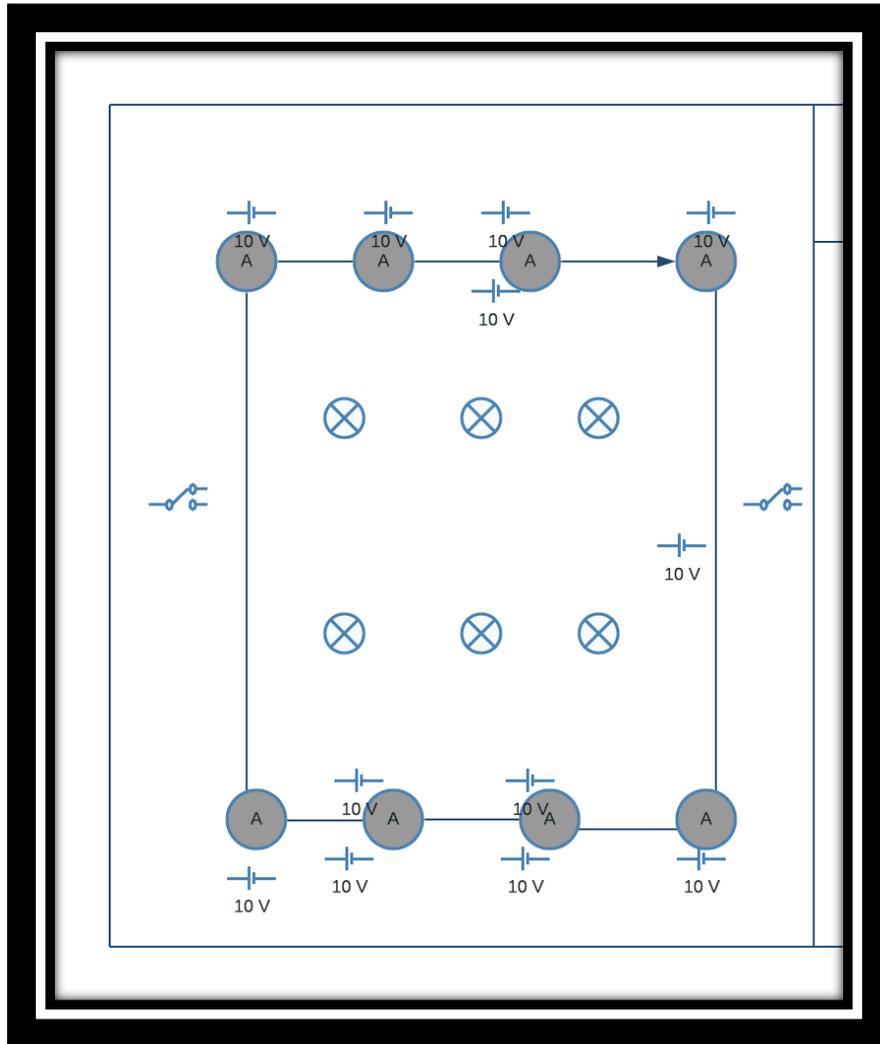
Uno Reciclaje. (5 de Noviembre de 2015). *Planta de reciclaje RAEE Bomatic*. Obtenido de <https://www.unoreciclaje.com/productos/bomatic/plantas-de-reciclaje/>

Vanguardia Liberal. (26 de Julio de 2021). Residuos de aparatos electricos y electronicos (RAEE) la basura electrónica: otra "Pandemia" ¿qué está haciendo el mundo al respecto? *Vanguardia Liberal*. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/>

Velasquez, A. (29 de Junio de 2015). Peru Green Recycling {Video}. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ZWkQZemK8yE>

Apéndices

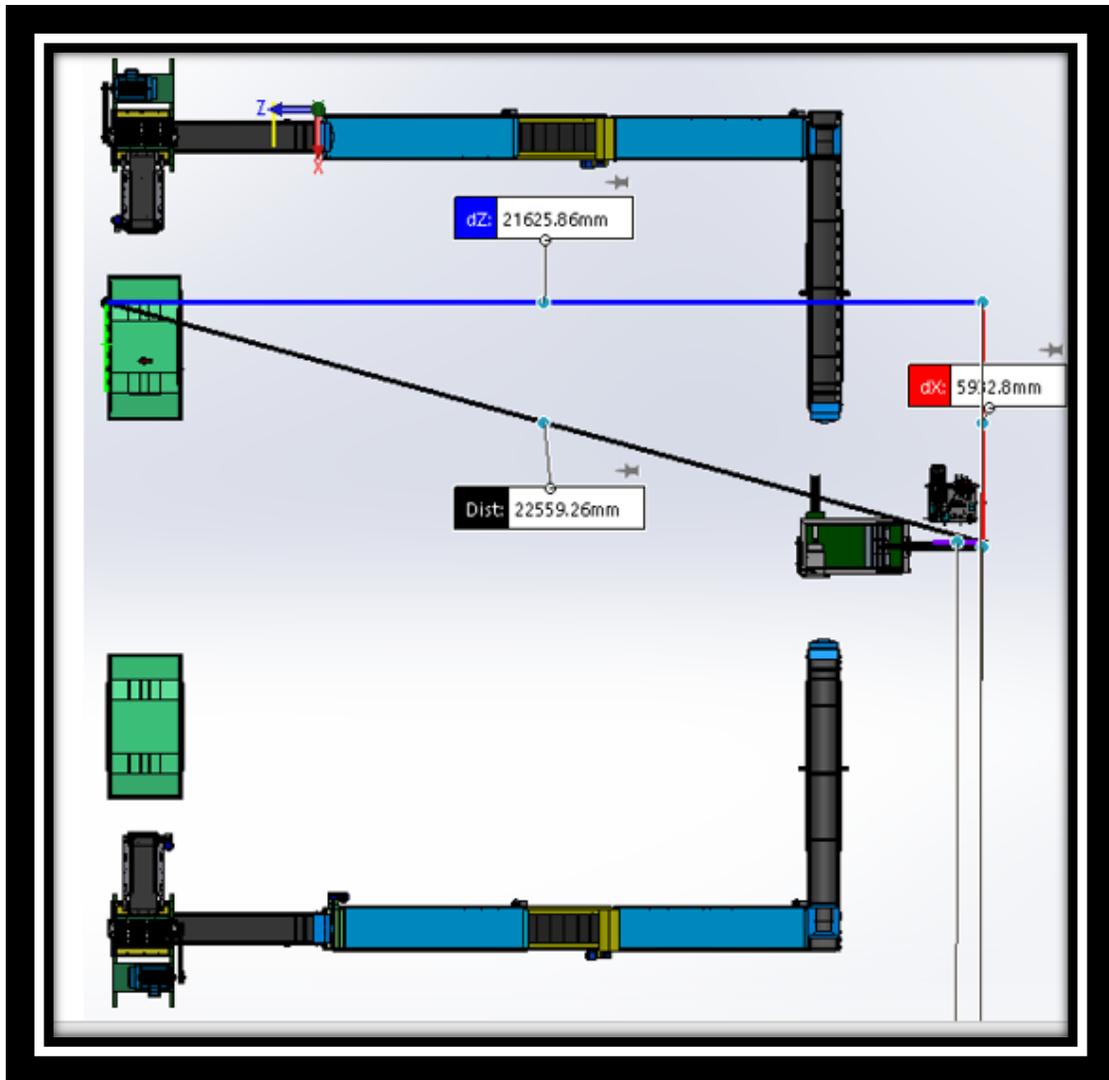
Apéndice A. Planos eléctrico de la planta piloto.



Leyenda

- | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |
| Plafón | punto de conexión | Toma corriente | Interruptor |

Plano del circuito de la distribución eléctrica



Vista superior de la planta