The background of the image is a detailed architectural floor plan of a recycling plant. The plan shows various rooms, corridors, and equipment. Key areas are highlighted with different colors: yellow for some rooms, green for others, and red for specific sections. The text is overlaid in the center of the plan. The text is in a bold, black, sans-serif font. The top part of the text is in a larger font size than the bottom part. The text is centered horizontally and vertically. The text is:

**DISEÑO Y MODELADO DE UNA PLANTA DE RECICLAJE,
RECUPERACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
REUTILIZABLES CON APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS
PARA LA CIUDAD DE DUITAMA - BOYACÁ**

VÍCTOR MORALES

**Diseño y Modelado de una Planta de Reciclaje, Recuperación y Transformación de
Residuos Sólidos Reutilizables con aplicación de Tecnologías Limpias para la ciudad de
Duitama-Boyacá**

Autor

Víctor Julián Morales Chacón

Código: 1052398249

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD

Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente

Ingeniería ambiental

Duitama

noviembre de 2017

Diseño y Modelado de una Planta de Reciclaje para la Recuperación y Transformación de Residuos Sólidos reutilizables con aplicación de Tecnologías Limpias para la ciudad de

Duitama- Boyacá

Autor: Victor Julián Morales Chacón

Código: 1052398249

Trabajo de grado presentado como requisito final para obtener el título de Ingeniero Ambiental

Asesor

Carla Johana Suárez Calderón

Ing. Ambiental y Sanitaria - UNISALLE

Msc. Administración de la Energía y sus Fuentes Renovables - Tec. De Monterrey

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD

Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente

Ingeniería ambiental

Duitama

noviembre de 2017

APROBACIÓN

Este trabajo ha sido revisado y analizado, encontrándose que reúne los requisitos exigidos de elaboración y presentación, por lo cual se notifica su aceptación.

Firma del asesor de trabajo

Firma del Jurado

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a las personas que siempre me han apoyado y ayudado en este largo camino, guiándome, aconsejándome y colaborándome para llegar a esta meta, con todo mi afecto y agradecimiento se lo dedico a:

Mis padres: Raúl Morales y Adela Chacón

Mi hermana: Johana Rocío Morales

Contenido

1. Resumen del proyecto	15
1.1. Project summary	17
2. Introducción.....	19
3. Justificación.....	22
4. Planteamiento del problema	25
4.1. Determinación del problema	25
5. Antecedentes.....	28
6. Objetivos.....	35
6.1. Objetivo general	35
6.2. Objetivos específicos.....	35
7. Alcance del proyecto	36
8. Marco de referencia.....	37
8.1. Marco teórico	37
8.2. Marco conceptual	55
8.3. Marco legal.....	59
6.3.1 Requerimientos ambientales y de salud ocupacional para instalaciones de aprovechamiento de residuos.....	63
9. Metodología.....	65

10.	Localización.....	69
10.1.	Macro localización	69
10.2.	Micro localización	70
10.3.1.	Clima.....	71
10.3.1.1.	Temperatura	71
10.3.1.2.	Balance hídrico.....	72
10.5.	Vías de comunicación.....	75
10.6.	Tamaño y crecimiento de la población.....	75
10.7.	Economía.....	77
10.8.	Gestión de residuos sólidos en la ciudad de Duitama	78
11.	Beneficiarios del proyecto	80
11.1.	Beneficiarios Directos	80
11.2.	Beneficiarios indirectos	80
11.3.	Estimación de la Producción Per Cápita.....	80
12.	Diseño propuesto para la planta de planta de reciclaje, recuperación y transformación de residuos sólidos aprovechables	82
12.1.	Cálculo de la producción per cápita	82
12.2.	Caracterización física de los residuos.....	83
12.3.	Cálculo de proyección de población a 21 años con población de 2016	84
12.4.	Proyección de la población con Método exponencial	85

12.5.	Generación futura de residuos	88
12.6.	Capacidad de almacenamiento en planta.....	92
13.	Propuesta de diseño de planta de reciclaje, recuperación y transformación.....	96
13.1.	Vista superior de la planta	96
13.2.	Vistas a detalle de las áreas de la planta.....	97
13.3.	Especificaciones de diseño	121
14.	Modelado virtual de la planta	123
14.1.	Vistas de la infraestructura física de la planta	123
15.	Procesos de producción.....	131
15.1.	Identificación y descripción de insumos	131
15.2.	Suministro y equipo.....	131
15.2.1.	Tecnología utilizada y maquinaria.....	131
15.2.2.	Maquinaria.....	132
15.2.3.	Muebles y equipos de administración.....	136
15.3.	Tecnologías para la captación de energía solar, térmica y eólica.....	136
16.	Diagrama de flujo general.....	138
17.	Descripción de los procesos de producción.....	139
17.1.	Diagramas de flujo específicos por proceso de producción	141
17.1.1.	Proceso de recolección selectiva.....	141
17.1.2.	Proceso de recepción en planta.....	143

17.1.3.	Proceso para metales.....	146
17.1.4.	Proceso para cartón y papel	149
17.1.5.	Proceso para el vidrio.....	152
17.1.6.	Proceso para el plástico.....	155
17.1.7.	Proceso para neumáticos.....	159
17.1.8.	Proceso para residuos orgánicos	162
17.1.9.	Proceso para los residuos tecnológicos.....	165
18.	Funcionamiento de la organización	167
18.1.	Recursos humanos	167
18.2.	Personal Responsables del funcionamiento de la planta	168
18.3.	Mano de obra	170
18.4.	Organigrama general	171
19.	Costos estimados para el montaje de la planta propuesta	172
19.1.	Costos en obras físicas.....	172
19.2.	Costos en maquinaria y equipo de producción.....	172
19.3.	Costos en muebles y equipos de administración	174
19.4.	Costos en activos intangibles.....	175
19.5.	Costos totales estimados para una primera fase de montaje de la planta de tratamiento de residuos solidos	175
20.	Beneficios del proyecto.....	177

20.1.	Beneficiarios directos	177
20.2.	Beneficiarios indirectos	177
21.	Análisis económico, social y ambiental de la planta propuesta.....	178
21.1.	Análisis económico.....	178
21.2.	Análisis social.....	179
21.3.	Análisis ambiental	180
22.	Ventajas y desventajas de la planta.....	181
22.1.	Ventajas de la planta.....	181
22.2.	Desventajas de la planta	182
23.	Conclusiones	183
24.	Recomendaciones	185
	Bibliografía	187
	Anexos	191

Lista de tablas

Tabla 1: Caracterización de residuos municipio de Duitama-Boyacá.....	83
Tabla 2: Cantidad de residuos producidos a diario en el municipio de Duitama-Boyacá	84
Tabla 3: Población según censos del DANE 11993-2005-2016.....	84
Tabla 4: Generación de residuos en el año 2037 en Duitama según proyecciones	88
Tabla 5: Promedio de peso de un neumático según tipo de vehículo	89
Tabla 6: Composición promedio en peso de un neumático según tipo de vehículo	90
Tabla 7: Producción en peso de 60 toneladas de neumáticos	91
Tabla 8: Capacidad de almacenamiento mínimo de las bodegas.....	92
Tabla 9: Áreas de la planta.....	95
Tabla 10: Maquinaria necesaria para el proceso de recolección selectiva.....	132
Tabla 11: Maquinaria necesaria para el proceso de metales.....	132
Tabla 12: Maquinaria necesaria para el proceso de papel y cartón	133
Tabla 13: Maquinaria necesaria para el proceso de vidrio	133
Tabla 14: Maquinaria necesaria para el proceso de plástico.....	134
Tabla 15: Maquinaria necesaria para el proceso de neumáticos.....	134
Tabla 16: Maquinaria necesaria para el proceso de residuos orgánicos	135
Tabla 17: Maquinaria necesaria para el proceso de residuos tecnológicos	135
Tabla 18: Muebles y equipos de administración para el área administrativa	136
Tabla 19: Costos en obras físicas.....	172
Tabla 20: Costos en maquinaria y equipo de producción.....	174
Tabla 21: Costos en muebles y equipos de administración	174

Tabla 22: Costos en activos intangibles.....	175
Tabla 23: Costos totales estimados para una primera fase de montaje de la planta de tratamiento de residuos solidos	175
Tabla 24: Matriz DOFA análisis económico	178
Tabla 25: Matriz DOFA análisis social	179
Tabla 26: Matriz DOFA análisis ambiental	180

Lista de ilustraciones

Ilustración: 1 plancha del municipio de Duitama Boyacá -IGAC	69
Ilustración 2: Distribución de la población Duitama-Boyacá.....	76
Ilustración 3: Composición aproximada de un neumático.....	89
Ilustración 4: Vista aérea de la planta de reciclaje, recuperación y transformación de residuos .	96
Ilustración 5: Vista de la entrada para empleados.	97
Ilustración 6: Vista de las zonas comunes para empleados	98
Ilustración 7: Detalle de zonas comunes.....	99
Ilustración 8: Entrada y salida de vehículos de carga.	101
Ilustración 9: Entrada y salida de vehículos de carga, vista a detalle	102
Ilustración 10: Vista superior del área industrial de la planta.....	103
Ilustración 11: Zona de procesamiento de residuos tecnológicos.....	104
Ilustración 12: Zona de procesamiento de plástico.....	105
Ilustración 13: Vista de zona de procesamiento de plástico a detalle n° 1	106
Ilustración 14.1. Vista de zona de procesamiento de plástico a detalle n° 2	107
Ilustración 15: Zona de procesamiento de vidrio.....	108
Ilustración 16: Vista de zona de procesamiento de vidrio a detalle.....	109
Ilustración 17: Zona de procesamiento de cartón y papel.....	110
Ilustración 18: Vista de zona de procesamiento de cartón y papel a detalle.....	111
Ilustración 19: Zona de procesamiento de metales	112
Ilustración 21: Zona de procesamiento de residuos orgánicos.	115
Ilustración 22: Vista de zona de procesamiento de residuos orgánicos a detalle No 1	116

Ilustración 22.1: Vista de zona de procesamiento de residuos orgánicos a detalle No 2	117
Ilustración 23: Zona de procesamiento de neumáticos	118
Ilustración 23.1: Zona de procesamiento de neumáticos a detalle.....	119
Ilustración 24: Parque eólico y solar.....	120
Ilustración 25: Modelo virtual entrada a empleados.....	123
Ilustración 26: Vista de parqueaderos y al fondo áreas comunes	124
Ilustración 27: Vista superior del área administrativa	125
Ilustración 28: Vista de la entrada para vehículos y ala industrial	126
Ilustración 29: Vista superior del ala industrial	127
Ilustración 30: Zona de parqueo para vehículos del área industrial y al fondo plantas de procesamiento	128
Ilustración 31: Vista de área de trabajo para residuos tecnológicos	129
Ilustración 32: Ingreso de vehículos a zonas de descargue.....	130
Ilustración 33: Diagrama de flujo general de los procesos de producción	138
Ilustración 34: Vehículo dividido en compartimentos	140
Ilustración 35: Diagrama de proceso de recolección selectiva	142
Ilustración 36: Diagrama de estructura del proceso de ingreso a la planta para vehículos	144
Ilustración 37: Diagrama de proceso de recepción en planta y descargué de materia prima	145
Ilustración 38: Diagrama de estructura del proceso para metales.....	147
Ilustración 39: Diagrama de proceso de producción para metales	148
Ilustración 40: Diagrama de estructura del proceso papel y cartón	150
Ilustración 41: Diagrama de proceso para cartón y papel.....	151
Ilustración 42: Diagrama de entradas y salidas para el proceso de vidrio	153

Ilustración 43: Diagrama de proceso de producción para vidrio	154
Ilustración 44: Diagrama de entradas y salidas para el proceso del plástico	157
Ilustración 45: Diagrama de proceso de producción para plástico	158
Ilustración 46: Diagrama de entradas y salidas para el proceso de neumáticos	160
Ilustración 47: Diagrama de proceso de producción para neumáticos	161
Ilustración 48: Diagrama de estructura del proceso de residuos orgánicos	163
Ilustración 49: Diagrama de proceso de producción residuos orgánicos.....	164
Ilustración 50: Diagrama de estructura del proceso de residuos tecnológicos	165
Ilustración 51: Proceso de producción para residuos tecnológicos	166
Ilustración 52: Organigrama general de la organización	171
Ilustración 53: Embaladora	191
Ilustración 54: Desfibradora	191
Ilustración 55: Peletizadora.....	192
Ilustración 56: Criba vibratoria.....	192
Ilustración 57: Electro-imán	193
Ilustración 58: Lavadora de neumáticos	193
Ilustración 59: Removedor de tapas y etiquetas para botellas pet	193
Ilustración 60: Trommel	194
Ilustración 61: Mini cargador.....	194
Ilustración 62: Montacarga	195
Ilustración 63: Colores para recipientes de clasificación de residuos.....	195

1. Resumen del proyecto

El presente proyecto, apunta al diseño y modelado de una planta de reciclaje para recuperación y transformación de residuos sólidos aprovechables, que integre tecnologías limpias dentro de su diseño y donde se pueda contar con una semi-autonomía energética a través del establecimiento de generadores de energía eléctrica y calórica como son paneles solares, calentadores solares y turbinas eólicas, para aprovechar al máximo los factores ambientales que ayuden a producir fuentes de energía alternativas, así mismo se planea que la planta cumpla con todos los estándares ambientales exigidos por la legislación y sea sostenible en cuanto a procesos de producción y generación de residuos, todo esto pensado en la eficiencia ambiental y energética de la planta cuyos procesos afecten en lo más mínimo posible al medio ambiente.

Dentro del diseño proyectado se cuenta con que la planta posea 7 líneas de procesamiento (papel y cartón, plástico, vidrio, residuos orgánicos, residuos tecnológicos, neumáticos usados), una zona común para empleados que cuente con un centro de descanso y entretenimiento, zona de duchas para empleados, zona de conferencias, auditorio y centro de educación ambiental, todo esto pensando en la educación permanente de los empleados y la comunidad en general.

En cuanto a sus procesos de producción, el proyecto básicamente se centrará en el diseño y modelado partiendo desde la recolección, hasta obtener un producto comercializable, por tanto, se definirán las líneas de producción de la siguiente manera:

- Recolección, clasificación y en casos que aplique separación y embalaje de: cartón, papel, vidrio, metales y residuos electrónicos.

- Recolección, selección, limpieza, desfibrado, aglutinado y peletizado de plástico.
- Recolección y recepción de neumáticos, limpieza, triturado, re-triturado, separación magnética del metal, separación de materiales extraños, y granulado.
- Recolección, triturado y compostaje de materia orgánica aprovechable

Los procesos de producción se realizarán en un orden específico, predeterminado y enfocado en lograr una producción eficiente, de calidad y ambientalmente sostenible, que cumpla con las normativas vigentes y certificado en estándares internacionales como son Normas ISO 14001; ISO 9001; OHSAS 18001 y ISO 26000, por último, el diseño de la planta está proyectado para la recolección y procesamiento de los residuos provenientes de la ciudad de Duitama.

1.1. Project summary

This project aims at the design and modeling of a recycling plant for the recovery and transformation of solid waste, where clean technologies are integrated and semi-autonomy can be achieved through the integration of electric power generators such as solar panels, solar heaters and wind turbines, to take full advantage of the environmental factors that allow the collection and storage of energy, and the plant will be projected to comply with all the environmental standards required by the legislation and be sustainable in terms of Processes of production and generation of waste, all this thought in the environmental and energy efficiency of the plant whose processes affect in the least possible to the environment.

Within the planned design, the plant is expected to have 7 processing lines (paper and cardboard, plastic, glass, organic waste, technological waste, used tires), a common area for employees with a rest and entertainment center, Of showers for employees, conference area, auditorium and environmental education center, all this thinking about the permanent education of the employees and the community in general.

In regard to production processes, the project will basically focus on designing and modeling from collection to obtaining a marketable product, so the production lines will be defined as follows:

- Collection, re-selection and in cases that apply separation and packaging of: cardboard, paper, glass, metals and electronic waste.

- Collection, selection, cleaning, defibration, agglutination and pelleting of plastic.
- Collection and reception of tires, cleaning, grinding, re-grinding, magnetic separation of metal, separation of foreign materials, and pelleting.
- Collection, crushing and composting of compostable organic matter

The production processes will be carried out in a specific order, predetermined and focused on achieving efficient, quality and environmentally sustainable production, complying with current regulations and certified in international standards such as: ISO 14001; ISO 9001 standard; OHSAS 18001 standard, and ISO 26000 standard. Finally, the design of the plant is designed for the collection and processing of waste from the city of Duitama.

2. Introducción

La proyección hacia nuevos campos de desarrollo impulsa al ser humano a proponer nuevas técnicas y métodos para afrontar problemáticas que se presentan a diario en nuestra sociedad y que afectan de manera vehemente la calidad de vida de las personas, propiciando así un desequilibrio social y generando problemáticas que tienden a descontrolar los sistemas propuestos y a causar perturbaciones en el estilo y la calidad de vida de las poblaciones y ecosistemas.

Sin duda, uno de las mayores problemáticas que enfrenta la sociedad moderna es la de la disposición de residuos sólidos y su gestión integral, esto es una realidad que ha venido aumentando a medida que la civilización humana ha evolucionado en sus costumbres y sus métodos de consumo, como lo afirma Tchobanoglous (1994): *los problemas asociados a la evacuación de residuos sólidos han persistido desde que los seres humanos se congregaban en tribus; y su acumulación ha llegado a convertirse en una consecuencia de la vida*, es por esto que la generación de residuos es una consecuencia inherente a la existencia y el desarrollo de las civilizaciones, aun así, en una sociedad como la nuestra, ha llegado a sobrepasar la capacidad de asimilación por la naturaleza, siendo que en períodos históricos más antiguos los residuos no eran tan complejos ni tan masivos como hoy día, y su degradación era más rápida, al aumentar la complejidad química, física y las grandes cantidades en que se generan debido al aumento de la población y los periodos de generación, su degradación necesita largos periodos de tiempo y en muchas ocasiones miles de años, así pues en la actualidad la disposición final de residuos se hace cada vez más complicada, ya que los espacios se reducen, la población crece a grandes pasos y la

falta de gestión, separación y reutilización de residuos sólidos aprovechables aun no es una práctica generalizada en nuestra sociedad.

A causa de esto, surge la necesidad de darle una solución sostenible a este problema, de ahí, que se haga imperiosa la necesidad de idear proyectos como el presente que pretende dar solución a variadas problemáticas ambientales evidentes y que además se presenta de una manera sostenible y conveniente para las regiones a las que va dirigido y mantiene propósitos firmes frente a la solución de las problemáticas ambientales, sanitarias y de hábitos de las personas pertenecientes a los territorios objeto.

Es por esto que como parte de la reflexión sobre las mejores maneras de hacer gestión de residuos sólidos y lograr un aprovechamiento de residuos (cuya vida útil pueda extenderse y se puedan reutilizar e integrar nuevamente al ciclo económico), se plantea el presente proyecto ideado para el trabajo con los residuos sólidos y orgánicos aprovechables (reutilizables y reciclables); el proyecto se enfoca en la ciudad de Duitama -Boyacá, para la cual se realizará la investigación y proyección correspondiente y así determinar la capacidad que debe tener la planta de reciclaje propuesta, asimismo métodos, sistemas y tecnologías; temática que será expuesta en los capítulos correspondientes al diseño propuesto de la planta y sus líneas de manejo de residuos donde se expondrán los diferentes procesos a los que se someterá las materias primas producto del ejercicio y planeación del proyecto, al igual que el diseño y modelado de la planta que se pretende presentar.

De esta manera podremos acercarnos a un desarrollo tecnológico, cultural y ciudadano sostenible, confiable y lo más importante marcar un hito en la región en la creación de proyectos de ingeniería que se interesan por la solución de la problemática del manejo de los residuos, la cultura y el desarrollo de las regiones a nivel ambiental, de calidad de vida, de hábitos y de aplicación de nuevos métodos, superando los tradicionales para avanzar hacia una sociedad más consiente, desarrollada y siempre apuntando al aprovechamiento de los recursos que se presentan en múltiples formas.

3. Justificación

El desarrollo del presente proyecto parte del análisis de las numerosas posibilidades de desarrollo que posee el ejercicio del reciclaje y aprovechamiento de residuos sólidos, ya que realizar la separación, procesamiento y reintegración de residuos aprovechables al ciclo económico trae grandes ventajas tanto monetarias como ambientales, es por esto que surge la necesidad de plantear proyectos de ingeniería que se hagan cargo de dar solución a la problemática del manejo de los residuos, ya que si bien es cierto que hoy día su disposición final se ha convertido en un gran problema para los municipios, también lo es, que no se ha aprovechado todo su potencial, por esta razón el proyecto se enfoca en resolver, plantear y dar soluciones al manejo de residuos de la ciudad de Duitama, sirviendo también como ejemplo para futuros emprendimientos en este campo.

Así mismo, la necesidad de realizar este proyecto obedece a dos razones que son: la inexistencia de propuestas como esta para la región y la necesidad de planes que permitan tener idea de cómo se organiza y lleva a cabo la gestión de residuos sólidos a nivel industrial, factores que determinan un vacío en la organización y aprovechamiento de recursos que tienen en potencia los municipios y la región.

La realización de plantas integrales se ha convertido en una alternativa sostenible económicamente y al mismo tiempo de gran beneficio ambiental, ya que a través de este ejercicio se está disminuyendo contaminación, se educa ambientalmente a los integrantes de la comunidad, se logra un municipio más limpio y cívico y se extiende la vida útil del relleno

sanitario Terrazas del Porvenir ubicado en la Ciudad de Sogamoso, cuyo uso se reservaría a la disposición final de materiales no aprovechables o peligrosos (en caso de que no existiese una planta dedicada a su tratamiento), de ahí que surja la necesidad de plantearse desarrollar una organización que se encargue de gestionar los residuos que se producen en el municipio.

En la actualidad, el reciclaje juega un papel importante en la conservación y protección del ecosistema, por lo tanto, es fundamental la apropiada ejecución de programas educativos sobre la Reutilización y Reintegración al ciclo productivo de materiales aprovechables, donde se puedan separar adecuadamente los residuos y estos mismos ser aprovechados por organizaciones que se encarguen de trabajar procesándolos y reingresándolos a la cadena productiva, logrando así una sostenibilidad regional tanto para las sectores involucrados, como para los territorios objeto, abriendo así nuevos canales de inversión, participación y de sostenibilidad en cuanto a aprovechamiento de los recursos que se producen como materia secundaria de las actividades humanas de consumo y de esta manera propiciando en la región un realce a nivel nacional en gestión, emprendimiento y visión para proyectos de alto impacto.

Dentro de los beneficios generados por una Planta de Tratamiento y Procesamiento de Residuos Sólidos Urbanos se pueden destacar los siguientes:

- Se evita y disminuye la contaminación de napas subterráneas por infiltración de lixiviado producto de los desechos orgánicos o líquidos que se puedan agregar al Relleno o Vertedero.
- Se extiende la vida útil de los Rellenos Sanitarios ya que se disminuye la carga de desechos agregados a los mismos

- Se crean nuevos empleos, al organizar a los recuperadores informales y demás personal requerido
- Se generan ingresos por venta de materiales reciclados y el costo de la materia prima es bajo.

Con el objetivo de crear nuevas ideas y propuestas para el desarrollo sostenible de la región y el mejoramiento en los aspectos ambientales de la misma, se plantea el presente proyecto de ingeniería en donde se da información detallada del funcionamiento y estructuración de una Planta de Tratamiento y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, que pretende ayudar a plantear alternativas de solución al manejo inadecuado de los residuos sólidos en los municipios y localidades.

4. Planteamiento del problema

4.1. Determinación del problema

En Colombia la cultura del reciclaje y el aprovechamiento de residuos sólidos reutilizables es todavía en la actualidad un tema muy alejado de nuestra realidad y cultura, el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y los procesos de urbanización, incrementan el consumo de bienes y servicios por una población; que a la vez, genera mayor cantidad de residuos sólidos y por tanto, mayor presión sobre los recursos naturales (Gligo 2006), lo que se traduce en un aumento de la problemática de disposición final de residuos, de hecho, no es de extrañar que la mayoría de los residuos que se producen en las poblaciones son dispuestos en los rellenos sanitarios.

Según el estudio sectorial de aseo 2015, para el departamento Boyacá, 100% de los residuos recolectados por las empresas de aseo son dispuestos en relleno sanitario (SSPD 2015, pp. 34), y se ha forjado una cultura en torno a esto, ya que se ha creado una zona de confort en cuanto que, es más fácil la disposición indiscriminada de residuos en relleno sanitario, que la separación, procesamiento y aprovechamiento de residuos sólidos reutilizables, es por esto que el reciclaje es llevado a muy pequeña escala, por lo tanto el potencial de aprovechamiento en la actualidad es enorme, en consecuencia, la incursión en esta área es lenta, también la falta de proyectos y modelos que ayuden a tener una guía o que propongan el aprovechamiento de residuos reutilizables a gran escala son escasos.

Por consiguiente, en el municipio de Duitama y en general en municipios de la región no se ha realizado ningún proyecto enfocado hacia el reciclaje de residuos sólidos reutilizables que

haga una cobertura satisfactoria para la población, además de esto, que cuente con proyección ecológica, económica y sostenible en su modelo, brindando en detalle un sistema eficaz, donde exista la planeación de cada proceso y actividad a realizar en la planta y que busque la innovación y generación de conciencia respecto a este importante tema, por tanto, el proyecto que se propone llena un vacío en que existe en la actualidad en el área en cuestión.

Es importante resaltar que para resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental en busca de una mejor calidad de vida, es necesario adoptar medidas de gestión ambiental en las que se administre de forma eficiente los recursos naturales bajo un enfoque de desarrollo sustentable (Medina & Jiménez 2001), así pues, minimizar los impactos y reciclar los residuos son actividades de gestión ambiental prioritaria para evitar altos costos ambientales (Gligo 2006), no obstante en la actualidad la implementación de proyectos de aprovechamiento de residuos sólidos y desarrollo de plantas integrales no se desarrolla efectivamente y la mayoría de los residuos aprovechables son dispuestos en relleno sanitario y confinados, esto lo confirma el informe sectorial del servicio público de aseo realizado en el 2015 donde a nivel Colombia De los 1102 municipios del territorio nacional, 780 llevan sus residuos a sitios de disposición final operados por empresas prestadores que atienden a más de 2500 suscriptores; el 66,5% de los municipios disponen sus residuos en rellenos sanitarios debidamente licenciados, correspondiendo así al 96,8% del total de residuos producidos por 780 municipios del territorio nacional. Por otra parte, solo el 1% de los municipios que disponen en sitios operados por grandes prestadores se encuentra realizando la disposición final de residuos en sitios no autorizados (botaderos a cielo abierto), y solo el 1,8% de los municipios se encuentra realizando aprovechamiento de residuos y disposición final en predios organizados como plantas integrales

(los que cuentan con un área para realizar separación y acondicionamiento previo de materiales potencialmente aprovechables) (SSPD 2015, pp. 32).

Para este caso el municipio de Duitama no es la excepción, la empresa encargada de prestar el servicio de aseo: SERVI-ASEO DUITAMA S.A. , realiza la disposición final de los residuos en el relleno sanitario de la ciudad de Sogamoso, Terrazas del Porvenir, pero, se avecina un problema mucho más grande para la disposición final de los residuos de la ciudad ya que al relleno le queda poco tiempo de vida útil, esta situación crea la necesidad de adoptar medidas que contribuyan a la remediación de este problema, por lo que surge la obligación de idear propuestas para la creación y planteamiento de proyectos de ingeniería que ofrezcan modelos y opciones de solución a la problemática.

5. Antecedentes

El manejo de los residuos sólidos en el país, históricamente, se ha hecho en función de la prestación del Servicio de Aseo. La preocupación por los residuos generados en los centros urbanos ha partido de consideraciones de tipo higiénico y sanitario, por lo tanto el problema se abordó desde el momento en que la comunidad presentaba los residuos en la vía pública para que alguien los retirara; en dicho momento apareció la necesidad de establecer un proceso de recolección, como parte fundamental de un servicio público, sin importar donde irían a parar dichos residuos, y se establecieron como métodos de disposición la descarga al aire libre o a cuerpos de agua sin considerar las externalidades de tipo ambiental, lo cual propició un cultura hacia la disposición incontrolada.

El primer intento por conocer la situación de los residuos sólidos en el país, lo efectuó el ministerio de Salud, Dirección de Saneamiento Ambiental, en el año 1975, la información que se obtuvo sirvió como base para formular el programa nacional de aseo urbano, “Pronasu”, El diagnóstico identificó como problemas; bajos niveles de coberturas, uso de equipos inadecuados, ausencia de servicio de aseo en centros urbanos menores y zonas periféricas, cobro del servicio como impuesto y no como tarifa, entre otros; se destacó que ni un solo centro urbano utilizaba un proceso de disposición final controlado, pero si tenían presencia importante las actividades de recuperación de papel, cartón, vidrio como envase, chatarra y hueso, entre otros elementos de mayor mercado (Ministerio del Medio Ambiente, 1998, pág. 9).

El Ministerio del Medio Ambiente (actualmente, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) formuló en el año 1997 la Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos.

Con esta política se definieron como metas: reducir la cantidad o peligrosidad de los residuos generados, reducir su disposición final a través de la recuperación (un 30% en cinco años) y desecharlos en sistemas de disposición final adecuados (en un 50% de los municipios dentro de un plazo de cinco años). Esta política se convirtió en el principal orientador de acciones ambientales en materia de residuos sólidos, ya que planteaba estrategias relevantes como: (i) desarrollar los programas de minimización en el origen, articulados con los programas de producción más limpia, de los cuales hace parte; (ii) modificación de los patrones de consumo y producción insostenibles; (iii) creación de nuevos canales de comercialización de materiales aprovechables y promoción de los existentes; (iv) fortalecimiento de cadenas de reciclaje, programas existentes y apoyo a nuevos programas de aprovechamiento de residuos; entre otras estrategias. Sin embargo, se consideró su desarrollo en un tiempo muy corto (cinco años) para las importantes metas pretendidas y las implicaciones de las estrategias propuestas; es decir, fue una política de corto plazo que adicionalmente, no contó con una estrategia de seguimiento, revisión y reformulación; teniendo en cuenta que la preocupación principal del país en ese tiempo en materia de residuos sólidos era el aumento de las coberturas y del control de la contaminación a través de la técnica disponible más acorde con las limitaciones económicas existentes, es decir, rellenos sanitarios.

Con respecto a los avances en los aspectos ambientales de la gestión integral de residuos sólidos, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible formuló la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible en el año 2010. Esta política actualiza e integra la Política Nacional de Producción Más Limpia y el Plan Nacional de Mercados Verdes como estrategias

del Estado colombiano que promueven y enlazan el mejoramiento ambiental y la transformación productiva con la competitividad empresarial.

En diciembre de 2015, Colombia participó en la vigésima primera reunión de la Conferencia de las Partes (COP 21) de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). En este encuentro, el país se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)²⁹ en un 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030. Para el cumplimiento de la meta de mitigación, se identificaron una serie de medidas, agrupadas en ocho planes de acción sectoriales de mitigación, cuyo objetivo es maximizar la carbono-eficiencia de la actividad económica del país a nivel sectorial y territorial, y a su vez contribuir al desarrollo social y económico. Entre estos están los planes de los sectores Transporte, Minas, Energía Eléctrica, Hidrocarburos, Industria, Agropecuario, Vivienda y Residuos sólidos y Aguas residuales. Su elaboración se hizo en el marco de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono y se encuentran aprobados por los ministerios sectoriales correspondientes.

Adicionalmente, Colombia se encuentra en proceso formal de acceso a la OCDE. En el marco de este proceso, el Comité de Política Ambiental de este organismo elaboró, en el año 2014, un estudio del desempeño de las políticas públicas y de la gestión ambiental de Colombia con miras al ingreso del país a dicho comité. De esta forma se definieron 53 instrumentos vinculantes que incluyen aspectos relacionados con información ambiental, política ambiental, recurso hídrico, biodiversidad, zonas costeras, residuos sólidos, energía, entre otros. Dentro de los instrumentos relacionados con residuos sólidos se acordaron cuatro instrumentos en materia de residuos no

peligrosos: (i) política de gestión integral de residuos que satisfaga objetivos de protección ambiental, teniendo en cuenta limitantes económicas y condiciones locales; (ii) manejo de residuos económicamente eficiente y ambientalmente razonable; (iii) reutilización y aprovechamiento de envases de bebidas; y iv) incremento en la recuperación de residuos de papel.

Paralelamente, para el cumplimiento de los ODS se definieron unas metas para el país a 2030 en materia de gestión de residuos sólidos. Entre estas se encuentra la meta 6: reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades prestando atención a la gestión de desechos municipales, la cual se encuentra en el objetivo 11 Ciudades y comunidades sostenibles. También está el numeral 5: reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, aprovechamiento, tratamiento y reutilización, el cual se ubica en el objetivo 12 Producción y consumo responsable (Concejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), 2016, págs. 15-19).

A nivel Boyacá según (Gobernación de Boyacá, 2016) los residuos sólidos es el componente más crítico y atrasado en la implementación de soluciones, en varias oportunidades el Departamento ha estado a portas de declarar una emergencia sanitaria. Ciento cuatro (104) municipios disponen sus residuos en los tres (3) únicos rellenos sanitarios que cuentan con licencia ambiental. En los últimos cuatro años se avanzó en compañía de CORPOBOYACÁ en la definición de nodos regionales de aseo para disposición final de residuos sólidos en el Departamento: Nodo Centro, Nodo Sugamuxi, Nodo Norte – Gutiérrez, Nodo Lengupá, Nodo Occidente-Ricaurte, Nodo Márquez y Nodo Oriente-Neira (p. 601).

Evaluando las acciones realizadas por CORPOBOYACA, la mayor dedicación durante el periodo 2002-2008 en coherencia con la Ley 142 de 1994, el Decreto 1713 de 2002 y los desarrollos normativos posteriores, se ha estado orientando la asesoría a las administraciones municipales para la formulación e implementación de los PGIRS (Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos) y, en los últimos años ampliado a los residuos peligrosos RESPEL para otros sectores generadores de este tipo de residuos (CORPOBOYACA, 2009, pág. 161)

Según la corporación actualmente se logró con el apoyo del Programa SINA II del Ministerio de Ambiente, la formulación del Plan de Aprovechamiento y Valorización de Residuos Sólidos para los Municipios de la Jurisdicción de CORPOBOYACA, el cual prevé el desarrollo de seis (6) plantas de aprovechamiento de residuos ubicadas en los municipios de Tunja, Sogamoso, Soatá, Miraflores, Puerto Boyacá y Pauna, dentro de un modelo organizacional que permitirá operar de manera sostenible este esquema de valorización de residuos e integrará a los diferentes sectores dedicados a la labor de recuperación y reciclaje de materiales provenientes de los residuos sólidos urbanos. La mayor disposición final de residuos sólidos en la jurisdicción, se realiza en el relleno sanitario Pírgua de Tunja y en el relleno sanitario regional Terraza del Porvenir de Sogamoso – Coservicios S.A. E.S.P. (p. 163-164).

Así mismo en la ciudad de Duitama se cuenta con un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), actualizado al año 2016, donde se exponen los diferentes problemas que se tienen para realizar un aprovechamiento de residuos sólidos eficiente e integral en el municipio, dentro de los que se encuentran la inexistencia de recolección selectiva en la ciudad, factores asociados al desconocimiento de políticas de gestión integral de residuos y la falta de un

esquema definitivo de aprovechamiento, así que esto se traduce en que el ejercicio del reciclaje en la ciudad se limite a los recolectores o seleccionadores informales, los cuales hacen aprovechamiento de una mínima cantidad de residuos, frente a todo el potencial de aprovechamiento que posee la ciudad.

Frente a los problemas que se presentan para la realización de una correcta gestión de residuos la Alcaldía de Duitama-Boyacá, (2016) formuló el siguiente objetivo estructural en su PGIRS: “Proponer un cambio de comportamiento cultural en la generación y manejo de los residuos sólidos producidos en el municipio que garantice la prestación eficiente del servicio de aseo en cada uno de sus componentes y actividades complementarias, comenzando por el almacenamiento temporal, la presentación por parte del usuario al prestador, la recolección, el transporte, el aprovechamiento, el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos no aprovechables, mediante estrategias de educación ambiental y el establecimiento de condiciones para la gestión integral de los residuos sólidos, en un servicio continuo, oportuno de amplia cobertura y calidad en sus diferentes componentes, incluyendo las actividades de barrido, limpieza de vías, áreas públicas y servicios especiales, de manera que permita el aprovechamiento y recuperación de valor económico de materiales, buscando con esto minimizar y mitigar el impacto sobre la salud y el medio ambiente, el fortalecimiento de la ESP, la participación de comunidad recicladora y de la ciudadanía en general” (p. 67).

De esta manera, aunque se pretende cumplir y lograr un aprovechamiento y gestión integral de residuos y lograr un esquema de aprovechamiento eficiente, introduciendo además a los sectores informales y asociaciones de reciclaje para complementar su plan y obtener objetivos

sociales positivos, no se refleja en sí, la construcción de un centro de procesamiento de estos materiales, aun se sigue con el enfoque principal de disponer los residuos en relleno sanitario, eso se puede ver reflejado en el plan de desarrollo de Boyacá donde el enfoque principal es la apertura de nuevos nodos de disposición final para los municipios de la región, más aun en la ciudad de Duitama los únicos proyectos de aprovechamiento de residuos según el PGRIS 2016, son: “Proyecto 1. Proyecto de información, educación y comunicación IEC” que se centra en un programa de educación ambiental para la gestión de residuos mediante el uso de medios de comunicación y tecnologías de la información, y “Proyecto 2. Proyecto para la elaboración de un esquema de Aprovechamiento de residuos” que básicamente comprende alianzas con los recicladores para la sectorización, ruteo y micro-ruteo, el fomento de convenios interadministrativos con los operadores del servicio de aseo y el fortalecimiento de rutas selectivas, así pues el PGIRS no contempla en su esquema de gestión de residuos el emprendimiento para la realización de una planta de tratamiento de residuos sólidos que pueda dar solución al problema de los residuos y logre recuperar una mayor cantidad que la que se recupera actualmente por los seleccionadores y pequeñas asociaciones de reciclaje.

6. Objetivos

6.1. Objetivo general

- Diseñar y modelar una planta de reciclaje, recuperación y transformación de residuos sólidos urbanos para la ciudad de Duitama

6.2. Objetivos específicos

- Explicar los conceptos involucrados para el desarrollo de una planta de procesamiento de residuos sólidos.
- Calcular la producción per-cápita de residuos sólidos de la población actual y proyectada a 20 años y cantidad de residuos aprovechables que ingresarán a la planta.
- Diseñar y modelar un prototipo de la planta de reciclaje
- Establecer los procesos de producción y maquinaria necesaria para el funcionamiento de la planta.
- Integrar tecnologías de captación, transformación y acumulación de energía solar y eólica al diseño para lograr una mayor eficiencia energética.

7. Alcance del proyecto

El presente proyecto plantea un diseño a nivel de prototipo de una Planta de tratamiento de residuos sólidos para la ciudad de Duitama- Boyacá, en donde se pueda identificar las principales áreas que la componen, los procesos de producción que se llevan a cabo y la distribución del área administrativa. Es importante resaltar que se busca que el modelo planteado sea una guía para la ejecución a nivel de factibilidad de una planta de éstas características y sus componentes para el municipio de Duitama

Así pues, se debe tener en cuenta que para la implementación de un proyecto como el propuesto, se hace necesario realizar a mayor profundidad, los respectivos estudios técnicos previos, conforme a lo dispuesto por la normatividad vigente, donde se analicen las diferentes variables en cuanto a Ordenamiento Territorial, licencias de construcción, análisis económico y financiero, disponibilidad presupuestal, intereses de la comunidad, articulación interinstitucional, voluntad política, educación ambiental, entre otros, de manera que sea más viable la ejecución y puesta en marcha de éste tipo de proyectos.

8. Marco de referencia

8.1. Marco teórico

Como se cita en (Burbano, 2011) El manejo de los residuos sólidos es una combinación de métodos de generación, almacenamiento, recolección, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final; que tienen una jerarquía establecida para la operatividad y para la toma de decisiones y definición de estrategias locales y nacionales (Medina & Jiménez 2001).

A pesar de que el manejo de desechos y el desarrollo sustentable son temáticas que se pueden tratar indistintamente, pueden ser complementarias si se considera que la gestión integral de residuos sólidos se vincula dentro de las estrategias de desarrollo sostenible (Flotats & Campos 2001). Los residuos sólidos urbanos constituyen un problema socio ambiental, que una vez son catalogados como basura, promueven una serie de problemas en cuanto a destinación de recursos económicos, impacto sobre los recursos naturales (contaminación de agua, aire y suelo) , pérdida de espacio (destinación de lugares para almacenamiento y disposición) y riesgos para la salud (Corral-Verdugo & EncinasNorzagaray 2001). Entonces, el desarrollo del concepto de sostenibilidad lleva a que debe avanzarse en la gestión integral e integrada de residuos de diferentes orígenes según la finalidad de éstos (Flotats & Campos 2001); con el fin de optimizar costos, minimizar impactos, reducir espacio y controlar efectos sobre la salud pública.

Cortinas de Nava et al. (1999) señala que es complejo mitigar los impactos ambientales simultáneamente con la minimización de costos; encontrar un punto de equilibrio ha generado debates, pero el objetivo es que a un costo social y económico aceptable se maximice tanto como

sea posible, la reducción del impacto que para el caso, generan los residuos sólidos. La sustentabilidad se logra cuando independientemente del tipo y el número de opciones de manejo que se realicen (generación, tratamientos, disposición final); éstas responden a una estrategia enmarcada dentro de una política ambiental, en la que se vinculan las necesidades y los contextos locales y regionales, buscando el máximo aprovechamiento de los recursos y la reducción de los impactos adversos. Gligo (2006) señala también, que en la búsqueda de un “desarrollo sustentable o sostenible” se pretende equilibrar las dimensiones económica, ambiental y social; pero el equilibrio no existe. El inevitable crecimiento económico y las necesidades sociales obligan a pagar un costo ecológico, y es entonces donde surgen estas estrategias, políticas, líneas de acción o proyectos, que bajo una racionalidad ambiental marginal dan viabilidad a las decisiones socioeconómicas.

A pesar de que el manejo de desechos y el desarrollo sustentable son temáticas que se pueden tratar indistintamente, pueden ser complementarias si se considera que la gestión integral de residuos sólidos se vincula dentro de las estrategias de desarrollo sostenible (Flotats & Campos 2001). Los residuos sólidos urbanos constituyen un problema socio ambiental, que una vez son catalogados como basura, promueven una serie de problemas en cuanto a destinación de recursos económicos, impacto sobre los recursos naturales (contaminación de agua, aire y suelo) , pérdida de espacio (destinación de lugares para almacenamiento y disposición) y riesgos para la salud (Corral-Verdugo & Encinas- Norzagaray 2001). Entonces, el desarrollo del concepto de sostenibilidad lleva a que debe avanzarse en la gestión integral e integrada de residuos de diferentes orígenes según la finalidad de éstos (Flotats & Campos 2001); con el fin de optimizar costos, minimizar impactos, reducir espacio y controlar efectos sobre la salud pública (pg. 13-15).

Gestión Integral de Residuos Sólidos

“La gestión integral de residuos sólidos – GIRS, se define como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de los residuos de una forma que armonice con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética, y de otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas” (Sáez & Galbán 2007), la GIRS se compone según (Lopez, 2011) de 5 elementos funcionales que son:

1. Generación y almacenamiento.
2. Recolección.
3. Transporte.
4. Aprovechamiento y valorización.
5. Disposición final.

Para poder cumplir con estos tópicos se hace importante la integración de los diversos agentes de la comunidad, donde haya un acoplamiento y culturización que permita un desarrollo efectivo, del mismo modo la GIRS debe mejorar continuamente, debe ser flexible para afrontar cambios y adaptarse a ellos; y, requiere de supervisión y evaluación para controlar el cumplimiento de sus objetivos y metas (Tchobanoglous et al. 1994).

Un sistema eficaz de GIRS involucra un conjunto de actividades y decisiones locales que se implementan según el ciclo de vida de los residuos, de acuerdo al rendimiento de las tecnologías que se utilicen para su manejo y considerando los costos totales que demande el sistema, según (Lopez, 2011) Las variables de interés para un SGIRS son: la cantidad de residuos generados,

nivel, calidad, densidad de las viviendas, equipos, gestión administrativa, operativa y de mantenimiento del servicio, la asociación de municipios, las condiciones y la localización de los componentes del sistema.

Así mismo se hace importante también enunciar cuales pueden ser las opciones clasificación de residuos:

- **Origen:** que puede ser doméstico o industrial.
- **Recuperación:** que puede ser realizada por empresas públicas o privadas. Consiste únicamente en la recolección y transporte de los residuos hacia el siguiente eslabón de la cadena.
- **Plantas de transferencia:** se trata de un eslabón voluntario o que no siempre se usa. Aquí se mezclan los residuos para realizar transportes mayores a menor costo (usando contenedores más grandes o compactadores más potentes).
- **Plantas de clasificación (o separación):** donde se clasifican los residuos y se separan los valorizables.
- **Reciclador final (o planta de valoración):** donde finalmente los residuos se reciclan (papeleras, plásticos, etc.), se almacenan (vertederos) o se usan para producción de energía (cementeras, biogás, etc.)

Para la separación en origen doméstico se usan contenedores de distintos colores ubicados en entornos urbanos y rurales:

- **Contenedor amarillo (envases):** En éste se deben depositar todo tipo de envases ligeros como los envases de plásticos (botellas, tarrinas, bolsas, bandejas, etc.), de latas (bebidas, conservas, etc.)
- **Contenedor azul (papel y cartón):** En este contenedor se deben depositar los envases de cartón (cajas, bandejas, etc.), así como los periódicos, revistas, papeles de envolver, propaganda, etc. Es aconsejable plegar las cajas de manera que ocupen el mínimo espacio dentro del contenedor.
- **Contenedor verde (vidrio):** En este contenedor se depositan envases de vidrio.
- **Contenedor gris (orgánico):** En él se depositan el resto de residuos que no tienen cabida en los grupos anteriores, fundamentalmente materia biodegradable.
- **Contenedor rojo (desechos peligrosos):** Como celulares, insecticidas, pilas o baterías, aceite comestible o de autos, jeringas, latas de aerosol, etc.

Recolección de residuos

Actualmente la reglamentación en muchas áreas demanda que la separación de los materiales reciclables se haga por el residente de una vez en la fuente, en lo que respecta a componentes como papel, aluminio, vidrio, plástico, etc. La separación en la fuente ofrece ventajas porque reduce los costos del procesamiento ulterior para la recuperación de los materiales y produce material de mayor calidad, los materiales que se separan en la fuente pueden recogerse ya sea por recolección en las aceras o por entrega por parte de los propietarios en centros locales de depósito y compra. Los programas de recolección en las aceras en general reciben un mejor apoyo del público (Henry & Heike, 1999, pág. 586).

Para los municipios pequeños, en la medida que sea posible se recomienda establecer centros de acopio o puntos centrales de recolección para diferentes sectores de los municipios, a los cuales los usuarios lleven sus residuos seleccionados. De no ser así, se puede establecer un sistema de recolección en acera con una frecuencia alterna para los materiales susceptibles de aprovechamiento (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y EPAM s.a.e.s.p, 2008). (Lopez, 2011, pág. 74)

Vehículos Recolectores

Un sistema de recolección correctamente diseñado, que cuenta con los vehículos de recolección más idóneos, forma la columna vertebral de un programa de aprovechamiento de residuos sólidos. La selección de los vehículos de recolección más apropiados requiere del análisis y estudio de toda la estructura del sistema. El vehículo de recolección es primordial para obtener una mayor eficacia en la captación del material aprovechable (Lund, 1996).

Para la recolección de los residuos aprovechables, no se recomienda la utilización de vehículos compactadores, por consiguiente, existen diversos tipos de camiones recolectores con compartimentos para diferentes materiales (plástico, vidrio, aluminio), que varían desde remolques con compartimentos y descarga manual, hasta camiones de carrocería cerrada y compartimentos para cada material, que se cargan lateralmente y son descargados por la parte trasera (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y EPAM S.A.E.S.P, 2008).

Los tipos principales de vehículos utilizados para la recolección de los residuos separados son:

1. Vehículos de recolección estandarizados.

2. Vehículos de recolección especializados, incluyendo camiones de reciclaje con caja cerrada, remolques de reciclaje, remolque de plata forma modificada, camiones de reciclaje con caja abierta y remolques compartimentarizados (dividido en compartimentos). (Olmos, 2011, págs. 75-76)

Planta integral de residuos

Las plantas de aprovechamiento de residuos sólidos, son instalaciones que responden a la necesidad de tratamiento de los flujos de residuos en una población, con el fin de evitar su disposición en rellenos sanitarios o incineración directa. Dichas instalaciones, están diseñadas para recibir corrientes de residuos que han sido seleccionados en la fuente o residuos mezclados de los cuales se busca extraer los materias que son susceptibles de aprovechamiento y que son fuente directa de una serie de materias primas recicladas de alta calidad que puede ser reincorporadas dentro del ciclo económico y productivo del país (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y EPAM S.A.E.S.P, 2008).(p.78.)

Sistemas de gestión integral Como se cita en (Olmos, 2011, págs. 67-70))

La separación es una operación necesaria en el aprovechamiento de residuos sólidos, esta se puede realizar mediante separación en la fuente o en las plantas de aprovechamiento de residuos sólidos. Las posibilidades de reutilización y reciclaje y las alternativas disponibles para la separación de materiales afectaran al tipo de programa de gestión de residuos implantado por los municipios (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994).

En cuanto a la separación en el punto de generación normalmente es realizada por medios manuales. El número y los tipos de componentes separados dependerán del nivel de complejidad

del sistema de aprovechamiento de residuos sólidos. Sin embargo, que los materiales hayan sido separados en la fuente, en la mayoría de los casos, se necesitara una separación adicional antes de poder aprovechar el material (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994).

El diseño de la separación debe obedecer al estudio de volúmenes y composición de residuos sólidos que llegaran a la planta y además la frecuencia y la forma como estos van a llegar, el tipo de residuo esperado y además los criterios climatológicos y geológicos de la zona (Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento, 2009).

La separación de residuos en las plantas de aprovechamiento de residuos sólidos se puede realizar manual o mecánicamente siendo la tendencia actual a la integración de ambas funciones de separación manual y mecánica (Olmos, 2011).

Separación Manual (Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento, 2009):

Para este tipo de separación, se debe contar como mínimo con zonas para el rompimiento de bolsas, estabilización de pH cuando se realice la presentación de residuos en forma conjunta, ruptura de empaques y embalajes, bandas transportadoras para la selección y contenedores para la separación y almacenamiento del material a procesar.

Separación Mecánica (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, Gestión Integral de Residuos Sólidos Volumen II, 1994)

En este tipo de separación se utilizan equipos especiales, cuyo objetivo es separa los residuos por tamaño, densidad o por clase de residuos, los procesos más utilizados son:

Reducción de tamaño: Es el proceso unitario utilizado para la reducción de los residuos sólidos no seleccionados y de los materiales recuperados. El objetivo de la reducción en tamaño es obtener un producto final que sea razonablemente uniforme y considerablemente reducido en tamaño comparándolo con su forma original.

Dentro de las aplicaciones típicas se tiene:

1. Molinos de martillo dispositivo de impacto para la trituración de los residuos sólidos no seleccionados.
2. Molinos Batidores también usado como rompedores de bolsas.
3. Trituradores cortantes, para residuos no seleccionados y materiales reciclados tales como aluminio, llantas y plástico.
4. Cubas Trituradoras, utilizadas para procesar residuos de jardín.

Clasificación por tamaño: Proceso unitario por el cual se separan los materiales según sus características de forma y tamaño en dos o más fracciones mediante uno o más superficies de cribado. Puede existir un cribado seco o húmedo, siendo el cribado seco el más común en el aprovechamiento de residuos sólidos. En muchos casos se utilizan cribas en el procesamiento de compost para conseguir un producto más uniforme.

En el procesamiento Usualmente se utilizan varios tipos de cribas, incluyendo:

1. **Cribas Vibratorias**, para separar materiales secos como vidrio y metal y material pequeño.

2. Cribas Giratorias (tromeles): también conocidas como cribas de tambor giratorio para separar residuos sólidos municipales no separados antes de su trituración y para la separación de cartón y papel.

3. Cribas de disco: para separar el vidrio de los residuos sólidos triturados. Se pueden separar diferentes tamaños de residuos utilizando la misma criba mediante el ajuste del espacio entre los discos giratorios.

Separación por densidad: es una técnica ampliamente utilizada para separar materiales basados en su densidad y en sus características aerodinámicas en base a dos componentes principales: la fracción ligera (compuesta por papel, plástico y orgánicos) y la fracción pesada (metales, madera y otros materiales inorgánicos que son relativamente densos). Las aplicaciones típicas incluyen:

1. Clasificadores Neumáticos: para separar materiales ligeros, como papel y plástico de materiales más pesados, como metales ferrosos, basándose en la diferencia de peso del material en una corriente de aire.

2. Separación por inercia: para el procesamiento de residuos sólidos no seleccionados

3. Flotación: para el procesamiento de escombros de construcción, separar madera de residuos de construcción mezclados y triturados, y para separar plásticos a partir de contaminantes orgánicos.

4. Separación por campo eléctrico y magnético: proceso mediante el cual los materiales se separan según su carga electrostática y su permeabilidad magnética. Es la tecnología más común

para separar metales ferrosos de metales no ferrosos. También se utiliza para la recuperación de materiales férreos a partir de residuos sólidos municipales separados en origen, no seleccionados y triturados. Las aplicaciones típicas incluyen:

4.1. Separación electrostática: utilizando campos electrostáticos de alto voltaje para separar materiales no conductores, como lo son el vidrio, el plástico y el papel, de materiales conductores, como son los metales. También es posible la separación los materiales no conductores, uno de otro, en base a las diferencias en su permisividad eléctrica. (Separación de plásticos de papeles, en base a las distintas características de carga superficial de los dos materiales).

4.2. Separación magnética: separación de materiales ferrosos y no ferrosos, utilizando campos magnéticos (imanes permanentes o electroimanes).

Instalaciones de almacenamiento de residuos solidos

Es importante que las instalaciones de la planta donde se va a realizar el proceso de almacenaje cumpla con los requisitos legales y las normativas que apliquen para este tipo de oficio es por esto que como se cita en (Olmos, 2011, págs. 71-73):

Los residuos sólidos aprovechados seleccionados, deben almacenarse de manera que no afecten el entorno físico, la salud humana y la seguridad; por tales motivos se deben controlar la proliferación de vectores, olores, explosiones y fuentes de llama o chipas que puedan generar incendios. Los lugares de almacenamiento deben salvaguardar las características físicas y químicas del material depositado. Se deben almacenar bajo una condición segura dependiendo de su característica, siendo así que los materiales reciclables inorgánicos pueden almacenarse en

altura mientras que el material orgánico requiere de procesos de estabilización en áreas de proceso y con la implementación de reactores de fase solida (camas y pilas) para posteriormente hacer su empaque y embalaje el cual puede ser a granel o en sacos (Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento, 2009).

Para cumplir con todas las exigencias mencionadas anteriormente el almacenamiento del material se puede realizar utilizando diversos contenedores y estructuras incluyendo un espacio de almacenamiento totalmente cerrado, o estructuras con tejas, sin paredes o contenedores de transporte en bruto. El almacenamiento en términos generales debe tener bajo costo por lo cual en climas templados, es aceptable el almacenamiento en estructuras con tejado y sin paredes, protegiendo materiales sensibles como el periódico de la lluvia la cual podría deteriorar el material. Mientras que otros materiales empacados como plástico y aluminio pueden almacenarse fuera sin problema (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, Gestión Integral de Residuos Sólidos Volumen II, 1994).

El almacenamiento más económico, es el uso de contenedores de transporte, especialmente cuando el contenedor es suministrado por el comprador del material. Este método es ampliamente utilizado en Europa para el transporte de varios tipos de papel y cartón a mercados en el extranjero en barcos con contenedores. Dichos contenedores son almacenados temporalmente en la planta de aprovechamiento y llenados poco a poco mientras se procesa el material para que cuando el contenedor este lleno sea retirado para su envío al exterior (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, Gestión Integral de Residuos Sólidos Volumen II, 1994).

En términos generales la zona de almacenamiento de residuos sólidos aprovechables debe contener como mínimo las siguientes especificaciones (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y EPAM s.a.e.s.p, 2008):

- Debe encontrarse debidamente señalizado
- Debe estar alejada de fuentes de ignición y sustancias inflamables.
- Debe contar con espacios libres para la circulación del personal y la manipulación del material.
- Debe contar con equipos portátiles para el control de incendios.
- Debe contar con un estricto programa de control de plagas y vectores.
- Debe contar con secciones exclusivas para cada tipo de material.
- Debe ser un lugar fresco con bajos niveles de humedad para que esta no altere materiales como por ejemplo el papel periódico.
- El material no debe estar almacenado a grandes alturas.
- Para el almacenamiento de plástico recuperado se recomienda utilizar bolsas de polipropileno tipo Big bag, las cuales presentan una alta resistencia al impacto y al peso, las bolsas deben mantenerse cerradas para evitar la dispersión del producto y debidamente rotulada con el nombre del material que contiene, el color del mismo y la cantidad de material contenido.
- Los materiales compactados como papel, aluminio y cartones deben colocarse sobre estibas para facilitar el transporte de estos.
- Para el almacenamiento del compostaje, después de haber sido clasificado este se debe almacenar en costales teniendo en cuenta el tamaño del humus que contenga.

- En el caso del lombricompost es importante que este puede ser almacenado por largo tiempo, pero pierde en parte su calidad dado que el humus se seca y por ende mueren los microorganismos presentes en él. Por tal razón lo mejor es no almacenar el abono por un periodo mayor a 60 días.

Para simplificar el almacenamiento y transporte de los residuos aprovechables existe la densificación (compactación) de ciertos materiales (papel, metales y cartón); por medio de la cual se incrementa la densidad del material con el fin de reducir costos. Existen varias tecnologías disponibles para la densificación de residuos y materiales recuperados, como lo son las compactadoras estacionarias, máquinas de empacamiento que producen pacas aseguradas con ataduras de alambre o plástico (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, Gestión Integral de Residuos Sólidos Volumen II, 1994).

Compactadora estacionaria: en esta se llevan los residuos y son aplastados por medio manual o mecánico incrementando así su densidad, normalmente las compactadoras se pueden describir según su aplicación como:

1. De trabajo ligero, aquellas utilizadas para los residuos sólidos municipales ligeros.
2. De comercio o industria ligera. Baja presión (menos de 700 KN/m²¹).
3. De industria pesada. Baja presión (menos de 700 KN/m²).
4. De estación de transferencia. Baja presión (menos de 700 KN/m²) o de alta presión (700 KN/m² o más).

¹ Entiéndase KN/m² como kilo-Newton/metro cuadrado

Equipamientos de empacamiento: Las empacadoras son una alternativa al equipamiento de compactación. Operando con una presión alta, normalmente de 700 a 1400KN/m². Produciendo balas de residuos o material recuperado relativamente pequeñas. Por lo general los tamaños de las balas varían de 1,20-75-1,0 m a 1,8-75-1,0m. El peso de las balas depende del material variando desde 500 kg hasta 800Kg.

Los materiales empacados son fáciles de almacenar y de cargar con carretillas elevadoras y pueden transportarse rentablemente por su alta densidad en bruto.

Los materiales más frecuentemente compactados son plástico, papel, cartón latas de hojalata y aluminio y componentes grandes de metales.(Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, Gestión Integral de Residuos Sólidos Volumen II, 1994)

Por último, la cantidad de espacio para el almacenamiento del material depende directamente de la capacidad productiva de la planta y de la comercialización de los materiales es decir la frecuencia con la que se realizara la comercialización (semanal, mensual, trimestral). (Olmos, 2011)

Integración de tecnologías limpias en los procesos industriales

La innovación tecnológica es uno de los elementos claves para impedir los problemas sociales y de contaminación ambiental causados por el crecimiento acelerado en el uso de recursos, incrementos en la contaminación del aire, el agua y la tierra y los efectos irreversibles por el cambio climático. La interacción de varios factores complejos serán determinantes del papel potencial y el impacto de nuevas tecnologías en la solución de los problemas ambientales (Martínez, 2012).

Así pues Las tecnologías limpias son tecnologías que incluyen productos, servicios y procesos que reducen o eliminan el impacto ambiental de la tecnología disponible actualmente a través del incremento en la eficiencia en el uso de recursos, mejoras en el desempeño y reducción de residuos.(p.16).

En general, los principales atributos de una tecnología limpia son los siguientes: conservación de materias primas, optimización de procesos de producción, uso racional de las materias primas, uso racional de la energía y el agua, reciclaje o reutilización de residuos sólidos, prevención de accidentes, gestión del riesgo para evitar mayor contaminación y restauración de áreas.(p.19)

Según (Martínez, 2012) la introducción de tecnologías limpias en las empresas implica una serie de etapas que se muestran a continuación teniendo en cuenta el proceso de materiales:

1. Mejoras en métodos limpios implica mejorar los métodos de medición e investigar nuevos métodos de producción más limpia.

2. Reducción de la generación de residuos que involucra cambios en máquinas, procesos de producción y tecnología; introducir sistemas de direccionamiento en el manejo de residuos, modificación de materiales y reducción del consumo de agua, energía y materias primas.

3. Diseño de productos pro-ecológicos planear y ejecutar el análisis de ciclo de vida de los productos y diseñar productos teniendo en cuenta criterios de reciclaje.

4. Formación de nuevas formas de infraestructura modificación en el consumo de energía utilizando sistemas eficientes y modificación en los rangos de transporte y comunicación.

5. Integración de ciencias técnicas que impliquen nuevas disciplinas que mejoren las tecnologías desde el punto de vista ambiental (p.21).

Para el caso del abastecimiento energético y el consumo de electricidad de una industria existen varias alternativas a aplicar para obtener una semiautónoma y eficiencia energética mayor, estas pueden implicar la energía solar y eólica, a continuación se describe más a detalle estas tecnologías:

Energía Eólica según Mendéz & Rafael (1995)

La energía del viento se deriva del calentamiento diferencial de la atmosfera, por el sol, y las irregularidades de la superficie terrestre. Aunque solo una pequeña parte de la energía solar que llega a la tierra se convierte en energía eólica, la cantidad total es enorme. El dispositivo capaz de realizar la conversión de la fuerza del viento en electricidad es el aerogenerador o generador eólico, que consiste en un sistema mecánico de rotación provisto de palas a modo de los antiguos molinos de viento, y de un generador eléctrico con el eje solidario al sistema motriz, de forma que el viento hace girar las palas y el generador eléctrico.

Energía solar

La energía solar directa es la energía del sol sin transformar que calienta e ilumina, para la generación de otros tipos de energías se necesita sistemas de captación y de almacenamiento diferentes:

Utilización directa: mediante la incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, es la llamada energía solar térmica pasiva.

Transformación en calor: es la denominada energía solar térmica que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos. Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria, dar apoyo a la calefacción para atemperar establecimientos, etc.

Transformación en electricidad: es la llamada energía solar fotovoltaica, que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para su uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica. (P.27-28)

8.2. Marco conceptual

Residuo sólido: es un producto inevitable de cualquier actividad humana (León 2001); “son materiales, objetos, sustancias o elementos sólidos que no tiene valor de uso directo para quien los genera y por lo tanto, se descartan” (ICONTEC 1998).

Manejo integral: El manejo de los residuos sólidos es una combinación de métodos de generación, almacenamiento, recolección, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final; que tienen una jerarquía establecida para la operatividad y para la toma de decisiones y definición de estrategias locales y nacionales (Medina & Jiménez 2001).

Desarrollo sustentable: Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades Harris (2000).

Gestión Integral de Residuos Sólidos: La gestión integral de residuos sólidos – GIRS, se define como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de los residuos de una forma que armonice con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética, y de otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas” (Sáez & Galbán 2007).

Residuos Sólidos Aprovechables: cualquier material, objeto, sustancia o elemento en estado sólido, semisólido o líquido que ha sido descartado por la actividad que lo generó, pero que es susceptible de recuperar su valor remanente a través de su recuperación, reutilización, transformación, reciclado o regeneración (Decreto 1713/2002, Decreto 4741 de 2005) .

Residuos Biodegradables u Orgánicos: aquellos que pueden ser transformados por microorganismos como bacterias, hongos y otros agentes biológicos. Se incluyen restos vegetales, frutas, residuos de comidas, verduras, restos de podas y residuos de jardinería (Olmos, 2011).

Residuos Reciclables: Son aquellos tipos de residuos que después de haber sido utilizados pueden ser la materia prima o parte de esta para la fabricación de nuevos elementos. Dentro de estos tenemos el papel, cartón, vidrio, plástico, aluminio, textiles, aceites usados.(p.17)

Recuperar: incluye toda acción que permita seleccionar y retirar los residuos sólidos que pueden someterse a un nuevo proceso de aprovechamiento, para convertirlos en materia prima útil en la fabricación de nuevos productos (Decreto 1713 de 2002).

Impacto ambiental: es el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos.

Reciclar: Reciclar significa volver a utilizar materiales como el papel o el vidrio, para fabricar nuevos productos, antes de esta actividad es importante reducir y reutilizar. De acuerdo al Decreto 1713 de 2002 (Art. 1), el reciclaje es: *“Proceso mediante el cual se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados (que pueden someterse a un nuevo proceso de aprovechamiento) y se devuelve a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos. El reciclaje puede constar de varias etapas: procesos de tecnologías limpias, reconversión industrial, separación, recolección selectiva, reutilización, transformación y comercialización”*.

Reutilización: es la acción de volver a utilizar los bienes o productos. La utilidad puede venir para el usuario mediante una acción de mejora o restauración, o sin modificar el producto si es útil para un nuevo usuario.

Clasificación en la fuente: De acuerdo a la Guía Técnica de ICONTEC GTC – 24, la separación en la fuente se refiere a la “operación que debe realizar el generador de residuos sólidos para seleccionarlos y almacenarlos en recipientes de diferente color, según sean o no aprovechables”. Según lo establecido en el Decreto 1713 de 2002 (Art. 1), la separación en la fuente “es la clasificación de los residuos sólidos en el sitio donde se generan para su posterior recuperación”.

Reducción en la fuente: La reducción en la fuente o minimización de residuos sólidos en el origen, es una iniciativa de gestión integral que precede al manejo de los residuos sólidos; ya que dependerá de la cantidad y tipo de residuos que se generen, para determinar las opciones de manejo. Con la reducción se busca prevenir una excesiva producción de residuos sólidos, generar conciencia en la población y contribuir con la minimización de desechos dispuestos en relleno sanitario (Cortinas de Nava et al. 1999); además, reducir la cantidad de residuos promueve directamente la disminución de los costos asociados a su manipulación y a los impactos ambientales que generan (Medina & Jiménez 2001).

Reutilizar: Es la utilización directa de un material sin cambiar su forma y función básica, cuantos más materiales dentro de los residuos se puedan volver a utilizar, menos basura se produce. Según lo establecido en el Decreto 1713 de 2002 (Art. 1), reutilizar se refiere a: *“Prolongar y adecuar la vida útil de los residuos sólidos recuperados y que mediante procesos, operaciones o técnicas devuelven a los materiales su posibilidad de utilización en su función original o en alguna relacionada, sin que para ello requieran procesos adicionales de transformación”*.

Recolección selectiva es la separación de los residuos mediante su depósito en diferentes contenedores para que sean reciclados.

Economía del reciclaje: consiste en un cierto número de mercados que ponen en relación a generadores y usuarios.

Tecnologías limpias: son tecnologías que incluyen productos, servicios y procesos que reducen o eliminan el impacto ambiental de la tecnología disponible actualmente a través del incremento en la eficiencia en el uso de recursos, mejoras en el desempeño y reducción de residuos (Martínez, 2012).

Proceso de producción: sistema de acciones que se encuentran interrelacionadas de forma dinámica y que se orientan a la transformación de ciertos elementos. De esta manera, los elementos de entrada (conocidos como factores) pasan a ser elementos de salida (productos), tras un proceso en el que se incrementa su valor (Pérez & Ana, 2008).

8.3. Marco legal

Se hace necesario identificar cuáles son las normativas que facilitan el desarrollo de estos proyectos, como también las normas a las que la planta debe dar cumplimiento para la correcta ejecución de sus procesos y su funcionamiento por tanto a continuación se presenta el marco normativo que regula la gestión integral de residuos:

Constitución política Artículo N° 79: Consagra el derecho de todas las personas residentes en el país de gozar de un ambiente sano.

Constitución política Artículo N° 80: Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, Establece como deber del Estado la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Ley N° 09, 1979: establece el código sanitario para mejorar las condiciones salubres en lo que se relaciona a la salud humana, además los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.

Ley N° 142, 1994: establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, además de esto establece que el aprovechamiento es una actividad complementaria del servicio público de aseo.

Ley N° 99, 1993: por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, entre otras disposiciones.

Decreto N° 1077, 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. En su título 2 especifica todo lo referente a la prestación del servicio público de aseo, así como disposición final de residuos y gestión integral de residuos sólidos.

Decreto N° 2981, 2013: Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo, en el marco de la gestión integral de residuos sólidos ordinarios, en materias referentes a sus componentes, niveles, clases, modalidades, calidad y al régimen de las personas prestadoras del servicio y de los usuarios.

Decreto N° 1505, 2003: Se modifica parcialmente Decreto 1713 de 2002 en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

Resolución N° 754, 2014: el ministerio de vivienda, ciudad y territorio y el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

Resolución N° 0330, 2017 (RAS 2009): Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. Reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo (ACODAL, 2017).

Política Nacional para la gestión Integral de Residuos, 1997: Creada por el Ministerio del Medio Ambiente. Principalmente se basa en tres objetivos específicos los cuales determinan el lineamiento de la gestión de residuos: Minimización de la Cantidad de residuos que se generan, Aumentar el Aprovechamiento racional de residuos generados y Mejorar los sistemas de eliminación, tratamiento y disposición final de los residuos (Olmos, 2011).

Resolución N° 00375, 2004: ICA. Por la cual se dictan las disposiciones sobre Registro y Control de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en Colombia.

Resolución N° 1297, 2010: Se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Pilas y/o Acumuladores y otras disposiciones.

Resolución N° 1457, 2010: ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras disposiciones.

Resolución N° 1511, 2010: Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Bombillas y se adoptan otras disposiciones.

Resolución N° 1512, 2010: Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores y/o Periféricos y se adoptan otras disposiciones.

Resolución N° 1457, 2010: Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras disposiciones.

Guías Técnicas colombianas sobre residuos solidos

GTC 24 Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuente.

GTC 35 Guía para la recolección selectiva de residuos sólidos.

GTC53-8 Guía para la minimización de los impactos ambientales de los residuos de envase y embalaje.

GTC 53-2 Guía para el aprovechamiento de los residuos plásticos.

GTC 53-3 Guía para el aprovechamiento de envases de vidrio.

GTC 53-4 Guía para el reciclaje de papel y cartón.

GTC 53-5 Guía para el aprovechamiento de los residuos metálicos.

GTC 53-6 Guía para el aprovechamiento de residuos de papel y cartón compuestos con otros materiales.

GTC 53-7 Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos no peligrosos.

GTC 86 Guía para la implementación de la gestión integral de residuos (GIR).

Normas técnicas internacionales

ISO: 9000: Sistemas de gestión de calidad.

ISO: 14000: Herramientas para el Establecimiento de un “Sistema de Gestión Ambiental”.

ISO: 26000: Guía de responsabilidad social.

OHSAS: Administración de la Seguridad Industrial y la Salud Ocupacional de las organizaciones.

6.3.1 Requerimientos ambientales y de salud ocupacional para instalaciones de aprovechamiento de residuos

Las plantas de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos conllevan una serie de impactos que pueden ser positivos o negativos, por tal motivo cada municipio debe cumplir con los lineamientos planteados dentro de los Planes de Ordenamiento Territorial de cada municipio o distrito, con el fin de evitar dificultades con las comunidades cercanas y las autoridades ambientales competentes y deben como mínimo cumplir con criterios como:

Requerimientos ambientales

De acuerdo con el decreto 1220 de 2005, por el cual se reglamentan el título VIII de la ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales, las plantas de aprovechamiento de residuos sólidos no requieren de licencia ambiental previa, pero si deben contar con un Plan de Manejo Ambiental (PMA) para manejar los impactos ambientales que dicha planta pueda generar.

La entidad interesada en el desarrollo de plantas de aprovechamiento estará en la obligación de solicitar términos de referencia a la Corporación Ambiental Regional Correspondiente, la cual establecerá las necesidades de realizar estudios de impacto ambiental o plan de manejo ambiental y los permisos, autorizaciones o licencias que la planta requiera, a la vez se deben solicitar y tramitar todos los permisos necesarios en materia de: captación de agua, vertimiento y emisiones (en el caso de generarlas).

Requerimientos en salud ocupacional

De acuerdo con la normatividad vigente de salud ocupacional y seguridad industrial, las plantas de aprovechamiento de residuos sólidos deben contar con (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y EPAM S.A.E.S.P, 2008):

Programa de Salud ocupacional compuesto por programas y subprogramas de:

- Medicina preventiva y del trabajo, higiene y seguridad industrial, orden y aseo, debe contar con vigía de la salud o con un comité paritario de salud ocupacional de acuerdo a la cantidad de trabajadores de la planta.
- El lugar de trabajo debe contar con la señalización de seguridad y emergencias adecuadas, así como la demarcación de áreas y secciones de trabajo.
- Debe contar con programas de capacitación sobre control de riesgos asociados a las diferentes tareas desarrolladas en la planta. El personal debe contar con una dotación de acuerdo a la labor realizada como mínimo los trabajadores deben contar con: ropa de trabajo, calzados de seguridad, guantes, protectores faciales y auditivos y delantales.
- Se deben controlar los riesgos físicos, biológicos, de seguridad, ergonómicos y psicosociales, por tal motivo se debe contar con las condiciones adecuadas de ventilación, iluminación, controles de ruido, protección de las conexiones eléctricas, sistemas contraincendios y sistemas de protección en el manejo de maquinarias y equipos entre otras. Adicionalmente, se recomienda contar con manuales de operación y mantenimientos de equipos y hojas de seguridad de las sustancias químicas utilizadas dentro de todos los procesos. Todo esto bajo la normatividad vigente como lo son la ley 55 de 1993 donde se aprueba el convenio sobre la seguridad en la utilización de productos químicos en el trabajo y la Ley 9, título III DE 1979 y la resolución 02400 de 1979 o las que los sustituyan o modifique (Ministerio de Desarrollo Económico Colombia, Dirección de Agua Potable y Saneamiento, 2000). (p.81-83)

9. Metodología

El actual proyecto se enfoca en el diseño y modelación de una planta de reciclaje, recuperación y transformación de residuos sólidos reutilizables, entre tanto, la proyección de la misma se efectuará de acuerdo al desarrollo de dos fases:

Como primera fase se realizará una investigación cualitativa donde se recopilen datos teóricos de importancia como antecedentes, conceptos y normas a las que debe atenerse una planta, seguido de un análisis del funcionamiento de la gestión integral de residuos sólidos urbanos donde se definirán los mecanismos e insumos necesarios para su funcionamiento, mejor tecnología disponible y detalles de operación, todo esto con el fin de obtener una idea global para establecer las bases del funcionamiento de la planta, sus componentes internos y sus procesos de producción.

Esta primera fase correspondiente a la fase investigativa se realiza para establecer las bases teóricas y descriptivas de los requerimientos del modelo de planta que se propondrá, de esta manera, se tendrán los mecanismos necesarios para iniciar una segunda fase que contará de:

- Determinación de la capacidad de procesamiento de la planta.
- Realización de planos y modelado.
- Determinación y descripción de procesos de producción.
- Estudio de mejor tecnología disponible para el funcionamiento de la planta.

La segunda fase consiste en realizar el diseño, planos y ambientación respectiva, donde el modelo se presentará como un sistema integral, con todos sus componentes y el funcionamiento de cada una de las áreas, sumado a esto, la integración de un sistema de generación de energía limpia mixto, que comprenderá de la integración de energía solar, eólica y helio-térmica que se encargue de recepcionar, almacenar y alimentar de energía a la planta y demás áreas.

Así pues, el proceso proyectado parte básicamente de la recolección domiciliaria de material reciclable con el supuesto de que ya está establecido un plan integral de reciclaje y separación en la fuente de residuos en todos los hogares y objeto para evitar que los residuos que son aptos para el reciclaje y su reprocesamiento sean desechados al vertedero o relleno sanitario; a partir de esto, observar la disposición de material que entraría a la planta para de esta manera poder establecer el tamaño e iniciar el diseño, donde se integrarían las mejores tecnologías disponibles para su funcionamiento interno, al mismo tiempo que se cuida de cumplir con todas las normatividades y requerimientos para plantas de gestión integral, ya teniendo el diseño de la planta, se realizará un modelado que mostrará cómo quedaría teóricamente realizado el diseño propuesto, brindado una ambientación 3D que permita apreciar en detalle el todas sus características, al mismo tiempo que sus procesos.

Del mismo modo se realizará el diseño unitario de cada proceso, destinado a cada material, así pues se describirán teórica y gráficamente los procesos llevados a cabo dentro de la planta; también en busca de un diseño óptimo y un proceso sostenible se integrará en el funcionamiento de la planta un parque eólico y solar donde se pueda aprovechar los factores ambientales y las tecnologías limpias, también se cuidará de que las descargas al sistema de aguas residuales estén al mínimo de contaminación posible.

Cabe aclarar que dentro de la propuesta no se proyecta que la planta sea totalmente autónoma energéticamente, sino que cuente con una semiautonomía energética que satisfaga las necesidades de la planta, hasta donde su capacidad lo permita.

Por consiguiente, la propuesta de Diseño y modelado de la planta se integra los siguientes puntos:

- Recolección de residuos clasificados en acera.
- Transporte a planta.
- Procesamiento de residuos según líneas de producción.
- Semí-autonomía energética.
- Mejor tecnología disponible.
- Sostenibilidad ambiental.
- Producción efectiva.

De este modo se pretende que la planta propuesta sea una de las más innovadoras a nivel nacional y sirva de modelo para la construcción de futuras plantas, ya que como modelo estándar se puede ajustar a cualquier municipio que se plantee desarrollar proyectos de este tipo, marcando así un hito en el planteamiento de proyectos de gran impacto que repercutan positivamente en toda la sociedad.

Técnicas de recolección de información

Para la recolección de información se utilizaron técnicas Cualitativas, cuantitativas:

Cualitativas

Recolección de información

Para la primera fase del proyecto se realizó un análisis y recopilación meticoloso de diversos autores relacionados con el tema de la gestión de residuos sólidos, selección de tecnologías limpias, sistemas de tratamiento de residuos sólidos, así como, planes de desarrollo realizados por la alcaldía municipal en los años 2002, 2012 y 2016, entre otras fuentes de consulta relacionadas con el tema de los residuos sólidos y procesos de producción en plantas integrales, leyes, decretos, resoluciones, estándares internacionales y normas a aplicar.

Cuantitativa:

Recolección de la información relativa a la producción de residuos sólidos en la ciudad de Duitama a través de investigación en el plan de desarrollo e investigación en el PGIRS actualizado a 2016.

Presentación del producto

El producto del presente proyecto se presentará a manera descriptiva donde se realizará una descripción y presentación de todos los procesos y diseños anteriormente descritos.

10. Localización

10.1. Macro localización (Alcaldía de Duitama, 2012)

Localización geográfica

El Municipio de Duitama está ubicado en el valle que riega el río Chicamocha, entre los causes del río Chiticuy y el río Surba. La ciudad está rodeada y atravesada de sur a norte por los cerros de la Milagrosa o el Calvario, San José Alto, Alacranera o Tavor, la Tolosa, el Cargua, Tocogua,

Pan de Azúcar, el Cerro del Nevado, el Alto del tigre y el Monte Rusio (más conocido como el páramo de la Rusia). Los anteriores accidentes geo-ilustración son todos pertenecientes a las estribaciones de la cordillera oriental.

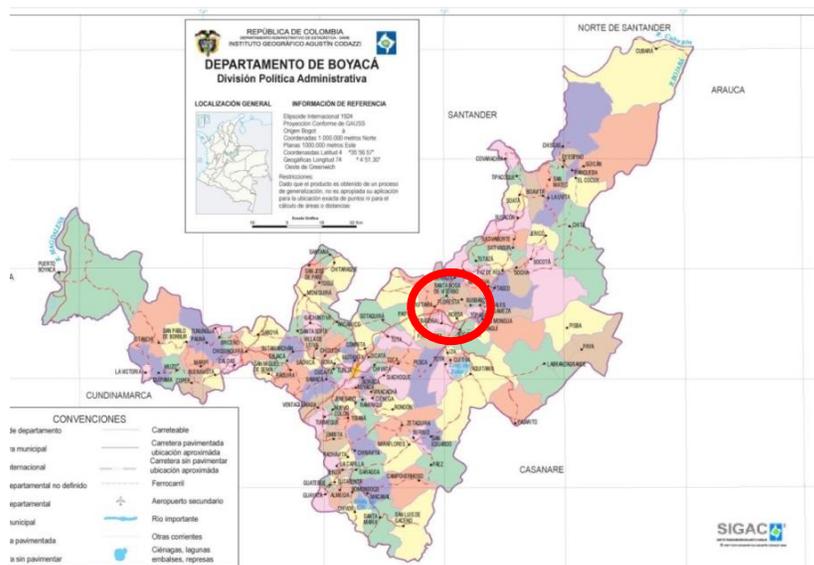


Ilustración 1: Plancha del municipio de Duitama Boyacá -IGAC

Fuente: (Alcaldía de Duitama Boyacá, 2014)

Duitama se sitúa astronómicamente a 5° 49' y 42" de latitud norte y a 1° 2' y 48" en relación con el meridiano de Bogotá y 73°, 03' de Longitud occidente con respecto al Meridiano de Greenwich. Duitama limita por el Norte con el Departamento de Santander, por el Sur con las jurisdicciones municipales de Paipa y Tibasosa; por el Oriente con los Municipios de Santa Rosa de Viterbo y Floresta y por el Occidente con el Municipio de Paipa.

En cuanto a su extensión territorial, el Municipio de Duitama cuenta con un total de ciento ochenta y seis Kilómetros cuadrados (186 Km²). Su altura barométrica es de dos mil trescientos cincuenta metros (2.350 m), sobre el nivel del mar, la temperatura promedio es de quince grados centígrados (15° C). Duitama tiene una humedad relativa del 70%, con lluvias aumentadas en los meses de abril y octubre, que disminuyen sus precipitaciones en los meses de marzo, mayo y noviembre; los demás meses del año, son de tiempo generalmente seco (Alcaldía de Duitama, 2012, pág. 63).

10.2. Micro localización

Para fines del presente proyecto no se establecerá una ubicación donde se sugiera debería estar la planta, ya que como lo afirma (Meyers & P, 2006) “la ubicación no siempre es una decisión de ingeniería” ya que muchas veces la localización del proyecto corresponde mas a cuestiones geopolíticas que de ingeniería, por lo tanto la microlocalización es aun indeterminada o no se propone un sitio geografico especifico para su microlocalización dentro de la ciudad de Duitama, del mismo modo, cabe aclarar que esto se está sujeto al esquema de ordenamiento territorial, lo que correspondería a la zona dispuesta para actividades industriales.

10.3. Caracterización biofísica y ambiental (Alcaldía de Duitama, 2012)

10.3.1. Clima

10.3.1.1. Temperatura

En cuanto a temperatura se pueden distinguir algunos cambios leves pues en general el promedio para la parte baja del Municipio está sobre los 14.12 °C (grados Celsius), presentándose en algunos casos temperaturas máximas de 23.7 °C grados y mínimas en periodos históricos hasta 1.9 °C grados y en muy pocos casos bajo cero, esto es importante para la producción agrícola, pues en esta franja se encuentran veredas como Tocogua, San Lorenzo de Abajo, San Lorenzo que poseen como fuerte la producción agrícola y predios para pastoreo.

Para la parte media del Municipio y que puede estar identificada por los datos obtenidos por la Estación ubicada en la finca Andalucía, localizada sobre los 3.265 m.s.n.m. se presenta un promedio de 8.88 °C grados y mostrando por datos históricos de máximos de 18.2 y mínimos de 4.6 en promedio.

El viento tiene importancia entre otras cosas por su acción en la dispersión de contaminantes y en la desecación de los suelos. Su dirección predominante permite definir áreas críticas de amenazas por incendios. En este sentido interesa conocer el viento dominante y la frecuencia de las direcciones y velocidades.

- En el Municipio de Duitama se tienen registros para dos estaciones, la de Surbatá y la de Andalucía, registros válidos para el área baja y media faltando la parte alta del mismo.

- Los vientos dominantes proceden del sur este y del sur, la velocidad media es del orden de 2.86 hasta 3.29 m/s; los vientos son más fuertes sobre los meses de julio y agosto y en forma intermedia en el mes de abril.

10.3.1.2. Balance hídrico

El balance Hídrico del Municipio, revisando la estación Andalucía que se encuentra sobre el río Surba y que en últimas suministra agua potable para consumo humano al área urbana y varias pequeñas viviendas sobre el curso de este, existe un balance bastante positivo entre los meses de marzo a julio y de septiembre a noviembre. La estación Surbatá Bonza es más deficitaria, pues los tiempos de diciembre a marzo y junio a septiembre son períodos bastante largos que no permiten un buen aprovechamiento del recurso hídrico para cultivos y abastecimiento humano en la zona suroeste.

La estación Duitama presenta un balance positivo, pues en el tiempo comprendido entre los meses de enero a junio y agosto a diciembre la bolsa hídrica es recomendable para su almacenamiento, el período de déficit es muy pequeño y de hecho hace que el área urbana y aldeaña sureste tenga un muy buen balance Hídrico.

La temperatura promedio es de cerca de 14 °C ; el promedio anual de la distribución de la precipitación está calculado en 1.128 m.m., los períodos de lluvias corresponde estadísticamente a los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, la temporada seca principalmente

corresponde a los meses de junio hasta agosto y de diciembre a febrero; la humedad relativa es del 81.4% promedio; la evaporación abarca un rango que oscila entre 80.63 y 99.53 m.m.; los vientos predominantes proceden del sureste y del sur, la velocidad media es de 2.86 y 3.29 m/s, los vientos son más fuertes en julio y agosto; la insolación o brillo solar corresponde a 5 horas promedio por día y de 1.820 horas anuales de sol. (p. 64-66).

10.4. División Político –Administrativa (Alcaldía de Duitama, 2012)

División por Corregimientos

Sector Rural

El área rural del Municipio de Duitama está integrada por 5 corregimientos y 19 veredas distribuidas de la siguiente manera:

Corregimiento 1. La Parroquia, Siratá, Santa Lucia, San Antonio.

Corregimiento 2. La Pradera, San Antonio Norte.

Corregimiento 3. Surba y Bonza, Quebrada de Becerras, San Lorenzo de Arriba, San Lorenzo de Abajo, Higueras, Puente la Balsa, El Cajón y Aguatendida.

Corregimiento 4. Veredas: Santa Helena, El Carmen, Avendaños, Santa Bárbara y Santa Ana.

Corregimiento 5. Veredas: Tocogua y San Luis

Veredas:

En total son 19 veredas:

Aguatendida, Avendaños, El Cajón, El Carmen, Higueras, La Parroquia, La Pradera, Quebrada de Becerras, San Antonio Norte, San Antonio Sur, San Lorenzo de Abajo, San Lorenzo de Arriba, San Luis, Santa Ana, Santa Bárbara, Santa Helena, Siratá, Surba y Bonza, y Tocogua.

Sector Urbano

El sector urbano está constituido por sesenta y dos (62) Barrios distribuidos por comunas, así:

Comuna 01 (Seis Barrios): Centro, El Carmen, Salesiano, Solano, Milagrosa, María Auxiliadora.

Comuna 02 (Seis Barrios): San Francisco, Arauquita, Laureles, San Fernando, Cándido Quintero, Higueras.

Comuna 03 (Quince Barrios): Las Delicias, Villa Korina, Alcázares, Santa Lucia, Divino Niño, Progreso Sector Guadalupe, Cundinamarca, Cerro Pino, Rincón del Cargua, La Fuente, Américas, El Recreo y Primero de Mayo.

Comuna 04 (Nueve Barrios): Once de Mayo, Libertador, Siratá, El Progreso, Sector Seminario y la Tolosa Colombia, Santander, Siratá, Libertador, La Gruta y Manzanares.

Comuna 05 (Diez Barrios): Vaticano, San José Alto, San Luis, La Paz, San Juan Bosco, Las Lajas, Camilo Torres, San Carlos, San Vicente y San José Obrero.

Comuna 06 (Seis Barrios): La Perla, La Floresta, Bochita, Villa Juliana, Los Alpes y Simón Bolívar.

Comuna 07 (Tres Barrios): Esperanza, Sauzalito y Villa Rousse.

Comuna 08 (Siete Barrios): Villa Olimpia, Villa del Prado, Villa Zulima, Villa Margot, Juan Grande, Santa Isabel y Cacique Tundama.

10.5. Vías de comunicación.

Las principales vías que comunican al municipio de Duitama con el resto del país son:
Puerto terrestre por el Sur carretera central del Norte – Bogotá-Tunja- Paipa.

Por el Norte Carretera Central del Norte comunica con Santa Rosa de Viterbo, Cerinza, Belén, Soata – Málaga – Pamplona – Cúcuta – Venezuela.

Por el Oriente Nobsa – Tibasosa – Sogamoso – Yopal – Arauca.

Por el Occidente Carretera de Torres Charalá – San Gil – Bucaramanga (p. 67-68)

10.6. Tamaño y crecimiento de la población (Alcaldía municipal de Duitama, 2016)

De acuerdo a información del DANE, el municipio para el 2016, tiene una población de 113.105 habitantes de los cuales el 91,1% (103.063 habitantes) habitan en el casco urbano y el 8,9% (10.042 habitantes) en el área rural.

La densidad poblacional del municipio de Duitama es de 492 habitantes por kilómetro cuadrado, siendo uno de los municipios con mayor densidad demográfica, la mayor concentración poblacional en el municipio de Duitama, está en el área urbana con más del 90% del total de la población. Dentro de las veredas más pobladas se encuentran aquellas que colindan con la cabecera municipal como son vereda Surba y Bonza, la Pradera y San Antonio Norte. Tocogua.

La población está distribuida en 52.101 hombres (46,06%) y 61.004 mujeres (53,93). La población potencialmente activa (mayores de 15 y menores de 59 años) es de 69.613 personas, y la inactiva (menores de 15 y mayores de 59 años) son 43.491 personas, como lo demuestra la ilustración numero 2 donde se muestra la distribución de la población de Duitama.

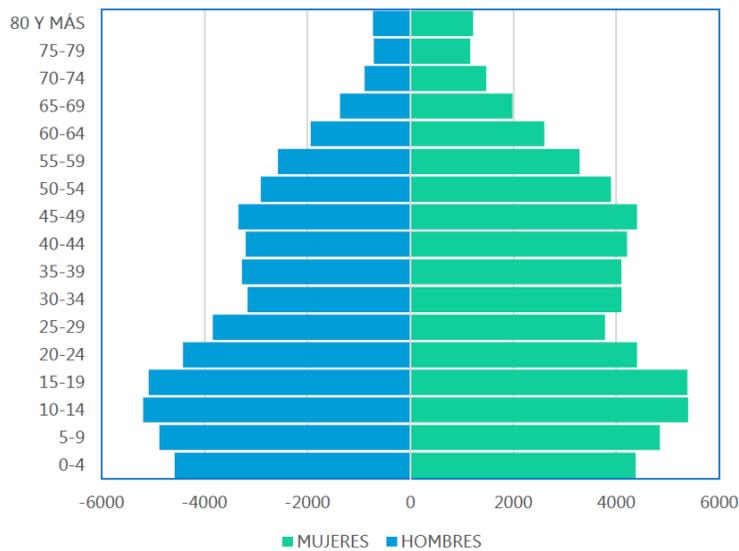


Ilustración 1: Distribución de la población Duitama-Boyacá

Tomado de: (Alcaldía municipal de Duitama, 2016)

En un contexto demográfico para el año 2015, la mayor proporción de población se concentra en edades entre los 10 y 19 años, que representa un potencial humano productivo para el municipio de Duitama, sin embargo a través del tiempo este grupo poblacional ha ido mostrando un comportamiento decreciente, dinámica que se extiende hasta los 29 años. A partir de esta edad, se observa el aumento gradual de la población adulta que se traduce en población cada vez más envejecida. Estos cambios de estructura poblacional responden al proceso de transición

demográfica caracterizado por una disminución en la natalidad, fecundidad y disminución de la mortalidad infantil y de la supervivencia.

El crecimiento poblacional indica la relación entre nacimientos y defunciones y migrantes y expresa el incremento anual de las poblaciones. En el municipio de Duitama la tasa de crecimiento vegetativo ha pasado de un 1,2% en el 2005 a 1% en el 2014 y la tasa de crecimiento total de 0,6% a 0,4% mostrando una tendencia decreciente, se evidencia disminución de la natalidad en los últimos cinco años y la mortalidad ha permanecido estable en el tiempo.

La Tasa Bruta de Natalidad en los últimos ocho años ha presentado un comportamiento descendente al pasar de 17 nacimientos por 1000 habitantes en el 2005 a 15 nacimientos por 1000 habitantes en el 2014, permaneciendo inferior a la Tasa Bruta de Natalidad en Boyacá que para el quinquenio 2010 - 2015 es de 18,7 por cada mil habitantes. (p.23-24)

10.7. Economía

Las actividades con Potencialidades económicas del municipio son lideradas por el sector Servicios seguido del sector Comercial. El sector industrial es liderado por el subsector Agro industrial con el 59% de la industria, en el que resalta la elaboración de productos de panadería con 154 empresas y el 13,99% del total de la industria y la confección de prendas de vestir con 117 empresas y el 10,63% de la industria; sectores como la fabricación de productos metálicos para uso estructural, maneja el 10,17% de la industria y el sector autopartista maneja el 11%. En el comercio sobresalen empresas dedicadas a la preparación y comercialización de alimentos con

el 25,4% de las empresas registradas, y, en general, el municipio se dedica al comercio al por mayor, por menor y la reparación de vehículos.

El turismo representa una potencialidad ya que corresponde al 19,24% del sector servicios en el que se incluye el transporte urbano por la incidencia que el transporte tiene en el turismo local. El 16,73% del sector lo conforman Bares, Restaurantes y Entretenimiento, Existen 175 empresas dedicadas a la organización de eventos comerciales, recreativos y de esparcimiento, 121 establecimientos para alojamiento y únicamente 4 operadores turísticos. (p.68-69)

10.8. Gestión de residuos sólidos en la ciudad de Duitama (Alcaldía municipal de Duitama, 2016)

Los residuos sólidos son recolectados por la empresa SERVIASEO DUITAMA S.A. con una frecuencia de tres veces a la semana en el casco urbano y diariamente en el centro de la ciudad. Se tiene cobertura de 100% en el área urbana y los centros poblados de La Trinidad, San Lorenzo de Abajo, Ciudadela Industrial, San Antonio Norte, Tocogua y Pueblito Boyacense.

Se recolectan 77,78 Toneladas diarias de residuos que son dispuestas en el relleno sanitario Terrazas del Porvenir en el Km 8 vía Sogamoso – Corrales, el que no cuenta aún con planta de aprovechamiento, situación de la que depende Duitama por la regionalización de los Rellenos Sanitarios y la falta de vocación en su propio territorio de un terreno con esta aptitud.

En el área rural la cobertura del servicio de aseo se presta únicamente en los centros poblados previamente señalados con cobertura de 19,69% de las viviendas rurales, en el resto del área los

residuos orgánicos son aprovechados localmente como abono o alimento para ganado y los residuos sólidos inorgánicos son enterrados o incinerados lo que representa un riesgo por enfermedades respiratorias.

El barrido y limpieza de vías y áreas públicas se realiza manualmente en 430,8 km de cunetas y 167.197 m² de espacio público urbano. Este servicio se realiza diariamente en el centro de la ciudad, tres veces por semana en las avenidas y dos veces por semana en los demás barrios de la ciudad.

Adicionalmente SERVIASEO DUITAMA S.A. Posee programas de capacitación a la comunidad en temas de costo del servicio, separación de residuos, tenencia responsable de mascotas, manejo ordenado de residuos, manejo de escombros y promoción del comparendo ambiental. A pesar de esto la comunidad manifiesta requerir mayor información especialmente en temas de separación en la fuente y aprovechamiento de residuos orgánicos (p. 22).

11. Beneficiarios del proyecto

11.1. Beneficiarios Directos

Habitantes del casco urbano de los municipios objeto y de las veredas donde sea prestado el servicio de aseo.

11.2. Beneficiarios indirectos

Familias, hogares, supermercados, recuperadores, y generadores de residuos sólidos siempre y cuando sean aprovechables, ya que el proyecto no contempla recolección de residuos peligrosos y no aprovechables, estos tendrán que ser dispuestos por la empresa de servicios públicos del municipio.

11.3. Estimación de la Producción Per Cápita

La producción per cápita, que en su sigla se conoce como PPC, puede considerarse como una variable que depende del tamaño de la población y de la generación de residuos sólidos dada por condiciones socioeconómicas específicas para cada centro poblado.

La generación per cápita es una proporción entre la cantidad de residuos sólidos recolectados y la población atendida por este servicio (Medina & Jiménez 2001). La producción de residuos sólidos se puede medir en valores unitarios como kilogramos por habitante por día, kilogramos

por vivienda por día, kilogramos por cuadra por día, kilogramos por tonelada de cosecha o kilogramos por número de animales por día (Jaramillo 2002). Se puede calcular aplicando la siguiente fórmula:

$$PPC = \frac{Kg \text{ recolectados}}{N^\circ \text{ de habitantes generadores}} \quad \textcircled{1}$$

Dónde:

PPC: producción per cápita

Kg recolectados: kilogramos recolectados al día en la ciudad

N° de habitantes generadores: Cantidad de habitantes de la ciudad

12. Diseño propuesto para la planta de planta de reciclaje, recuperación y transformación de residuos sólidos aprovechables

Para iniciar con el diseño lo primero a determinar será la cantidad de residuos de cada tipo que entraran teóricamente a diario a la planta, para determinar el tamaño y capacidad de almacenamiento de la planta, por tanto se tienen los siguientes factores:

N° de habitantes Duitama 2017 según proyecciones del DANE: 113.516 Hab

Habitantes generadores 2017: 113.516 Hab

Producción diaria de residuos: 77,78 Ton/día²

12.1. Cálculo de la producción per cápita

$$PPC = \frac{Kg \text{ recolectados}}{N^{\circ} \text{ de habitantes generadores}}$$

$$PPC = \frac{77.780 \text{ Kg /día}}{113.516 \text{ hab}}$$

$$PPC = 0,68 \frac{Kg}{\text{hab. día}}$$

Con este cálculo se define que la producción per cápita en el municipio de Duitama se estima en **0,68 Kg/hab día**, si nos basamos en (Angarita, 2016) este valor coincide con el promedio de producción per cápita Nacional, donde se estima que la PPC en Colombia es de 0,6 kg/hab día, pero si lo comparamos con la PPC en Bogotá que es de 0,95 kg/hab día, vemos que es un valor relativamente bajo, así mismo comparado con la ciudad de Tunja cuya PPC es aproximadamente de 0,67 kg/hab día, se nota que en la ciudad de Duitama hay un leve incremento o mayor generación de residuos por habitante.

² Toneladas/día

12.2. Caracterización física de los residuos

Para esto nos ajustaremos a los datos suministrados por (Alcaldía de Duitama Boyacá , 2002, págs. 102-103) ya que no se cuenta con información más actual acerca de la caracterización física de los residuos en el municipio, por tanto se tiene el siguiente cuadro:

Componentes	Porcentaje
Materia Orgánica	54,82
Materia inorgánica	45,18
Papel	4,32
Plástico	27,36
Vidrio	6,9
Textiles	0,85
Metales ferrosos y no ferrosos	1,99
Otros (papel y toallas higiénicas)	2,15
Otros (icopor, ceniza, escombros)	1,61

Tabla 1: Caracterización de residuos municipio de Duitama-Boyacá

Tomado de: Plan de ordenamiento territorial Duitama 2002

Entre tanto, si consideramos los materiales no aprovechables y los textiles, los cuales la planta no incluye en sus procesos que suma el 4,61% de la producción de residuos sólidos, podemos afirmar que el 95,39%, de los residuos son aprovechables, así pues de los 77.780 Kg diarios producidos el 96,24% que correspondería a 74.194,342 Kg/día, son residuos aprovechables que pueden ser procesados en la planta proyectada.

Ciñéndonos a esta información se puede determinar según porcentajes, la cantidad de cada material producido a diario:

Componentes	Kg
Materia Orgánica	40673,33
Materia inorgánica	33.521
Papel	3205,19
Plástico	20.299,57
Vidrio	5119,41
Metales ferrosos y no ferrosos	1476,46

Tabla 2: Cantidad de residuos producidos a diario en el municipio de Duitama-Boyacá
Fuente: El autor

12.3. Cálculo de proyección de población a 21 años con población de 2016

Municipio: Duitama Boyacá, zona urbana y rural

Como primera medida a identificar será la población de años anteriores según censos del DANE.

Año	Población
1993	94.874
2005	105.407
2016	113.105

Tabla 3: Población según censos del DANE 1993-2005-2016

Fuente: El autor basado en información del DANE y alcaldía de Duitama³

³ Se usan los datos correspondientes a los censos DANE años 1993 y 2005, y el dato del 2016 es tomado de (Alcaldía municipal de Duitama, 2016, pág. 23), estos tres datos son los más fieles para realizar la proyección.

Teniendo en cuenta que la proyección se realiza a 20 años desde el 2017 se define el año a proyectar como Tf.

Año a proyectar Tf= 2037

12.4. Proyección de la población mediante Método exponencial

A partir de los datos anteriores realizamos la proyección de población a 21 años a partir del 2016

Proyección 2016 – 2037

Para el cálculo de la proyección futura se utiliza la ecuación:

$$Pf = Pi e^{K(t_f - t_i)} \quad (2)$$

Antes de calcular la población futura se necesita definir las constantes de crecimiento de la población a partir de la ecuación:

$$K = \frac{\ln P2 - \ln P1}{T2 - T1} \quad (3)$$

Donde

Pf = población para un año futuro (año de predicción)

Pi = población del año inicial o año básico

Tf= tiempo de proyección

Ti= tiempo inicial

K= constante tasa de crecimiento de la población

P1 y P2= poblaciones años

T1 y T2= Años

K= se calcula como el promedio de las tasas para cada par de censos, P2 y P1 son las poblaciones de los años t2 y t1 obtenidas de la información existente (censos).

Identificando las variables implicadas se procede a calcular las constantes correspondientes a la tasa de crecimiento de la población en intervalos de tiempo, relacionando las tres fechas de censos e información poblacional que se tienen:

Valor de K entre 1993 y 2005

$$K = \frac{\text{Ln}105.407 - \text{Ln}94874}{2005 - 1993}$$

$$K = 0,008773$$

Valor de K entre 2005 y 2016

$$K = \frac{\text{Ln}113105 - \text{Ln}105407}{2016 - 2005}$$

$$K = 0,006407$$

Valor de K ente 1993 y 2016

$$K = \frac{\text{Ln}113105 - \text{Ln}94874}{2016 - 1993}$$

$$K = 0,007642$$

Promedio de las tasas

Calculadas las constantes de crecimiento de la población en cada intervalo, se procede a calcular el promedio de los tres valores.

$$K_m = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}$$

$$K_m = \frac{0,008773 + 0,006407 + 0,007642}{3}$$

$$\mathbf{K_m = 0.007607}$$

Población futura a partir del 2016

Teniendo el valor promedio de K, utilizamos la ecuación 2 para definir la población futura:

$$P_f = 113105e^{0.007607(2037-2016)}$$

$$\mathbf{P_f = 132696 Hab}$$

Con esto se concluye que la población proyectada para el año 2037 para la ciudad de Duitama será de 132696 habitantes.

Así pues, teniendo en cuenta la población futura y una producción per-cápita constante en el tiempo, se determina la cantidad de residuos generados por la población futura en el año 2037:

$$\text{residuos generados por la población futura} = ppc * P_f$$

$$Ppc: 0,68kg/hab * día$$

$$\mathbf{P_f = 132696 hab}$$

$$\text{Residuos generado por } P_f = 0,68 \frac{\text{Kg}}{\text{hab. día}} * 132696 \text{ Hab}$$

$$\text{Residuos generado por } P_f = 90.233,28 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

De este modo se tiene que la generación de residuos por parte de la población proyectada al año 2037, de 132696 habitantes, producirá 90.233,28 kilogramos de residuos sólidos al día.

12.5. Generación futura de residuos

Así pues se estima que los residuos generados al 2037 por la población proyectada serán de 90,23 ton/día, donde si se toman los datos estándar de caracterización y se mantiene estable en el tiempo la producción de residuos en igual porcentaje se tiene la siguiente tabla de caracterización de residuos:

Componentes	%	Kg/día	Ton/día
Materia Orgánica	54,82	49465,88	49,5
Materia inorgánica	45,18	40767,39	40,7
Papel	4,32	3898,1	3,9
Plástico	27,36	24687,8	24,68
Vidrio	6,9	6226,09	6,226
Textiles	0,85	766,98	0,76
Metales ferrosos y no ferrosos	1,99	1795,64	1,79
Otros (papel y toallas higiénicas)	2,15	1940,01	1,94
Otros (icopor, ceniza, escombros)	1,61	1452,75	1,45

Tabla 4: Generación de residuos en el año 2037 en Duitama según proyecciones

Fuente: El autor

Neumáticos

Centrándonos ahora en la recepción de llantas o neumáticos se sabe que estas están compuestas aproximadamente de la siguiente manera:



Ilustración 2: Composición aproximada de un neumático

Fuente: Proyecto polcaex

De este modo, el peso promedio para cada carcasa, según la Asociación de fabricante de partes de automotor “Acolfa” es:

Llanta de camión y otros vehículos pesados	50 kg
Llanta camioneta	15 kg
Llanta automóvil	7 kg

Tabla 5: Promedio de peso de un neumático según tipo de vehículo

Fuente: (plastigoma, 2013)

Con estos datos se puede determinar un promedio de 24 Kg por llanta, sin embargo, si ajustamos los datos de la composición del neumático de la siguiente manera: 5% textiles, 80% caucho y 15% acero cada tipo de llanta produciría aproximadamente:

Tipo	Masa	Acero	Textil	Caucho
	kg	Kg	kg	kg
Llanta de camión y otros vehículos pesados	50	7,5	2,5	40
Llanta camioneta	15	2,25	0,75	12
Llanta automóvil	7	1,05	0,35	5,6
Promedios de producción		3,6	1,2	19,2

Tabla 6: Composición promedio en peso de un neumático según tipo de vehículo

Fuente: El autor basado en plastigoma (2013)

Por consiguiente, se pretende diseñar una infraestructura con capacidad de almacenamiento de 60 toneladas de neumáticos teniendo en cuenta en el diseño no sobrepasar cúmulos de más de tres metros de altura y según el promedio de peso el almacenamiento de 2500-3000 llantas.

Se sabe que el proceso de transformación de estas 60 toneladas produciría en materiales separados lo que se muestra en la siguiente tabla:

Masa	Acero	Textil	Caucho
kg	Kg	kg	kg
60000	9000	3000	48000

Tabla 7: Producción en peso de 60 toneladas de neumáticos

Por lo tanto, el sitio de almacenamiento del producto terminado debe tener una capacidad mínima de almacenamiento de 51 toneladas ya que el textil se embalará en el mismo sitio de almacenamiento del caucho, el acero será incorporado al proceso de metales.

Residuos tecnológicos

- Para el almacenamiento de residuos tecnológicos se proyecta diseñar un espacio de almacenamiento con capacidad de 20 toneladas.

12.6. Capacidad de almacenamiento en planta

De esta manera se resumen los datos de cantidades de los materiales de recolección domiciliaria para proyectar capacidad de almacenamiento de las diferentes secciones de la planta en la tabla numero 8:

Componentes	Ton/día	Ton/ 7 días	Ton/ 14 días	Ton/ 28días
Materia Orgánica	49,5	346,5	693	1386
Papel	3,9	27,3	54,6	
Plástico	24,68	172,76	345,52	
Vidrio	6,226	43,58	87,164	
Metales ferrosos y no ferrosos	6,29	44,03	88,06	
neumáticos	60	60	60	
Residuos tecnológicos	20	20	20	

Tabla 8: Capacidad de almacenamiento mínimo de las bodegas

Fuente: El autor

teniendo en cuenta que se pretende que los sitios de recepción tengan capacidad de acumulación de material durante siete días y las zonas de almacenamiento del producto terminado tengan capacidad de acopio y acumulación de inventario por catorce días, exceptuando la materia orgánica cuyo lugar de almacenamiento tendrá una capacidad de acumulación de material durante siete días, y los sitios de descomposición y maduración tendrán

una capacidad de acumulación de material entrante de veintiocho días, las capacidades de almacenamiento en toneladas de cada sección son:

Materia orgánica:

Lugar de recepción: 346 ton

Lugar de descomposición: 1386 ton

Lugar de maduración: 1386 ton

Papel:

Lugar de recepción: 27,3 ton

Lugar de almacenamiento: 54,6 ton

Plástico:

Lugar de recepción: 172,76 ton

Lugar de almacenamiento: 345,52 ton

Vidrio:

Lugar de recepción: 43,58 ton

Lugar de almacenamiento: 87,164 ton

Metales ferrosos y no ferrosos:

Lugar de recepción: 44,03 ton

Lugar de almacenamiento: 88,06 ton

Neumáticos:

Lugar de recepción: 60 ton

Lugar de almacenamiento: 60 ton

Residuos tecnológicos⁴:

Lugar de recepción: 20 ton

Lugar de almacenamiento: 20 ton

Áreas de los diferentes sectores de la planta

Las áreas de construcción de la planta se presentan en la siguiente tabla:

Descripción de espacios	Área en metros cuadrados
Bodegas	12.175,80
Cafetería y casino	778,90
Vestier, estancia y área de juegos	660,40
Auditorio	193,80
Zona administrativa	334,10
Centro de educación ambiental	142,90
Biblioteca	77,10
Sala de conferencias	167,40
Aula 1	111,30
Aula 2	90,80

⁴ El almacenamiento para neumáticos y residuos tecnológicos es constante, por tanto la capacidad de almacenamiento de la bodega de acopio se mantendrá sin variación en los valores.

Área Total construida	14.732,50
Área parqueaderos	6.532,80
Área libre	58.734,70
Área total	80.000,00

Tabla 9: Áreas de la planta

Con estos valores obtenidos ya puede tenerse una idea general de la capacidad que debe tener cada espacio destinado al procesamiento de residuos según línea de producción, así pues, el siguiente paso del proyecto es presentar la propuesta de diseño para la planta en cuestión, los siguientes diseños que se muestran son un prototipo y permiten hacerse una idea de una distribución de espacio eficiente para las líneas de producción, al mismo tiempo que se presenta la planta como un conjunto pensado para la eficiencia en los procesos al mismo tiempo que brinda bienestar a su personal, estos diseños fueron realizados en software AUTOCAD 2017, para observar un mayor detalle ver anexo adjunto 1: Diseño de planta en formato PDF.

13. Propuesta de diseño de planta de reciclaje, recuperación y transformación

13.1. Vista superior de la planta

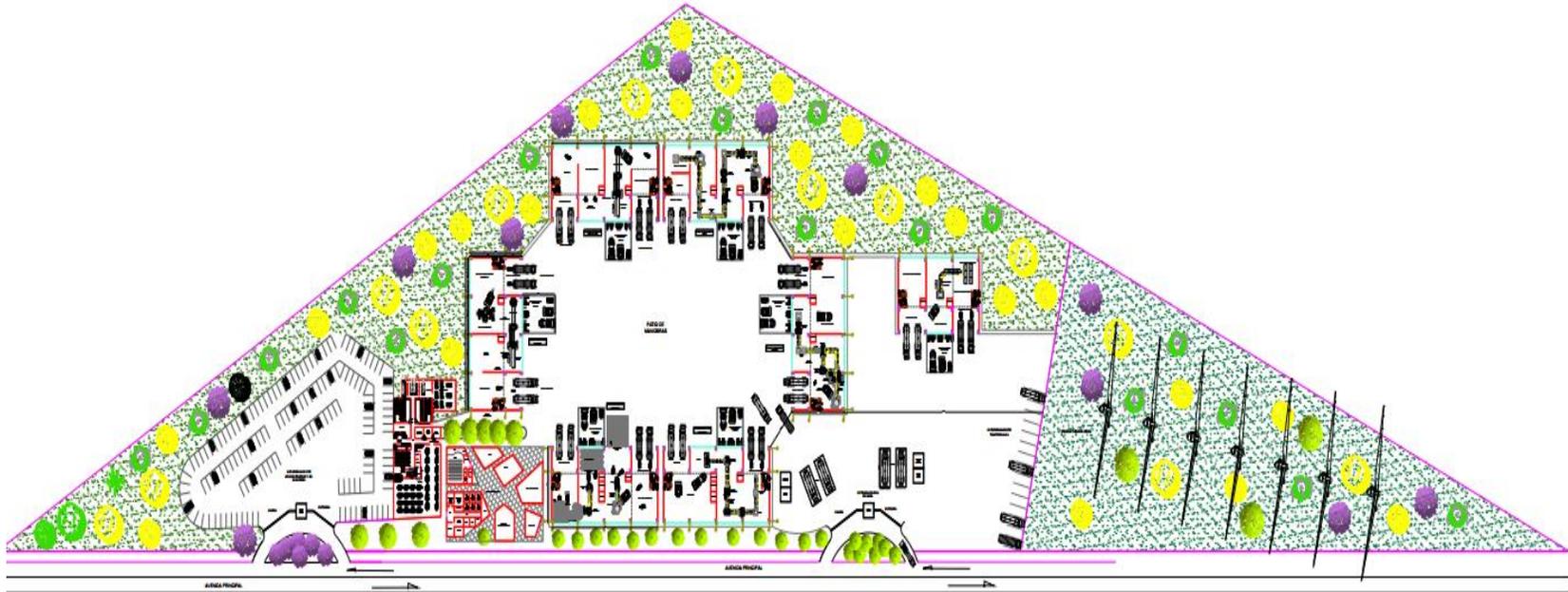


Ilustración 3: Vista aérea de la planta de reciclaje, recuperación y transformación de residuos propuesta. Se puede apreciar en vista aérea la distribución de la totalidad de la planta, donde en la parte central se integran los siete procesos establecidos como base para su funcionamiento, en la parte derecha el parque solar y eólico que dotará de energía a la planta y en la parte izquierda la zona de parqueaderos y demás zonas comunes que se expondrán a detalle más adelante.

Fuente: El autor

13.2. Vistas a detalle de las áreas de la planta

Entrada para empleados a la planta

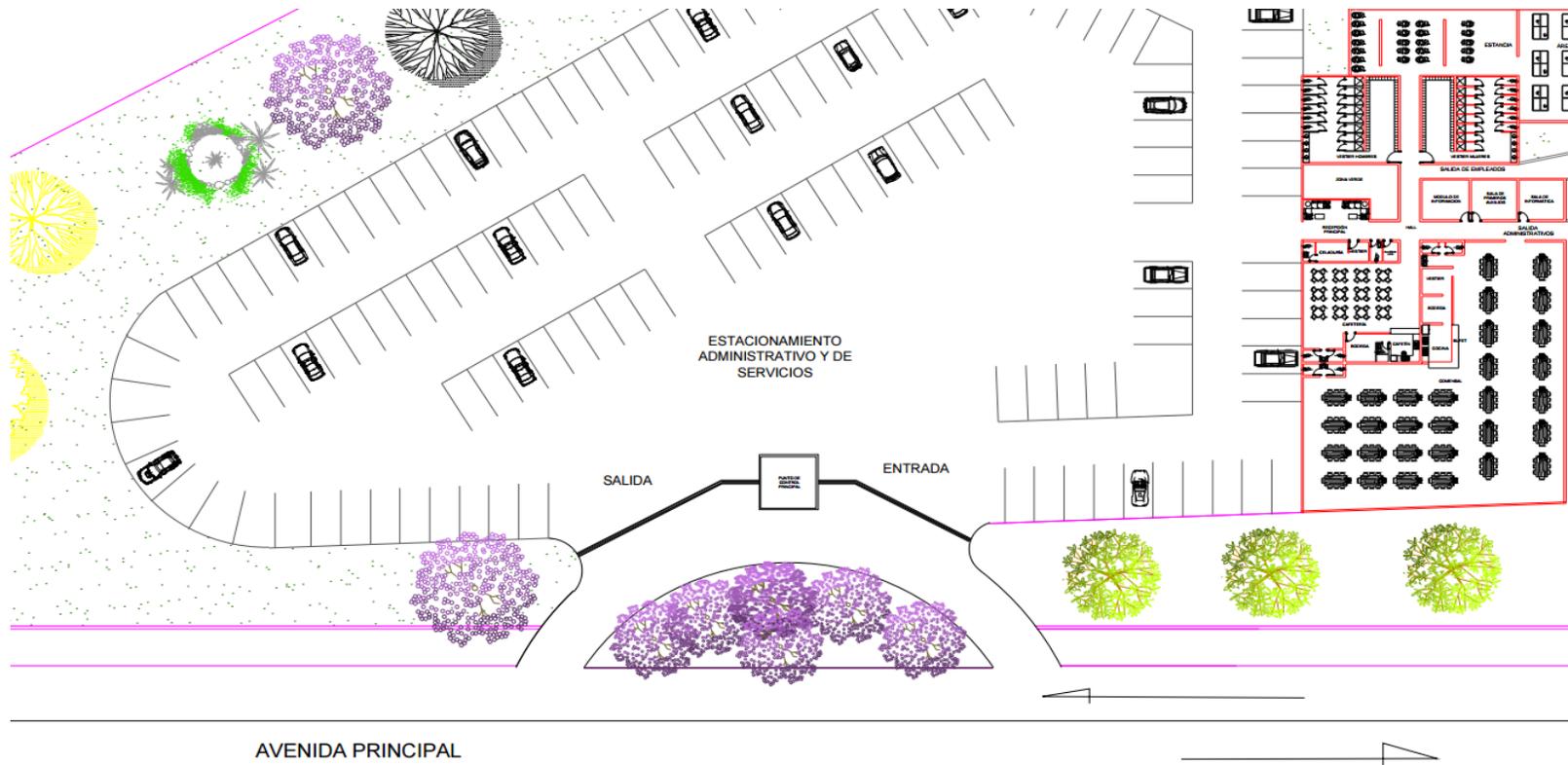


Ilustración 4: Vista de la entrada para empleados: esta zona está destinada a la entrada de funcionarios de la planta, donde también se encuentra la zona de parqueaderos para los vehículos de los mismos.

Fuente: El autor

Zonas comunes vista general

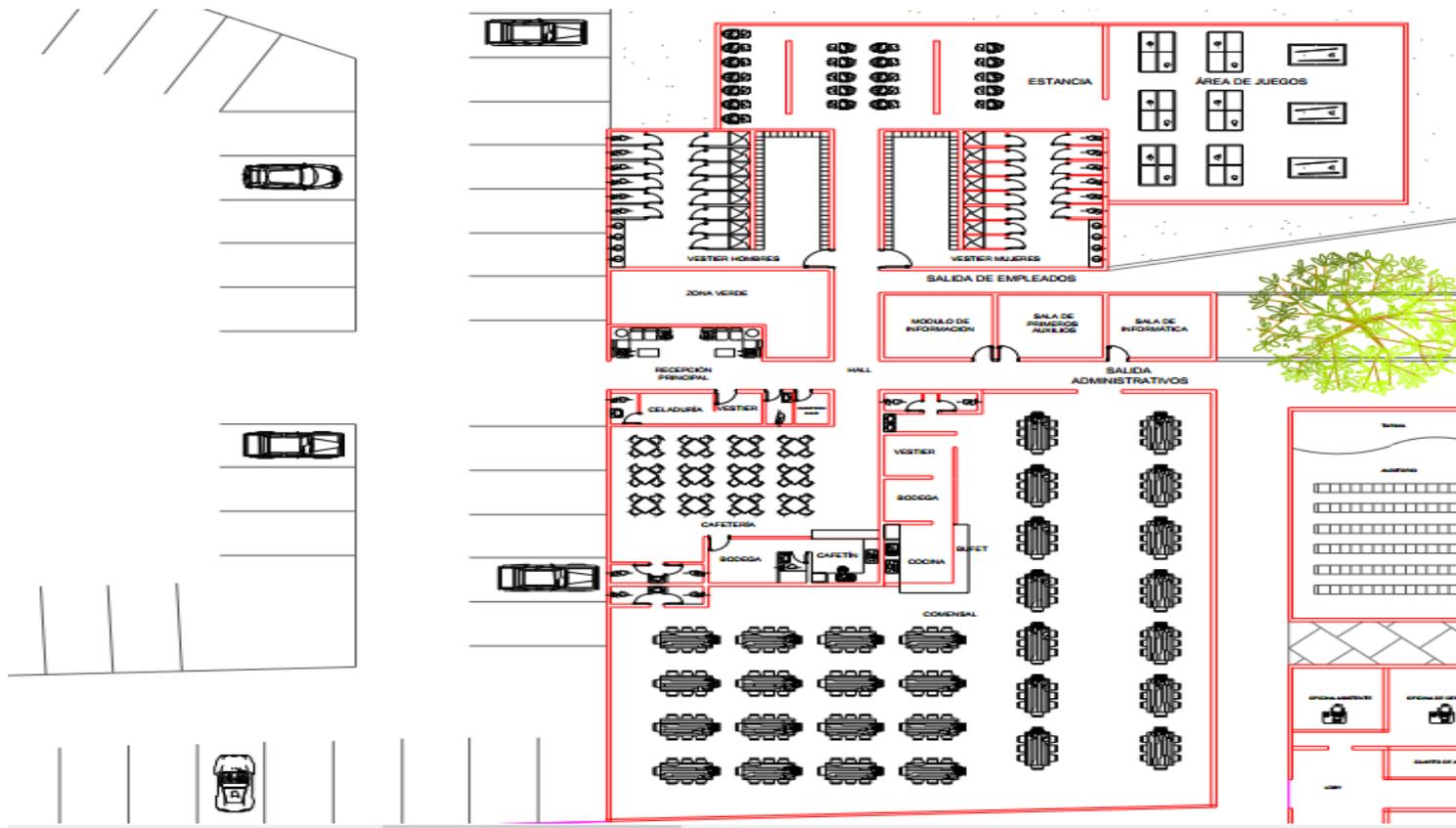


Ilustración 5: Vista de las zonas comunes para empleados: Las zonas comunes, están destinadas al bienestar de los empleados de la planta, donde se pueden encontrar la recepción principal, áreas de aseo, vestieres, cocina, zonas de esparcimiento, áreas de juegos y también algunas oficinas sociales.

Fuente: El autor

Vista a detalle de zonas comunes

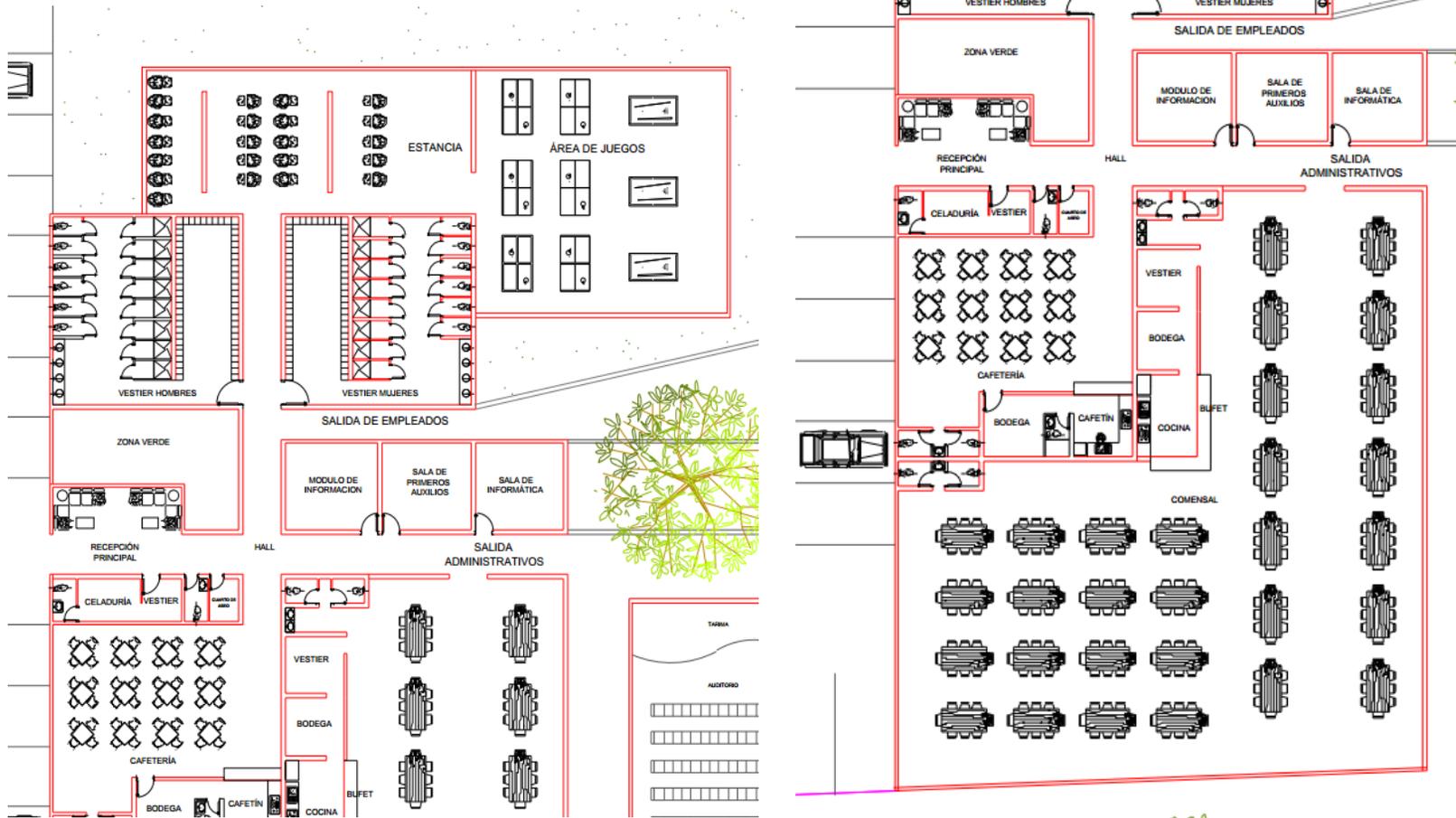


Ilustración 6: Detalle de zonas comunes: se puede apreciar más detalladamente áreas como la estancia, áreas de juego, vestieres, restaurante, etc.

Fuente: El autor

Area administrativa

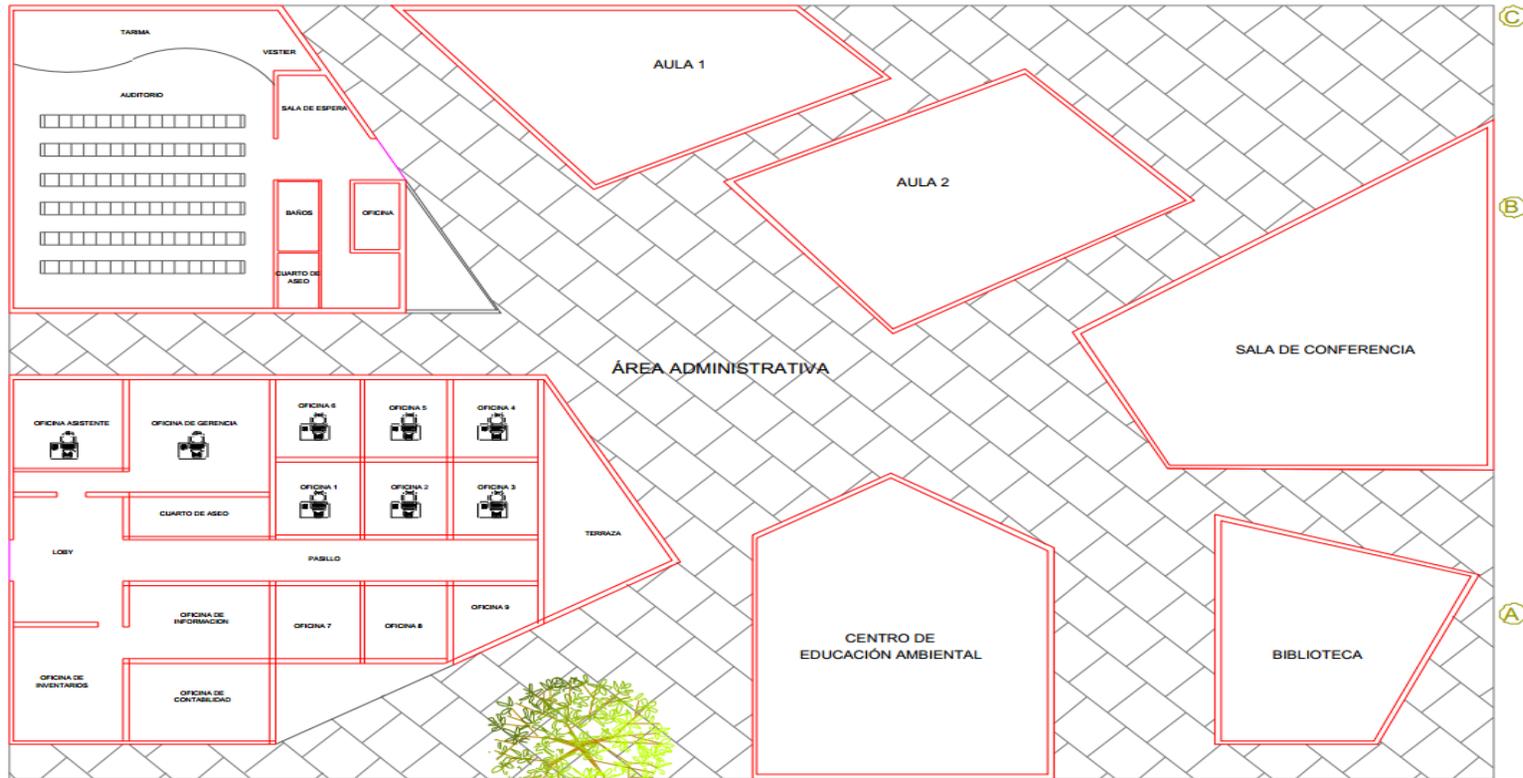


Ilustración 8: Vista del área administrativa de la planta: Esta área comprende el conjunto de oficinas destinadas al personal responsable de funciones administrativas de la planta, también comprende toda la zona intelectual destinada a la educación, conferencias y zonas de auditorios con el propósito de mantener una formación continua a funcionarios y operarios.

Fuente: El autor

Entrada y salida de vehículos de carga pesada

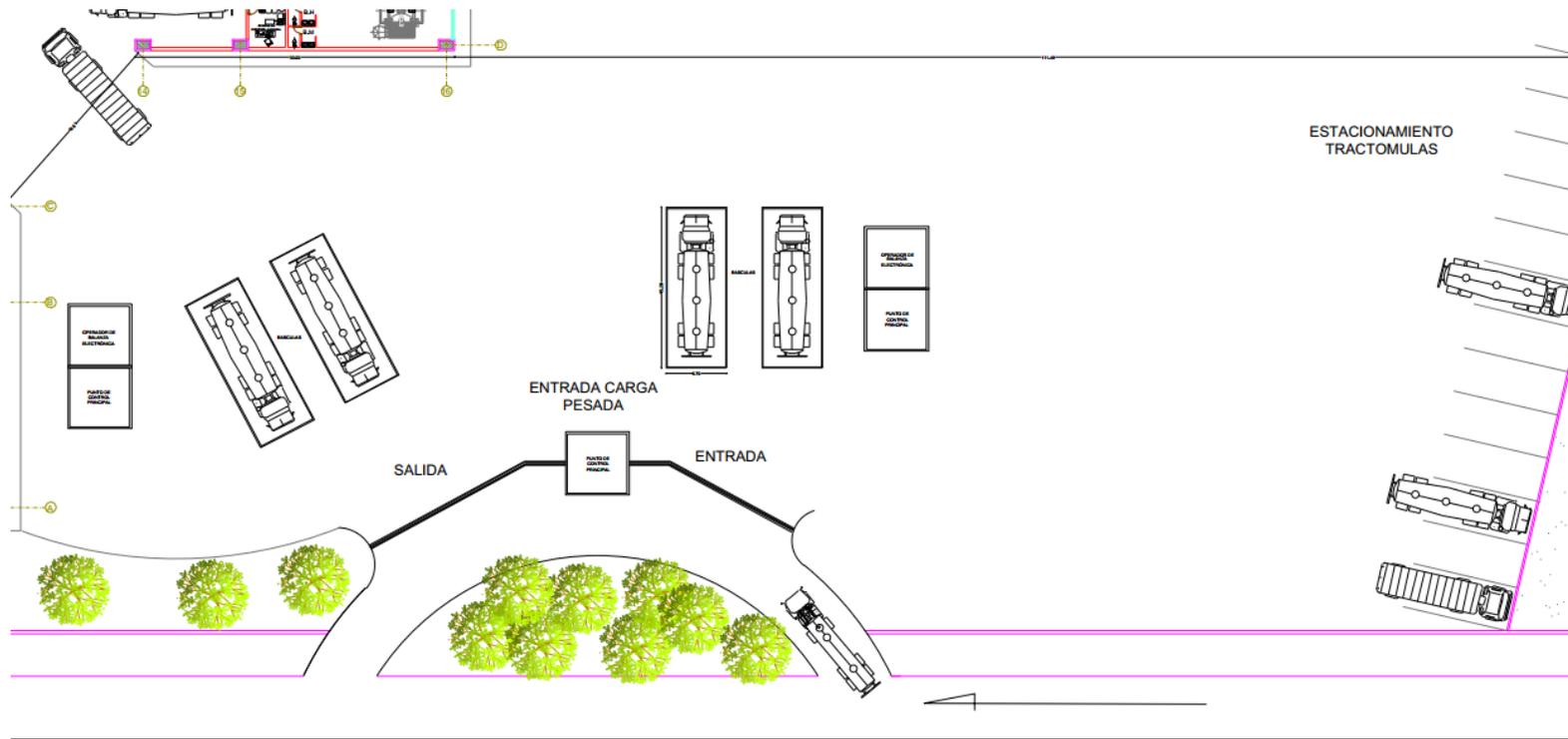


Ilustración 7: Entrada y salida de vehículos de carga: Es la segunda entrada destinada específicamente a los vehículos recolectores y transportadores de materia prima y producto final, comprende la caseta de control principal, la zona de básculas y los estacionamientos para vehículos fuera de servicio.

Fuente: El autor

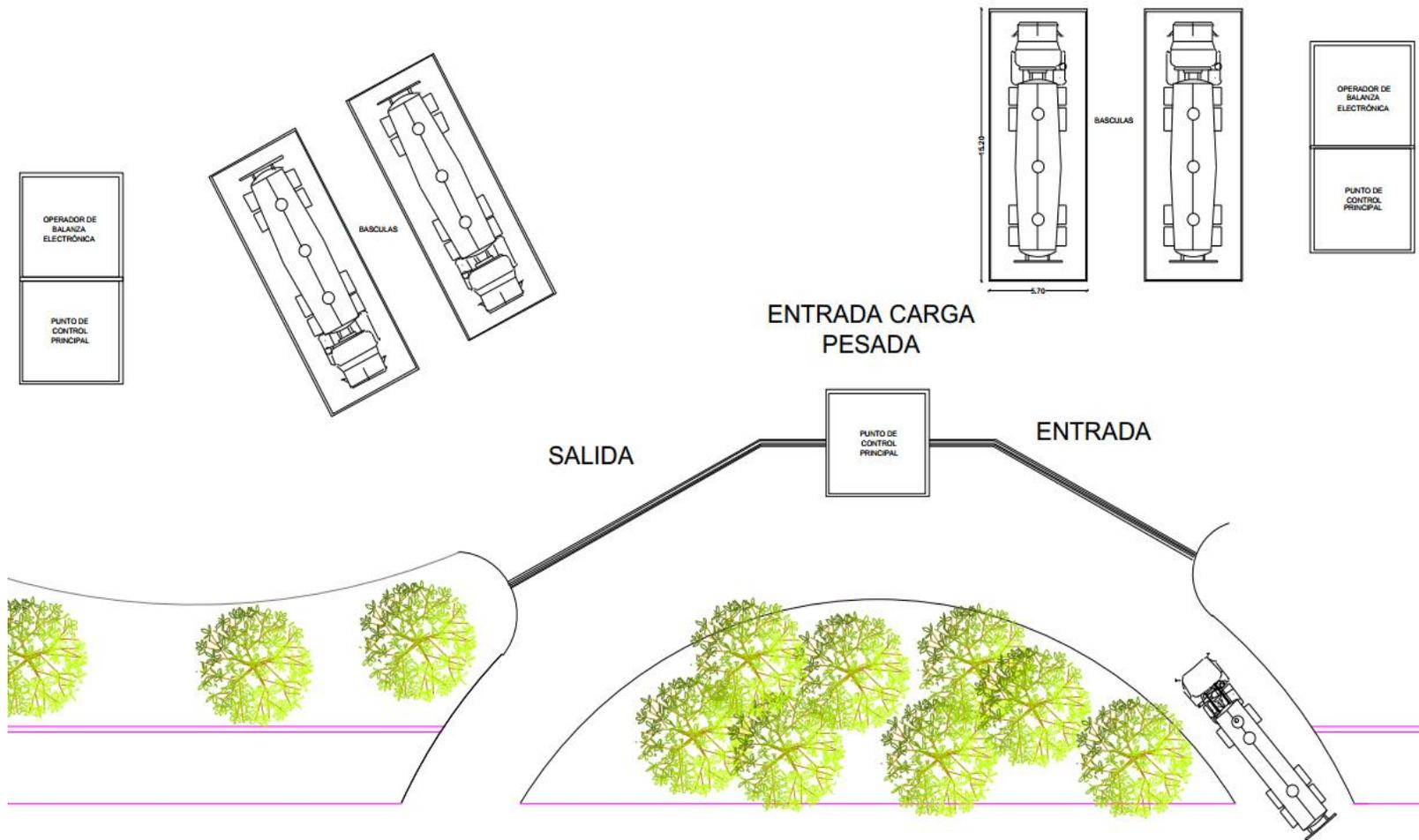


Ilustración 8: Entrada y salida de vehículos de carga, vista a detalle: como se puede observar, la zona de entrada cuenta con un punto de control de ingreso de vehículos y sistemas de basculas para pesar los camiones tanto en entrada como en salida.

Fuente: El autor

Área de tratamiento de residuos

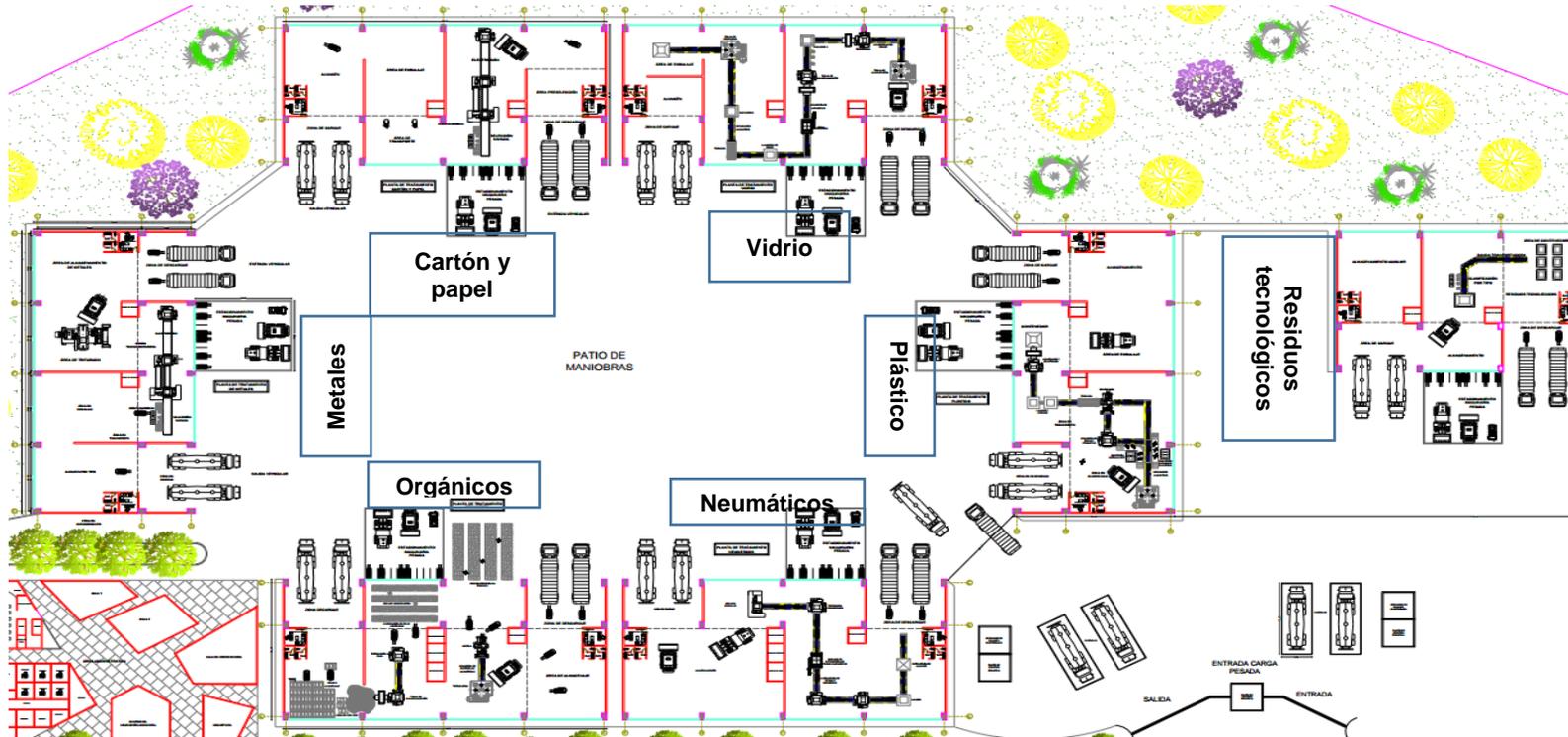


Ilustración 9: Vista superior del área industrial de la planta: El área industrial está diseñada para cumplir satisfactoriamente todas las funciones de recepción, procesamiento y transformación (en el caso que esté proyectado) de los materiales producto del reciclaje, esta cuenta con siete áreas de procesamiento destinadas a los materiales: 1. vidrio, 2. Papel y cartón, 3. Neumáticos, 4. Residuos tecnológicos, 5. Materia orgánica, 6. Plástico, 7. Metales.

Fuente: El autor

Zona de procesamiento de residuos tecnológicos

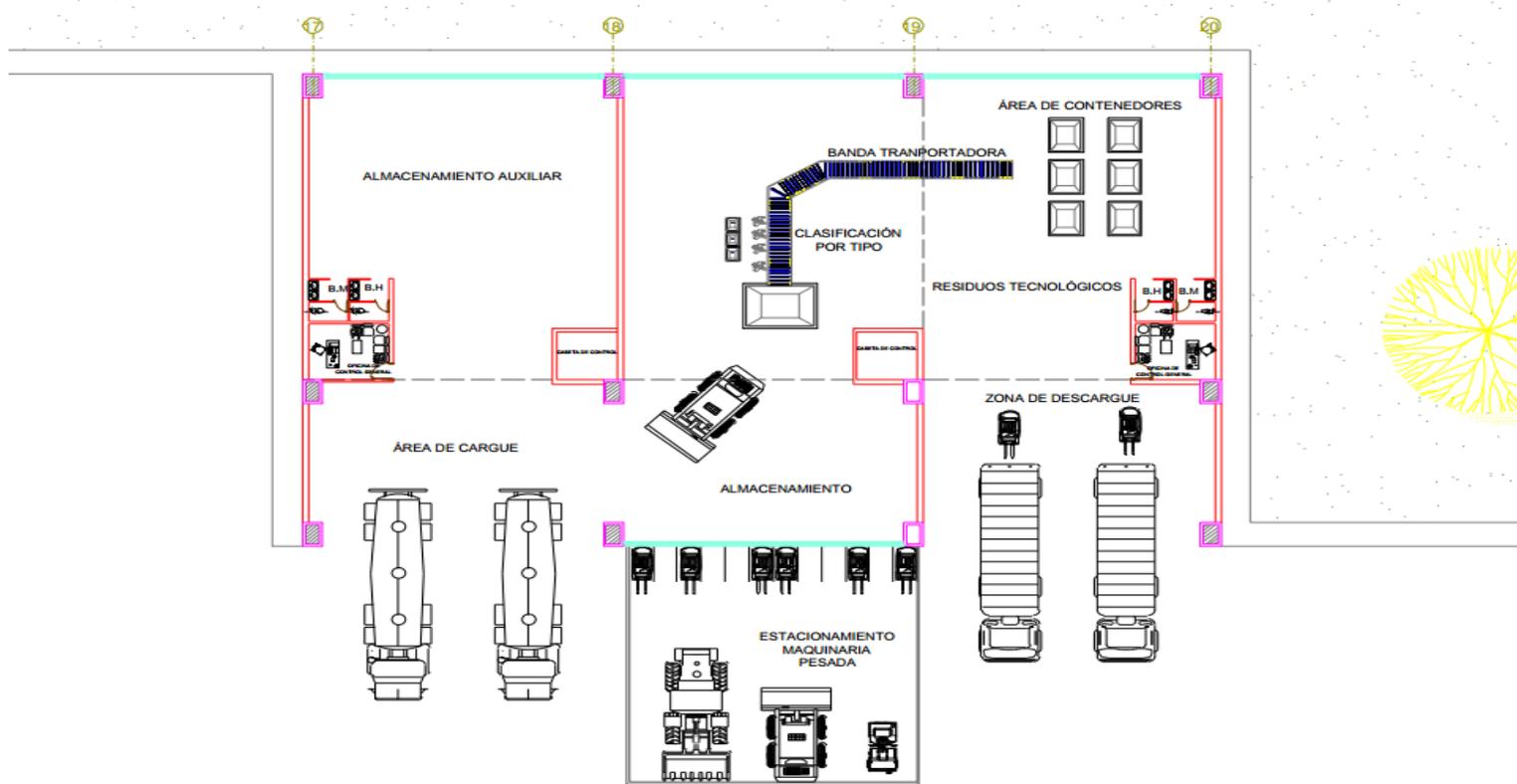


Ilustración 10: Zona de procesamiento de residuos tecnológicos: Esta zona es destinada a la recepción, clasificación y almacenamiento de residuos del tipo tecnológico; como se puede observar esta vista incluye el proceso que se lleva a cabo dentro de la área en cuestión.

Fuente: El autor

Zona de procesamiento de plástico

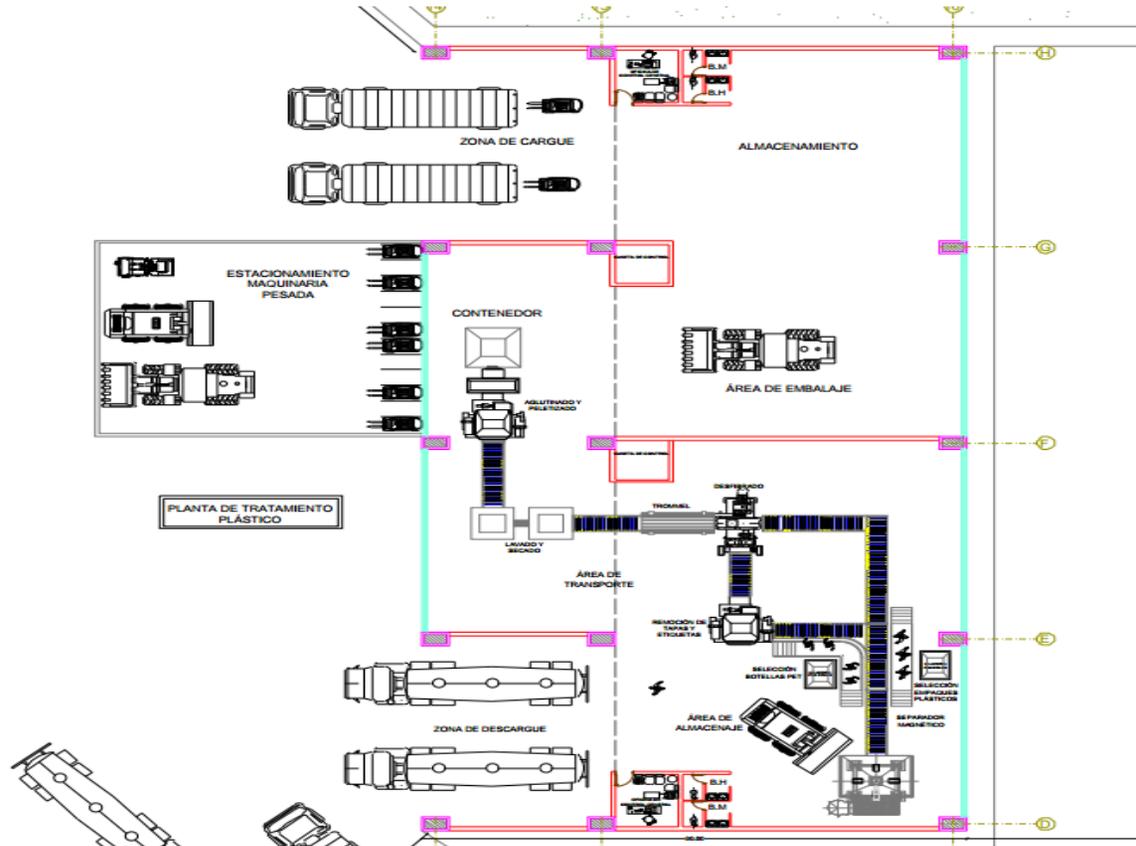


Ilustración 11: Zona de procesamiento de plástico: Zona destinada a la recepción, clasificación y procesamiento de plástico, esta vista incluye el proceso que implica, en las siguientes páginas se mostrará una vista más detallada de las secciones involucradas.

Fuente: El autor

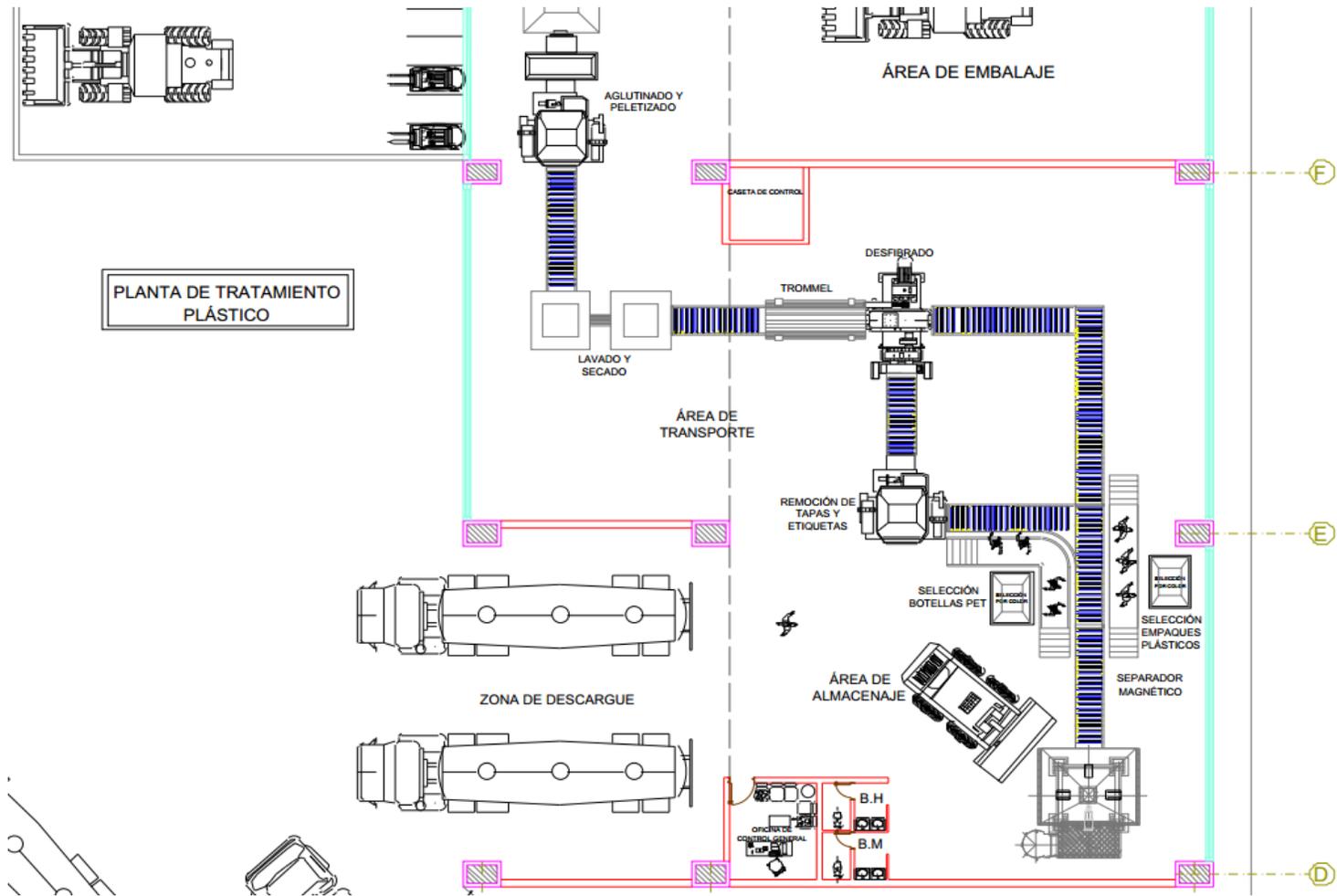


Ilustración 12: Vista de zona de procesamiento de plástico a detalle n° 1, esta muestra una sección de la zona y el proceso anteriormente mostrado.

Fuente: El autor

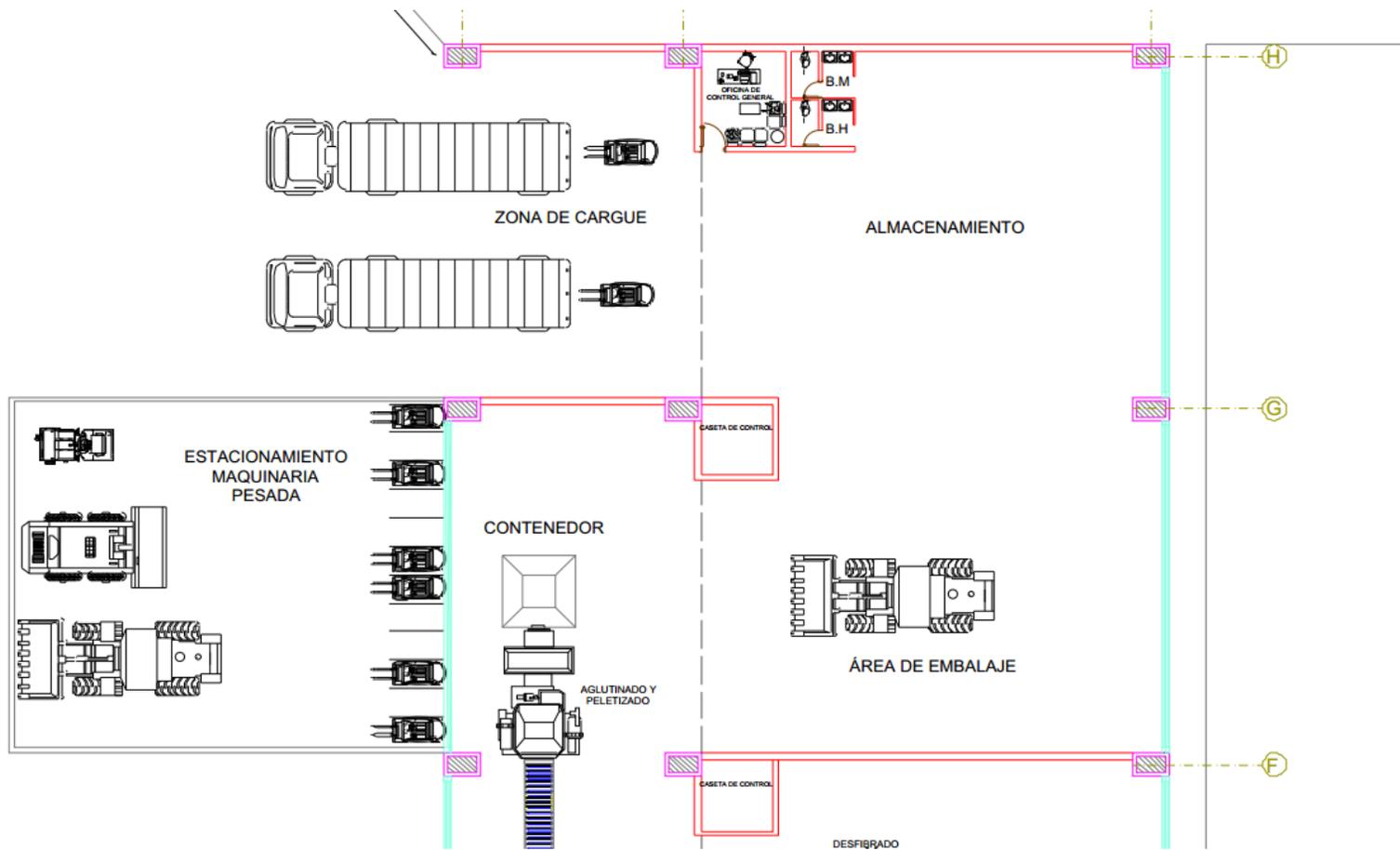


Ilustración 13.1. Vista de zona de procesamiento de plástico a detalle n° 2: continuación de la ilustración anterior

Fuente: El autor

Zona de procesamiento de vidrio

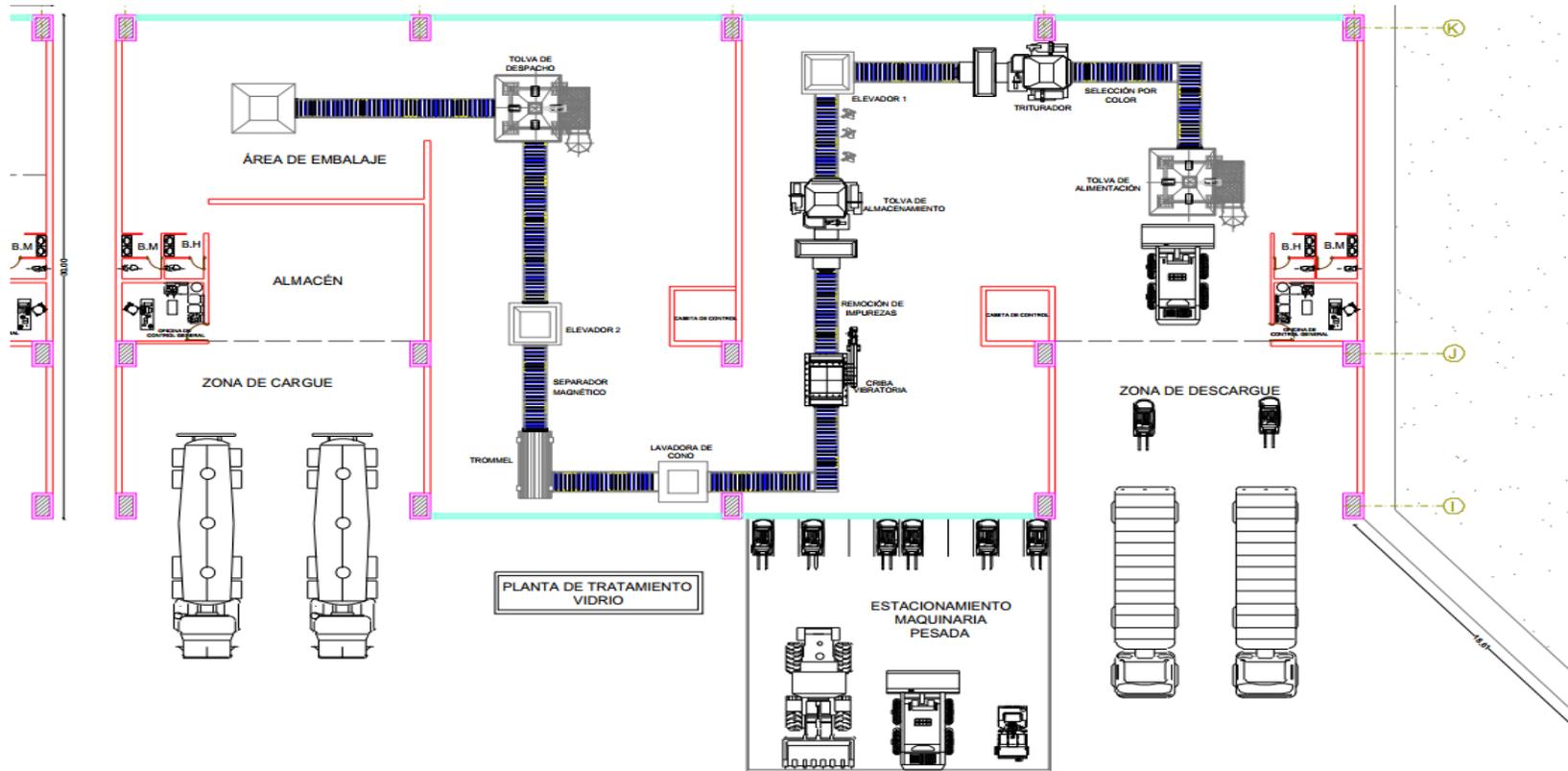


Ilustración 14: Zona de procesamiento de vidrio Zona diseñada para el procesamiento de vidrio y proceso respectivo, como el las ilustraciones anteriores, esta se dividirá en secciones para mostrar a detalle los componentes de la ilustración.

Fuente: El autor

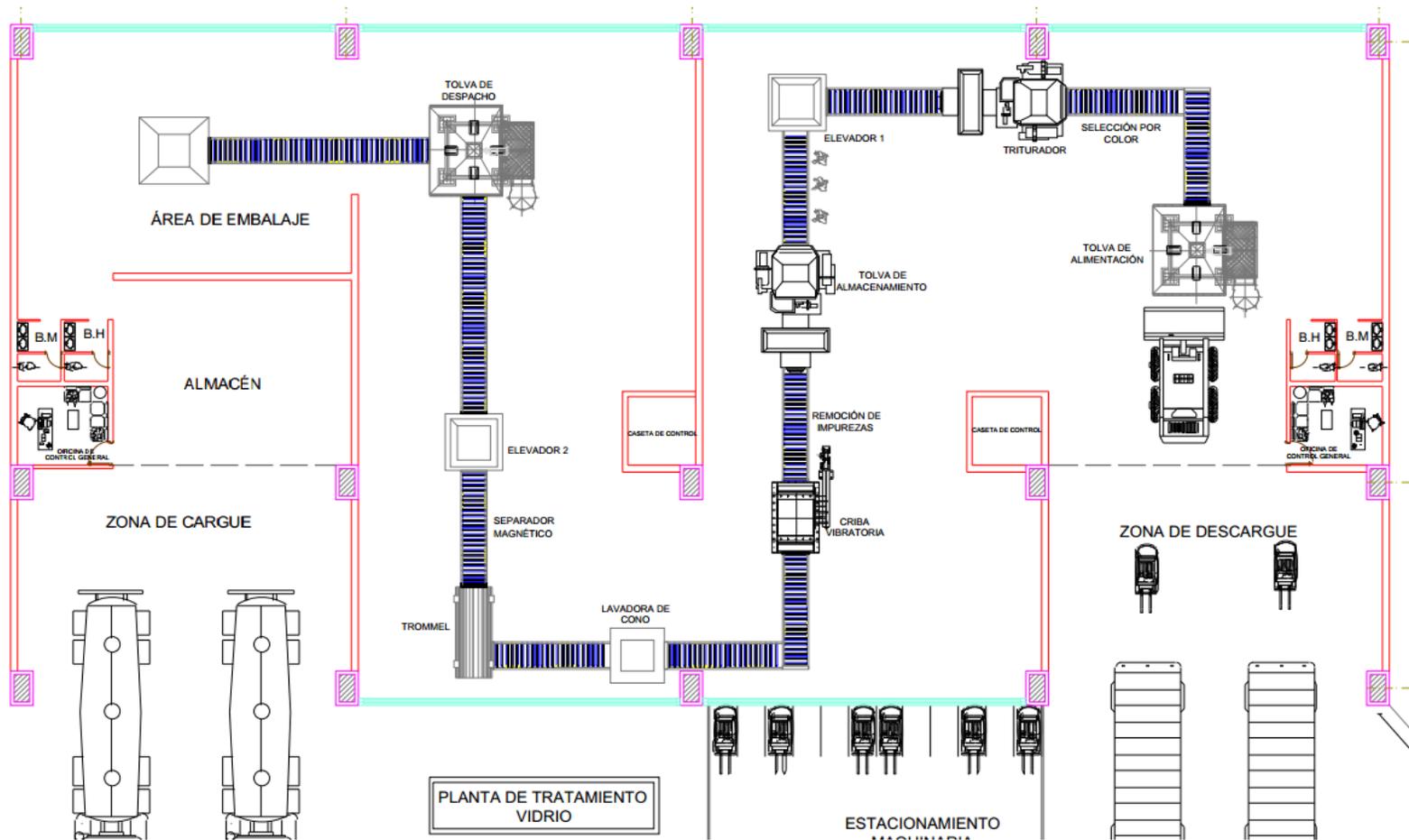


Ilustración 15: Vista de zona de procesamiento de vidrio a detalle: se detalla la disposición del proceso y sus componentes

Fuente: El autor

Zona de procesamiento de cartón y papel

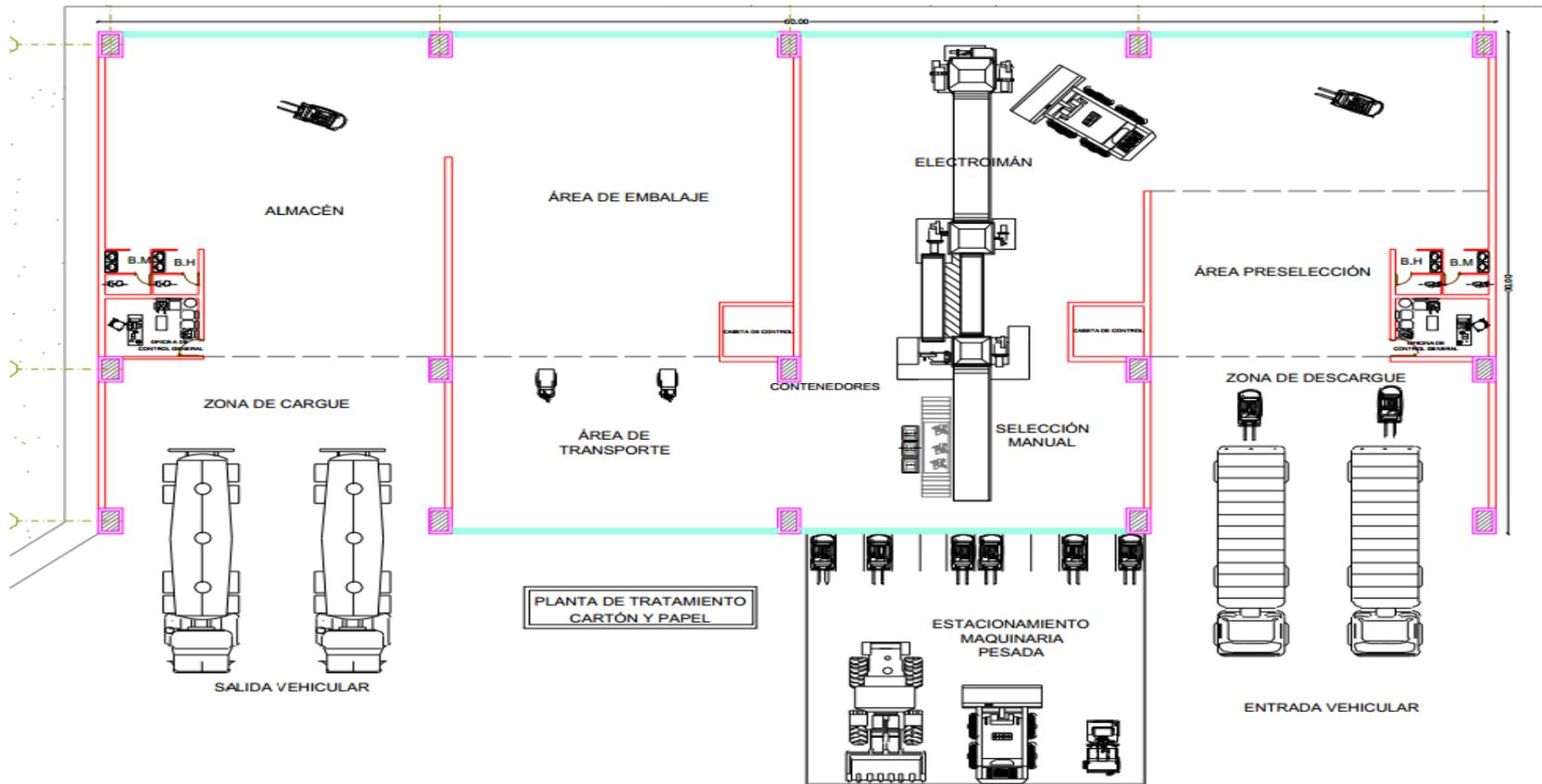


Ilustración 16: Zona de procesamiento de cartón y papel: Zona diseñada para el procesamiento de cartón y papel y proceso desarrollado, en la siguiente página se mostrará una vista a detalle.

Fuente: El autor

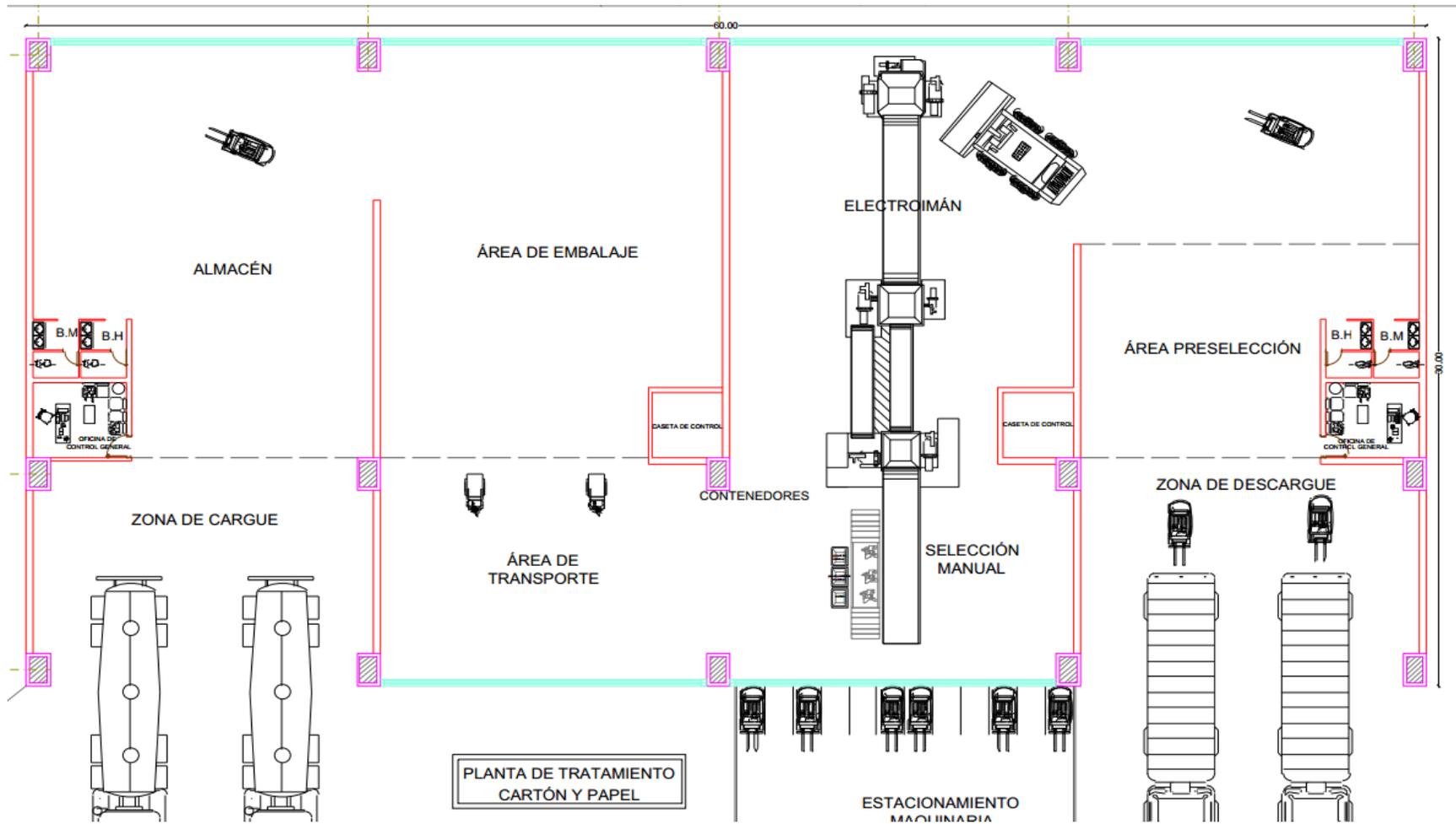


Ilustración 17: Vista de zona de procesamiento de cartón y papel a detalle

Fuente: El autor

Zona de procesamiento de metales

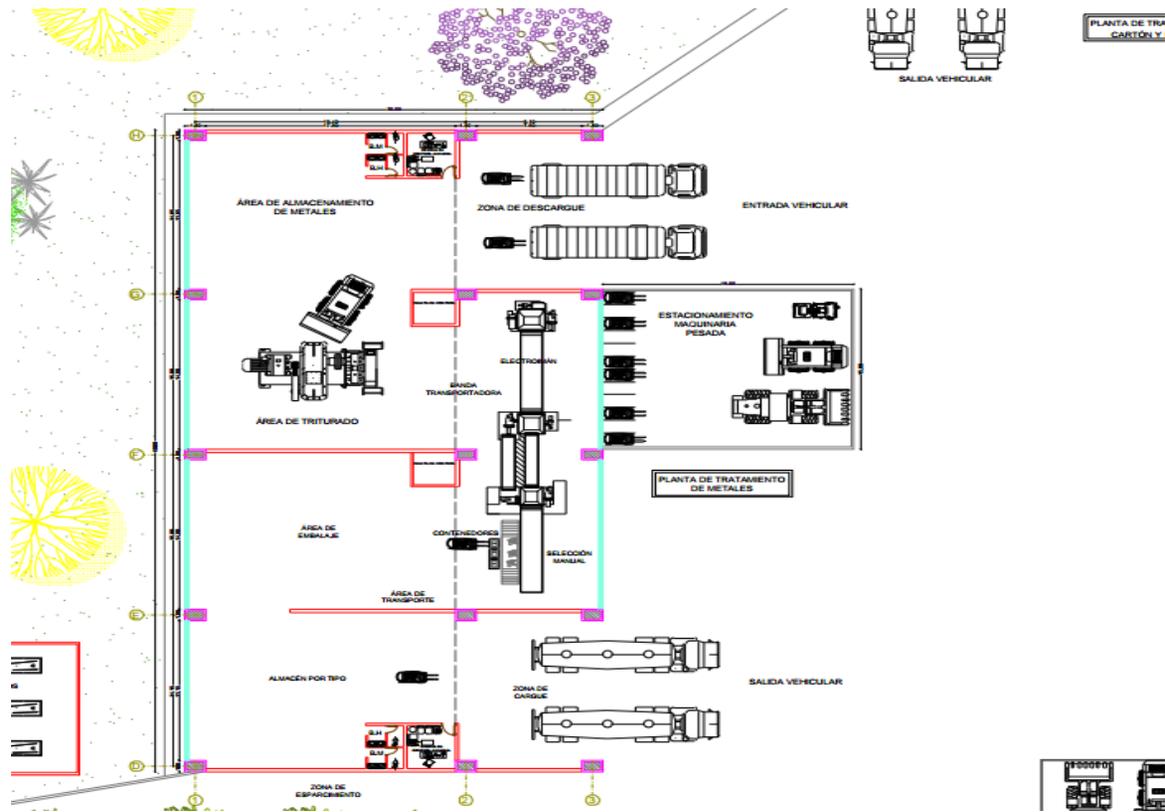


Ilustración 18: Zona de procesamiento de metales: vista general del área, las dos siguientes ilustraciones detallan el área de forma más específica

Fuente: El autor

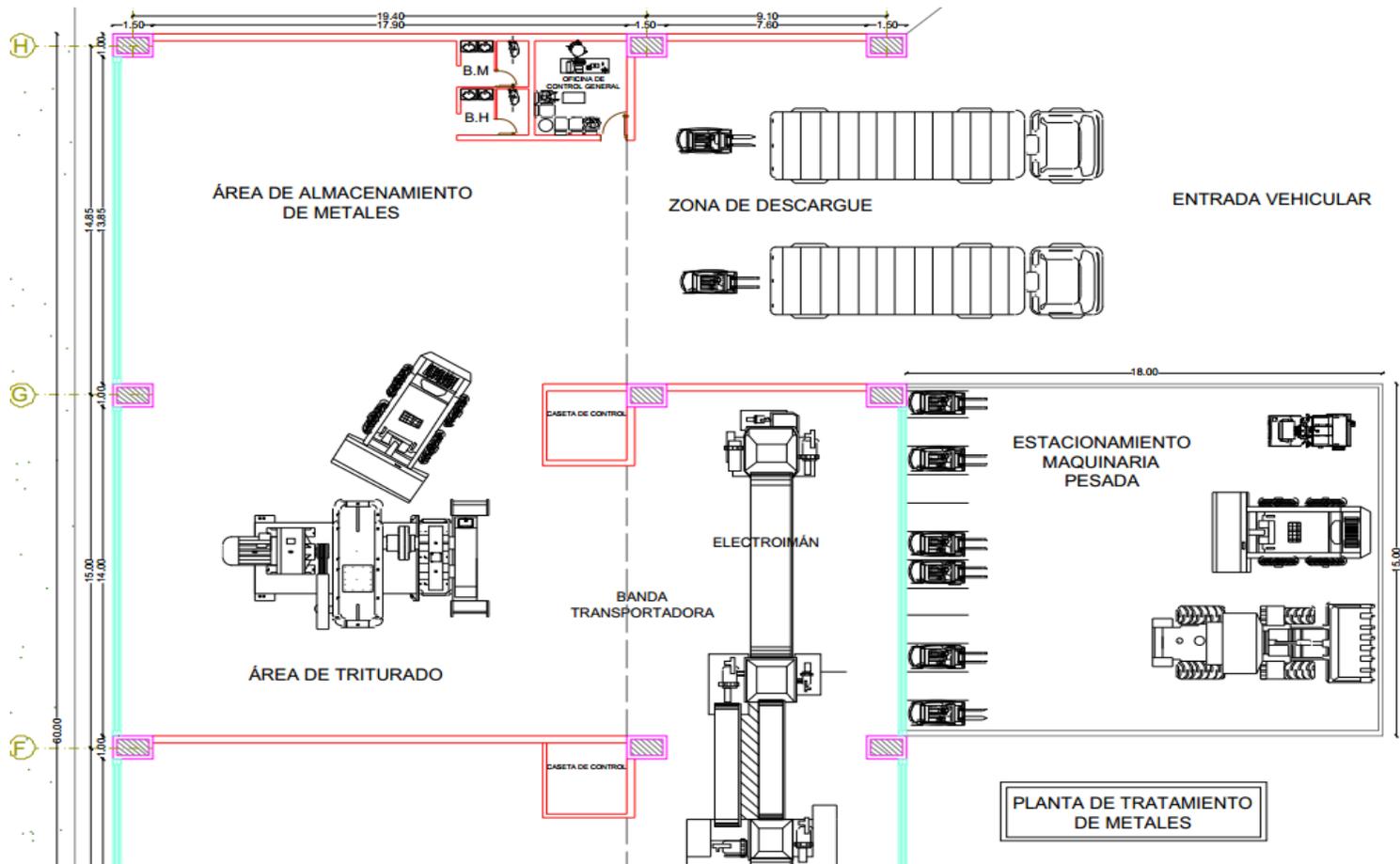


Ilustración 19.1: Vista de zona de procesamiento de metales a detalle

Fuente: El autor

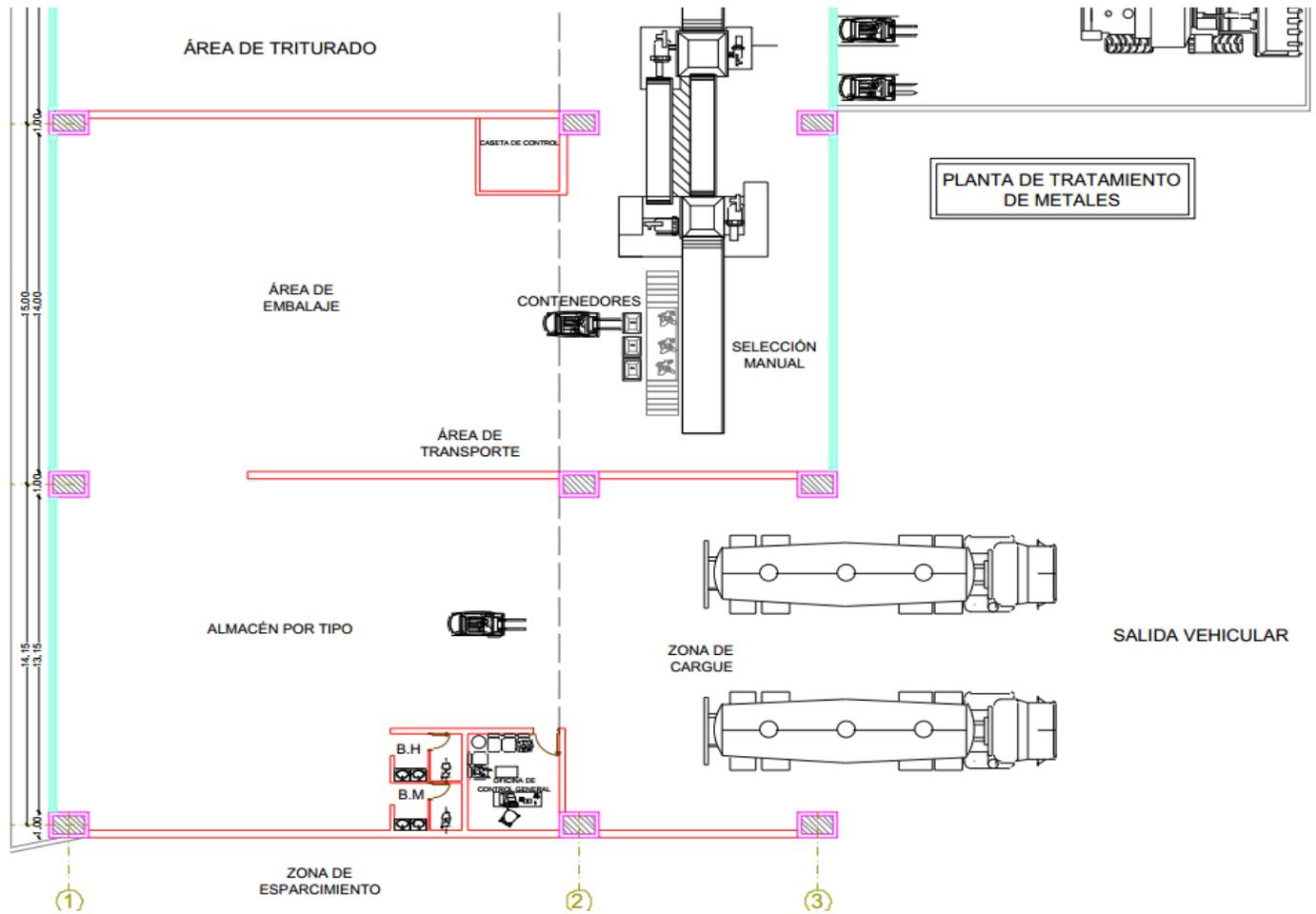


Ilustración 20: Vista de zona de procesamiento de metales a detalle, continuación de ilustración anterior

Fuente: El autor

Zona de procesamiento de residuos orgánicos

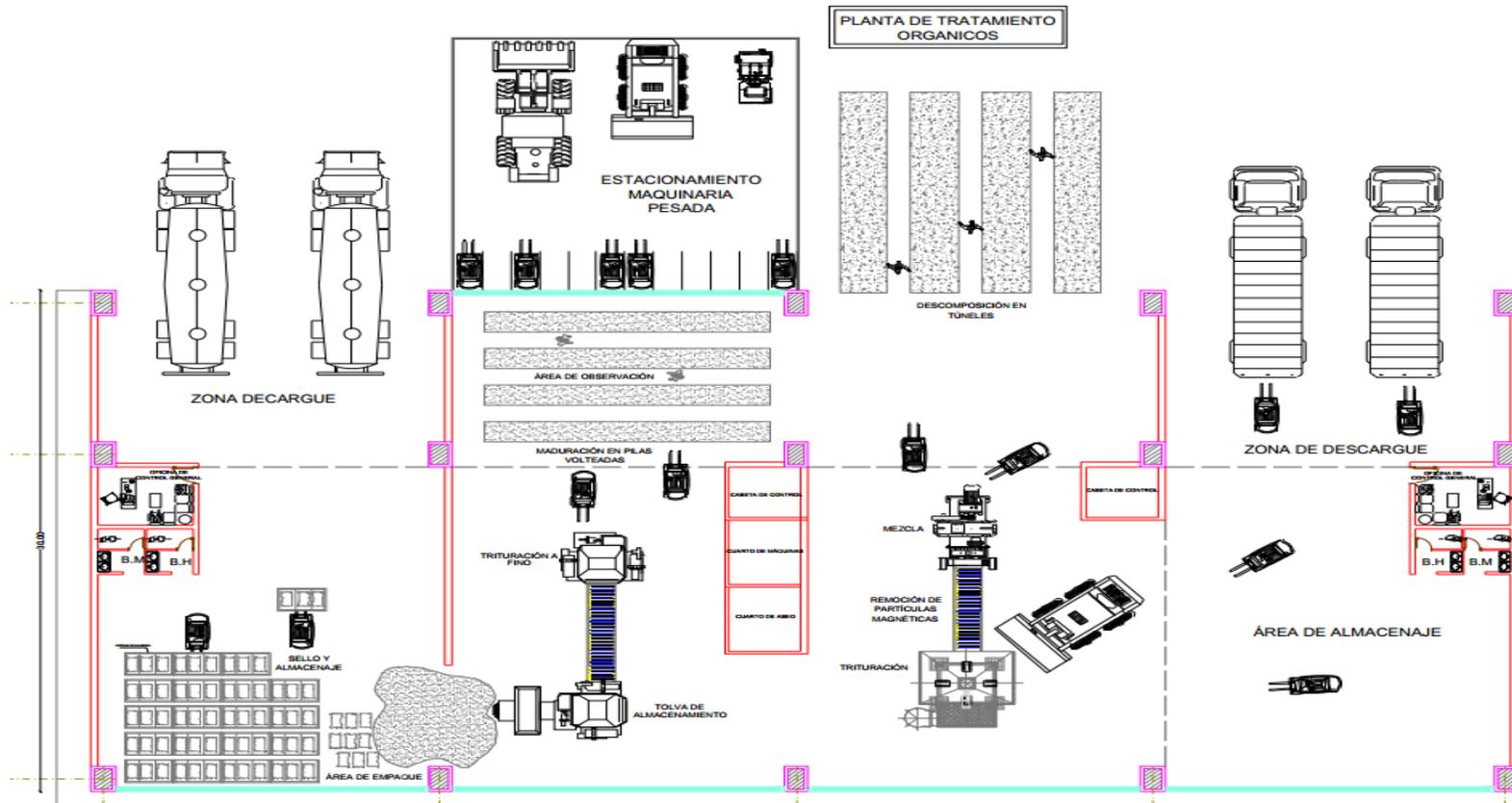


Ilustración 19: Zona de procesamiento de residuos orgánicos: para tener una vista más específica de cada área de la zona, las siguientes dos ilustraciones mostrarán un corte que permitirá observar detalles del diseño.

Fuente: El autor

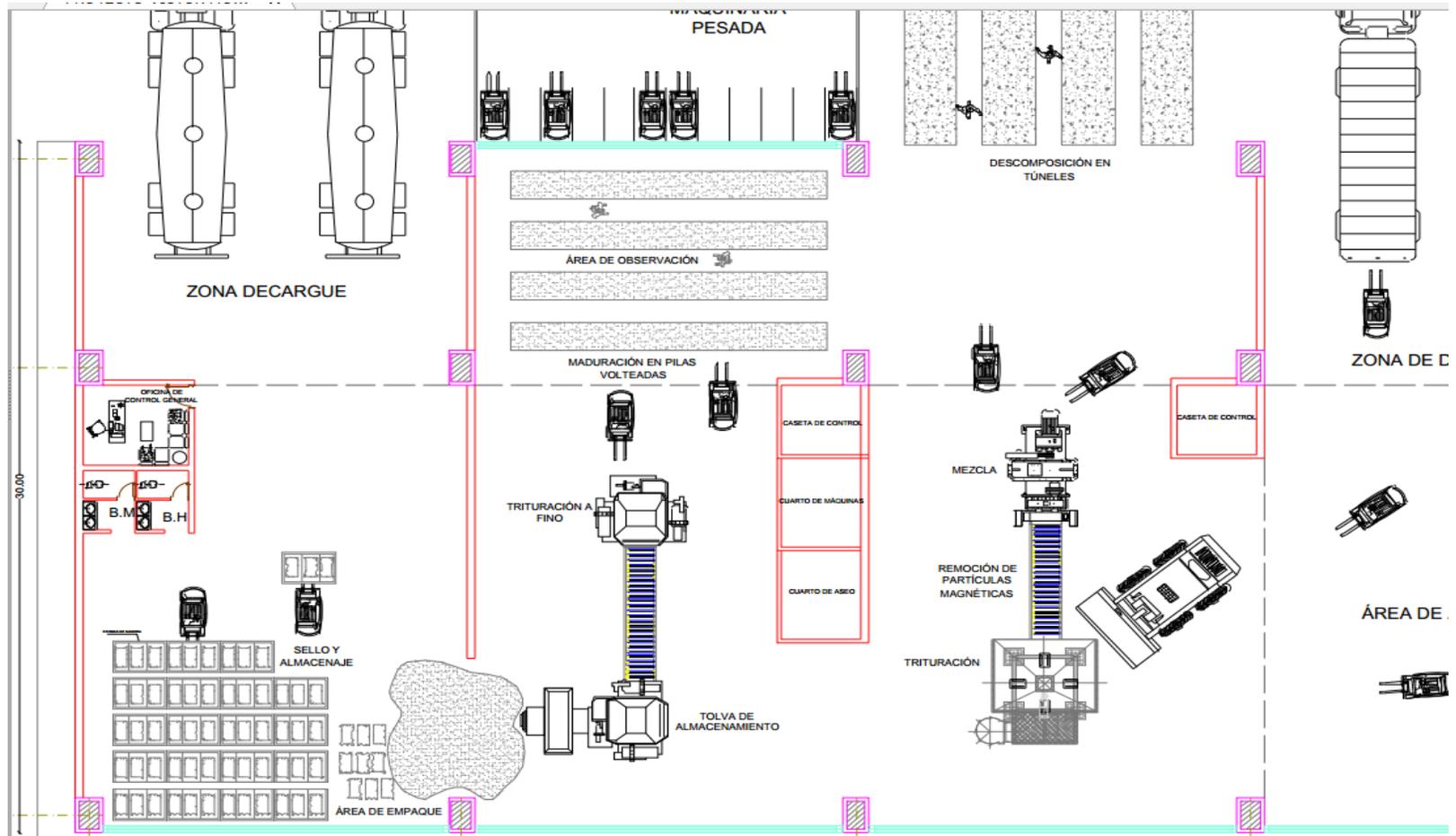


Ilustración 20: Vista de zona de procesamiento de residuos orgánicos a detalle No 1

Fuente: El autor

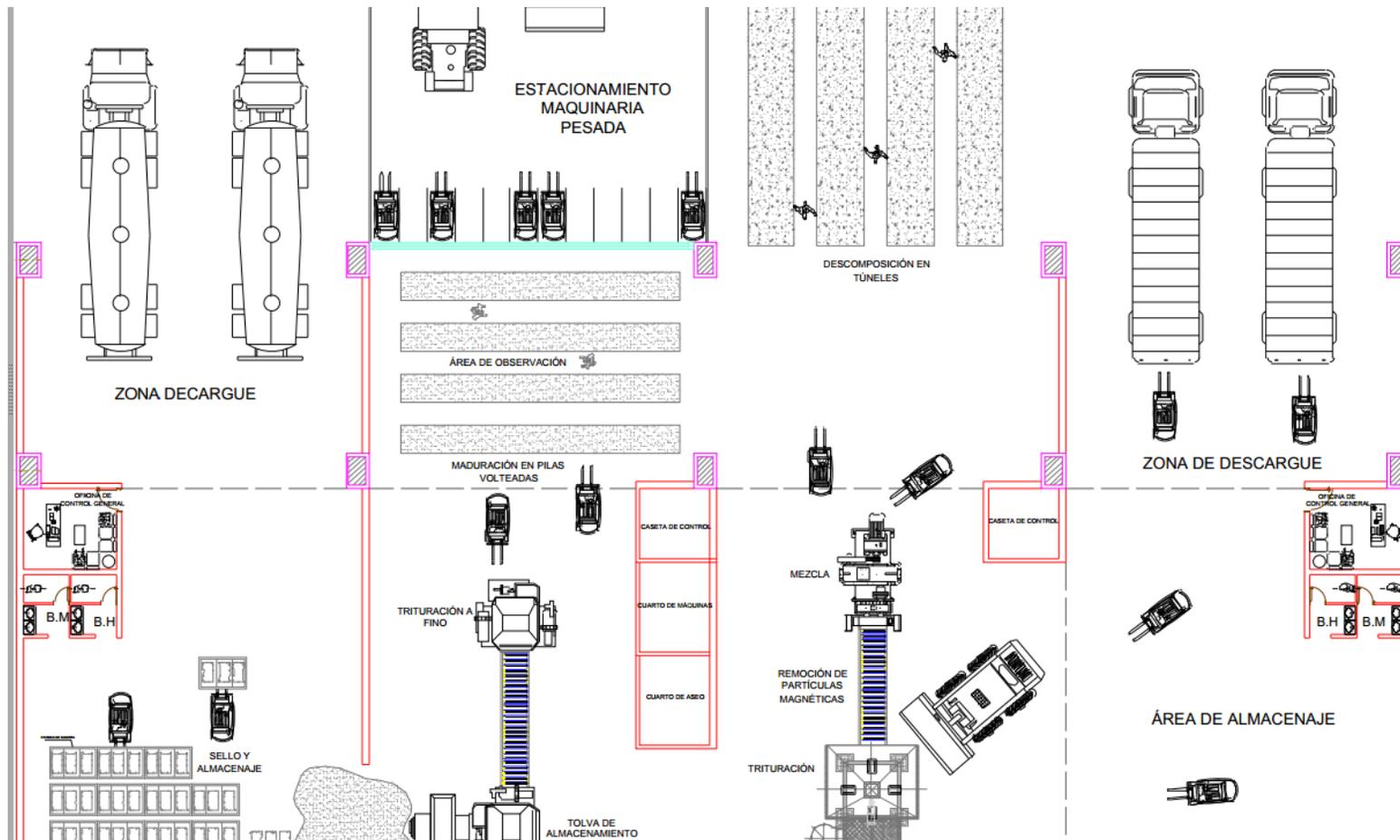


Ilustración 21.1. : Vista de zona de procesamiento de residuos orgánicos a detalle No 2

Fuente: El autor

Zona de procesamiento de neumáticos

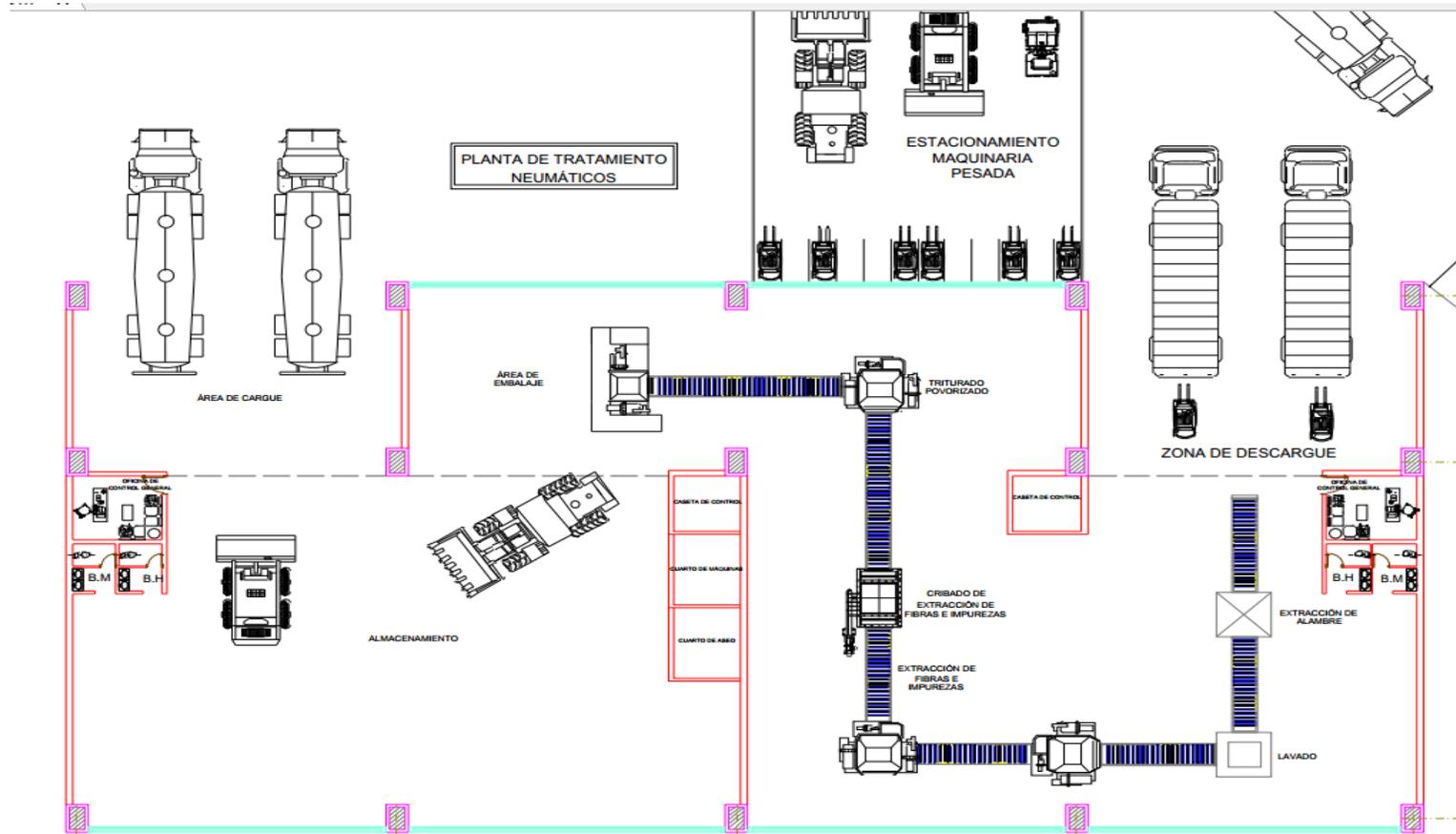


Ilustración 22: Zona de procesamiento de neumáticos

Fuente: El autor

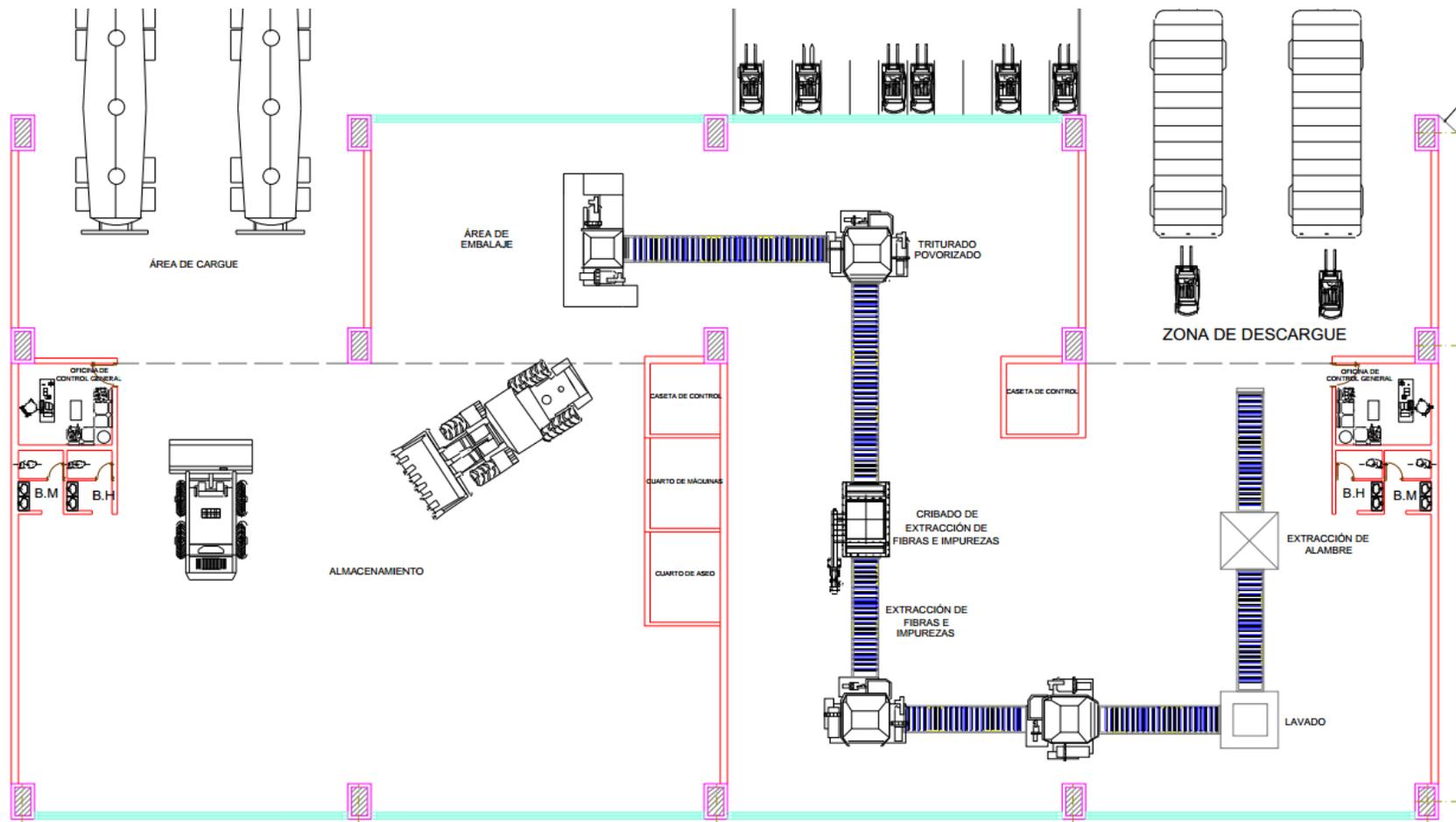


Ilustración 23.1. : Zona de procesamiento de neumáticos a detalle

Fuente: El autor

Tecnologías limpias para la generación de energía eléctrica

Parque eólico y solar

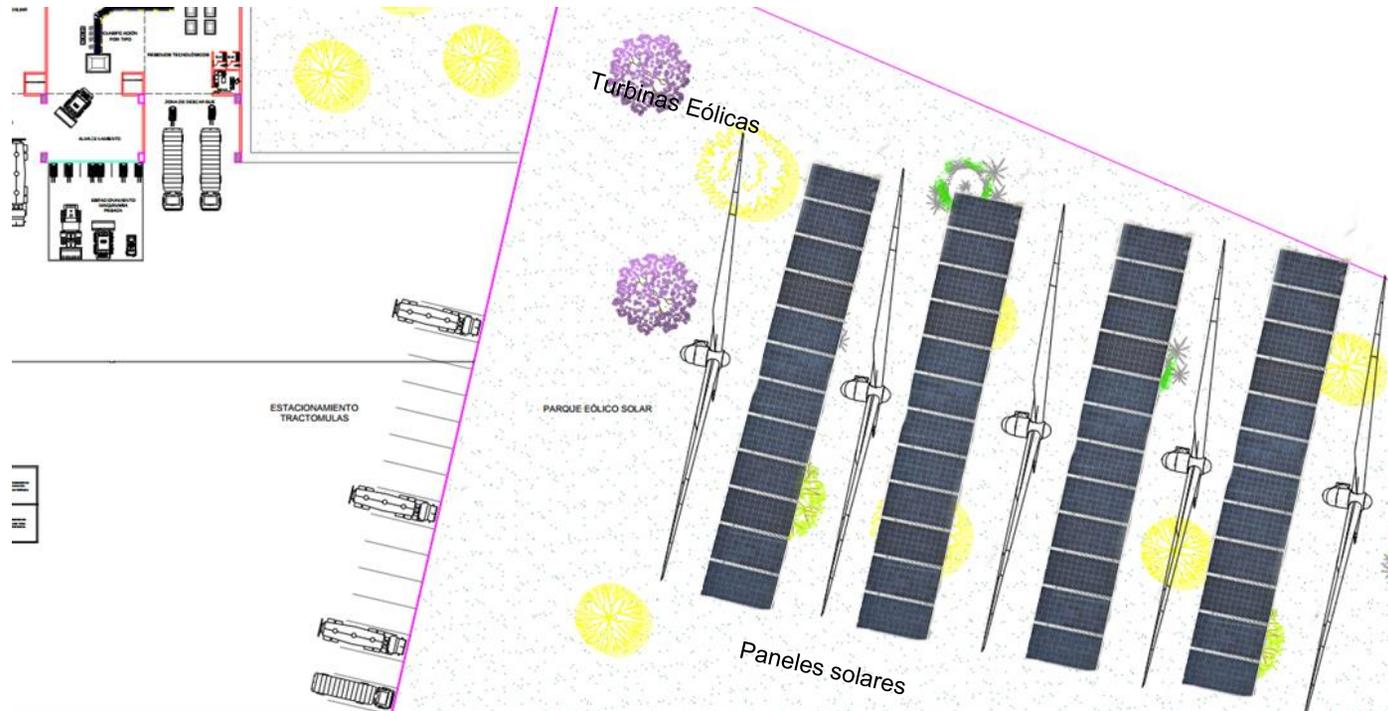


Ilustración 24: Parque eólico y solar: en el área superior derecha de la vista general se puede notar la presencia de un prototipo de parque eólico y solar conjunto que sería el encargado de brindar semi-autonomía energética a la planta.

Fuente: el autor

13.3. Especificaciones de diseño

De acuerdo al diseño anteriormente expuesto se puede detallar la distribución de la totalidad de la planta que comprende: parqueaderos y entrada para empleados, zonas comunes, zona administrativa, entrada para vehículos de carga pesada y la zona industrial en sí, que detalla la disposición de los espacios para cargue y descargue de mercancía en cada espacio destinado al procesamiento de un material específico, especifica el posicionamiento de la maquinaria, equipos y oficinas, y las zonas de almacenamiento de materia prima y producto terminado, dando así detalle de los procesos que se llevarán dentro de la empresa.

Cabe resaltar sobre el diseño de la zona administrativa que es un esquema pensado en la educación permanente de todos los empleados y el crecimiento intelectual de los mismos, es por esto que se ha diseñado una serie de aulas, un auditorio, un centro de educación ambiental para el público en general y una biblioteca para adquisición de conocimiento y consultas por parte del personal de la planta.

Así mismo, el área común se ha diseñado pensando en el bienestar del personal que integra la empresa, por eso en esta zona se han diseñado diversos lugares de esparcimiento y juegos para que los empleados puedan tener espacios de calidad.

Finalmente el ala industrial del complejo se ha descrito a detalle y con un diseño innovador que se integra con el paisaje, para dar armonía, buena disposición de espacios y una mayor comodidad a la hora de realizar los procesos, factores que influyen positivamente en la eficiencia

y productividad de la empresa, del mismo modo se da un modelo de parque eólico y solar para aprovechar al máximo los factores ambientales y tecnologías limpias para la generación de energía eléctrica lo que brindará una semi-autonomía energética a la planta.

Así pues, para tener una representación más detallada y aproximada a la realidad del diseño de planta propuesto, en las páginas siguientes se podrá observar el modelado en sólidos de la planta en cuestión, dicho modelado fue realizado en el software ARCHICAD 21.

14. Modelado virtual de la planta

14.1. Vistas de la infraestructura física de la planta



Ilustración 25: Modelo virtual entrada a empleados: en este modelo se puede detallar la recepción para empleados y al fondo la vista de las zonas comunes.

Fuente: El autor



Ilustración 26: Vista de parqueaderos y al fondo áreas comunes

Fuente: El autor

Vista superior del Área administrativa



Ilustración 27: Vista superior del área administrativa

Fuente: El autor

Vista de la entrada para vehículos recolectores y ala industrial



Ilustración 28: Vista de la entrada para vehículos y ala industrial

Fuente: El autor



Ilustración 29: Vista superior del ala industrial

Fuente: El autor

Zona de parqueo para vehículos del área industrial

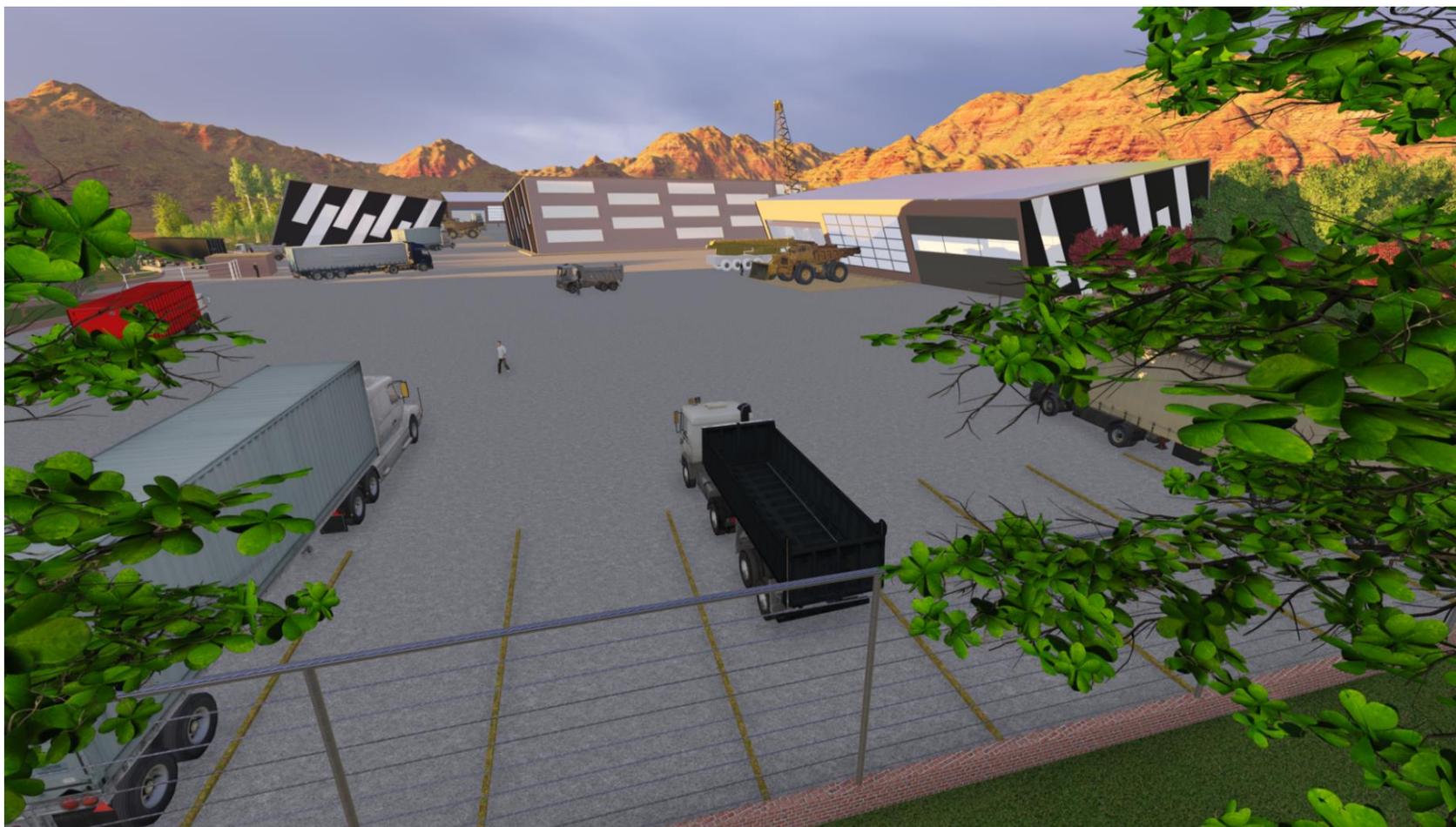


Ilustración 30: Zona de parqueo para vehículos del área industrial y al fondo plantas de procesamiento

Fuente: El autor

Espacios de trabajo



Ilustración 31: Vista de área de trabajo para residuos tecnológicos

Fuente: El autor



Ilustración 32: Ingreso de vehículos a zonas de descargue

Fuente: El autor

15. Procesos de producción

15.1. Identificación y descripción de insumos

Los insumos necesarios que incluye la propuesta se basan en materias primas obtenidas del reciclaje como vidrio, papel, cartón, metal, plástico, residuos orgánicos (alimenticios, podas, etc), neumáticos (caucho) y residuos tecnológicos.

Para los insumos necesarios en el cuidado de la maquinaria se mantendrá asegurado un programa de mantenimiento preventivo periódico para evitar fallas en los procesos. Además se contará con un programa de higiene y seguridad laboral que garantice la limpieza y desinfección en la empresa, empleados y maquinaria, lo que garantizará la salud y el correcto funcionamiento de los procesos, en cuanto al funcionamiento de las diferentes secciones de la planta los equipos necesarios para la realización de los procesos se describen en los siguientes numerales.

15.2. Suministro y equipo

15.2.1. Tecnología utilizada y maquinaria.

Para este proyecto, se contará con la mejor tecnología disponible en el procesamiento de materiales reciclables, así pues, a continuación se describe los requerimientos básicos proyectados para su elaboración.

15.2.2. Maquinaria

A continuación se muestra la lista de requisiciones por proceso en este aspecto:

Proceso recolección selectiva

Maquinaria y equipo de producción

Detalle	Cantidad
Vehículo compartimentarizado	4
Bascula para pesaje de camiones	2
Volco	2

Tabla 10: Maquinaria necesaria para el proceso de recolección selectiva

Fuente: el autor

Proceso de producción metales

Maquinaria y equipo de producción

Detalle	Cantidad
Mini cargador	2
Vehículo elevador de carga	1
trituradora	1
Banda transportadora	1
Electroimán	1
embaladora	1

Tabla 11: Maquinaria necesaria para el proceso de metales

Fuente: el autor

Proceso papel y cartón

Maquinaria y equipo de producción

Detalle	Cantidad
Mini cargador	2
Vehículo elevador de carga	1
Tolva de alimentación	1
Banda transportadora	1
Electroimán	1
embaladora	1

Tabla 12: Maquinaria necesaria para el proceso de papel y cartón

Fuente: el autor

Proceso vidrio

Maquinaria y equipo de producción

Detalle	Cantidad
Tolva de alimentación	1
Banda transportadora	9
Electroimán	2
Trituradora	1
Tolva de almacenamiento	1
Tolva de despacho	1
elevador	2
Criba vibratoria	1
Lavadora de cono	1
trommel	1

Tabla 13: Maquinaria necesaria para el proceso de vidrio

Fuente: el autor

Proceso plástico

Maquinaria y equipo de producción

Detalle	Cantidad
Mini cargador	1
Vehículo elevador de carga	1
Tolva de alimentación	1
Banda transportadora	9
Electroimán	2
Removedor de tapas y etiquetas	1
desfibradora	2
trommel	2
Lavadora	2
aglutinadora	2
peletizadora	1

Tabla 14: Maquinaria necesaria para el proceso de plástico

Fuente: el autor

Proceso para neumáticos

Maquinaria y equipo de producción

Detalle	Cantidad
Vehículo elevador de carga	2
Banda transportadora	7
Electroimán	2
Extractor de alambre	1
trituradora	3
Criba vibratoria	1
Lavador de neumáticos	2
Tolva de almacenamiento y despacho	1

Tabla 15: Maquinaria necesaria para el proceso de neumáticos

Fuente: el autor

Proceso residuos orgánicos

Maquinaria y equipo de producción

Detalle	Cantidad
mini cargador	2
Vehículo elevador de carga	1
Banda transportadora	2
Electroimán	2
trituradora	2
Mezcladora de materia orgánica	2
Tolva de almacenamiento y despacho	1

Tabla 16: Maquinaria necesaria para el proceso de residuos orgánicos

Fuente: el autor

Proceso residuos tecnológicos

Maquinaria y equipo de producción

Detalle	Cantidad
mini cargador	1
Vehículo elevador de carga	1
Banda transportadora	2

Tabla 17: Maquinaria necesaria para el proceso de residuos tecnológicos

Fuente: el autor

15.2.3. Muebles y equipos de administración

Detalle	Cantidad
Escritorio Tipo gerencia	1
Mesa de juntas	1
Sillas operarias	40
Archivador	3
Extintor	50
Tablero acrílico	2
Muebles área administrativa	80
Computador	8
Proyector	4
Impresora	3

Tabla 18: Muebles y equipos de administración para el área administrativa

Fuente: el autor

15.3. Tecnologías para la captación de energía solar, térmica y eólica

En la actualidad los conocimientos y técnicas han progresado en el campo de las tecnologías renovables de manera acelerada haciendo estas más eficientes y accesibles al público, del mismo modo, se puede sin duda afirmar que las tecnologías de generación y acumulación de energía eléctrica o térmica más destacadas, eficientes y viables para la gran mayoría de la población y empresas son la energía Fotovoltaica, heliotermia y eólica, sabiendo también que los modernos generadores funcionan y generan energía así sea con baja radiación solar o vientos tenues, se ha decidido incluir dentro del prototipo de la planta estos tres tipos de generadores para lograr una semi-autonomía energética.

De esta manera se pretende como mínimo contar con potencia de captación y en el caso de energía térmica para calefacción las siguientes cantidades:

Sistema fotovoltaico capacidad de captación de	5000 Watts
Sistema de captación de energía eólica	5000 Watts
Sistema helio térmico para calefacción de agua	3000 Litros

16. Diagrama de flujo general

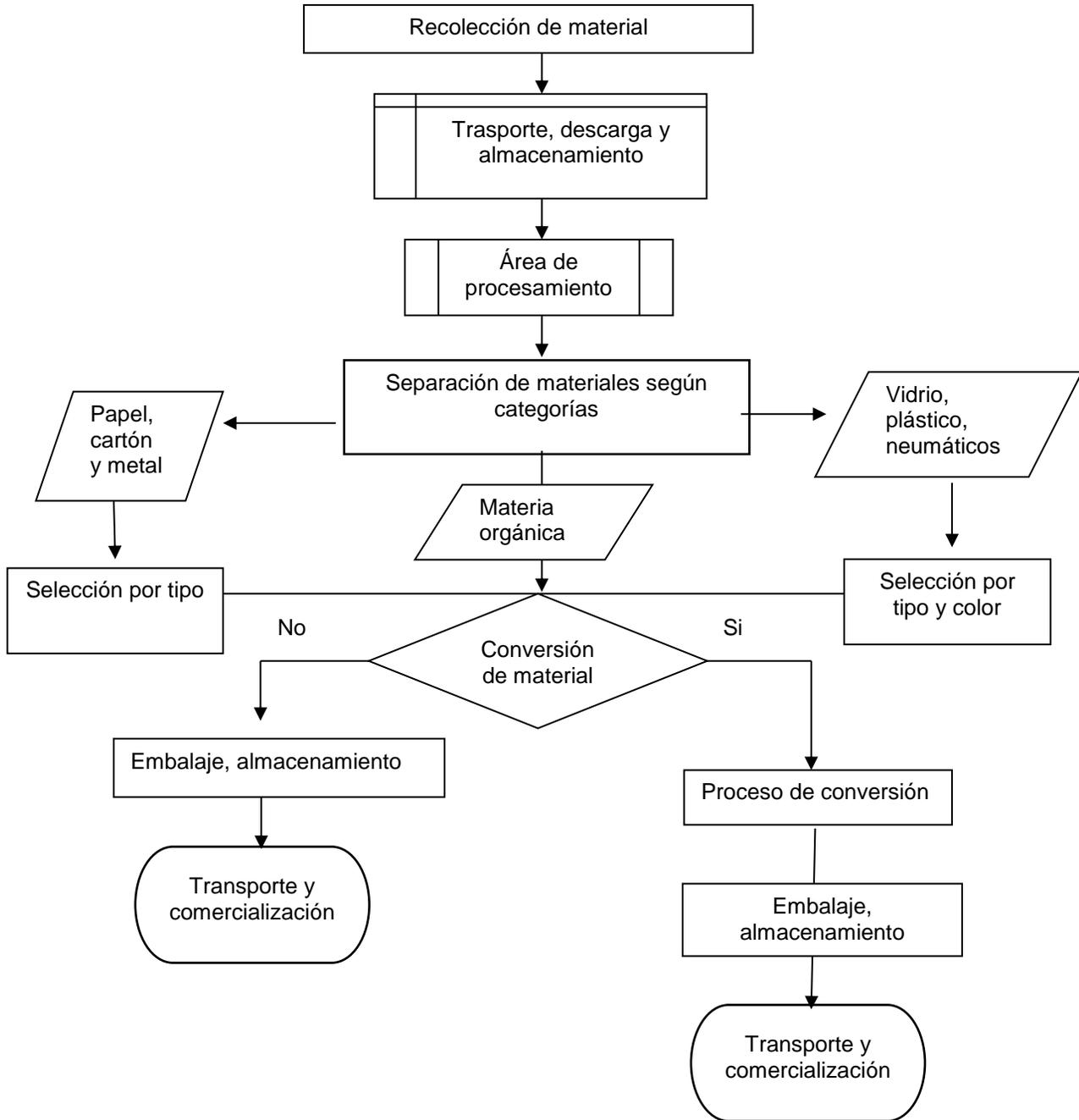


Ilustración 33: Diagrama de flujo general de los procesos de producción

Fuente: El autor

17. Descripción de los procesos de producción

Como primer proceso a llevar a cabo se tiene la recolección selectiva en acera, donde se hace uso de un camión compartimentarizado para llevar a cabo la recolección, cabe mencionar que el material que recolecta el camión debe estar previamente seleccionado en la fuente, del mismo modo este no se encargará de hacer recolección de materiales peligrosos o no aprovechables, ya que la planta no tiene dentro de sus procesos el tratamiento de estos residuos, así que estos serán llevados a disposición final en relleno sanitario por parte de la empresa prestadora de servicios públicos de la ciudad.

Así pues, el vehículo destinado a la recolección de residuos aprovechables se encargará principalmente de la recolección de materiales como: papel y cartón, vidrio, plásticos, residuos tecnológicos, metales y materia orgánica, con un compartimento destinado para cada residuo, en la siguiente ilustración se muestra un ejemplo de cómo podrían estar dispuestos los compartimentos en el vehículo de recolección selectiva:

Vehículo dividido en compartimentos⁵

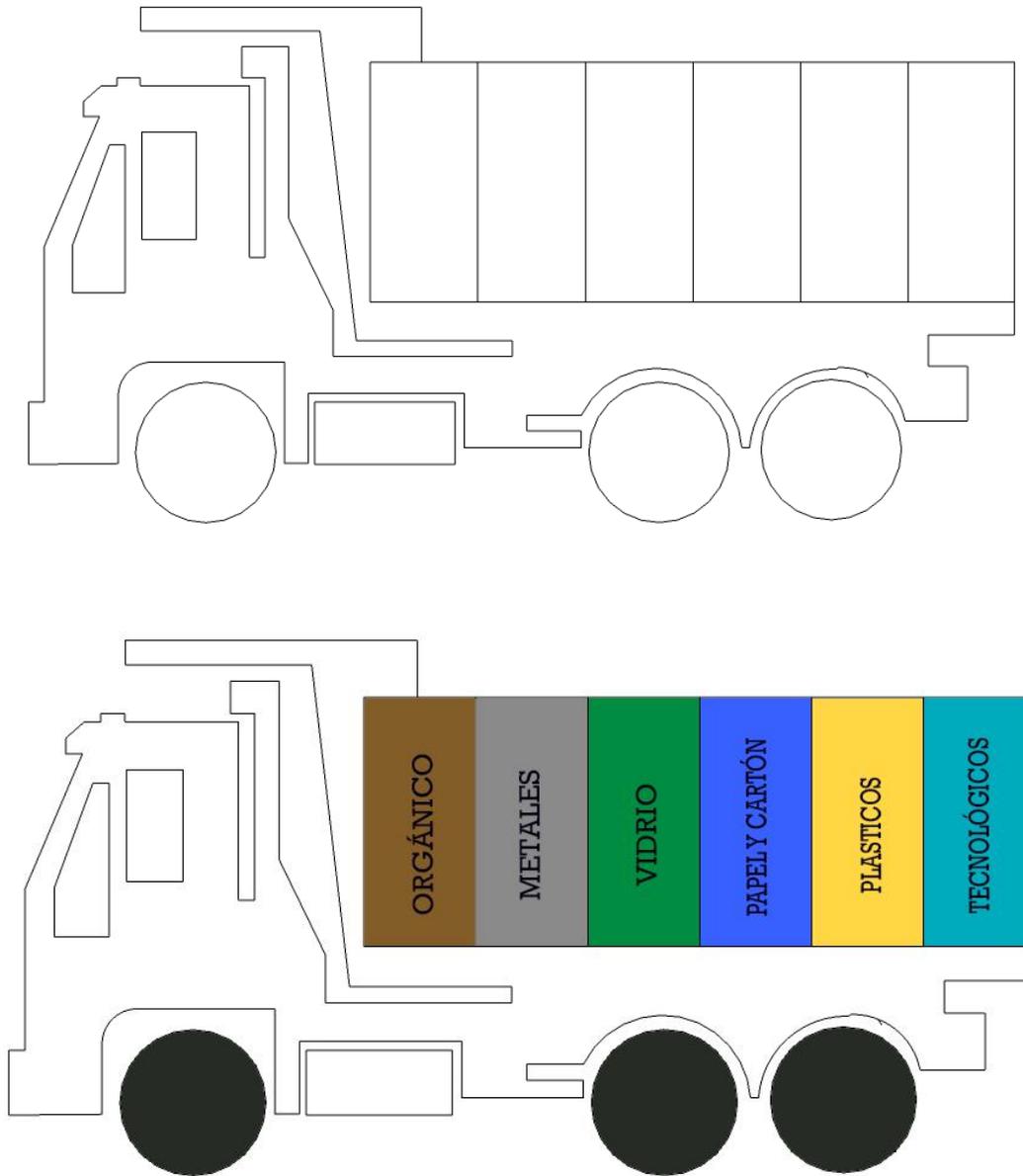


Ilustración 34: Vehículo dividido en compartimentos

Fuente: El autor

⁵ La ilustración pretende servir como ejemplo para dar una idea de cómo puede lucir o diseñarse un vehículo dividido en compartimentos para la recolección de residuos urbanos reutilizables destinados al transporte para su reprocesamiento en planta.

El vehículo compartimentarizado estará destinado a la recolección selectiva de material aprovechable, en acera, este se encargará de transportar los principales materiales reciclables que se producen en los hogares y conducirlos a la planta de reciclaje, el vehículo facilitará el transporte de los residuos y posterior descarga en la planta, ya que cada compartimento puede ser vaciado en el área específica entrando por la zona de descargue; vaciando el compartimento correspondiente y luego dirigirse a la siguiente área, hasta que todo el material transportado sea dejado en el área correspondiente, permitiendo así ahorrar tiempo y esfuerzo en procesos alternos.

17.1. Diagramas de flujo específicos por proceso de producción

17.1.1. Proceso de recolección selectiva

El proceso de recolección inicia con la recolección selectiva en acera, donde cada material es destinado a un compartimento específico del vehículo destinado para tal fin, la recolección se llevará a cabo por operarios los cuales únicamente harán la recepción de material aprovechable, entendido como: papel, cartón, plástico y envases, residuos orgánicos, vidrio, metales y residuos tecnológicos, los residuos no aprovechables serán llevados a disposición final en relleno sanitario, labor de la cual se encargará la empresa prestadora de servicios públicos de la ciudad objeto, después de recolectados los residuos estos serán transportados a la planta integral de recuperación como se muestra en el siguiente diagrama.

Recolección selectiva

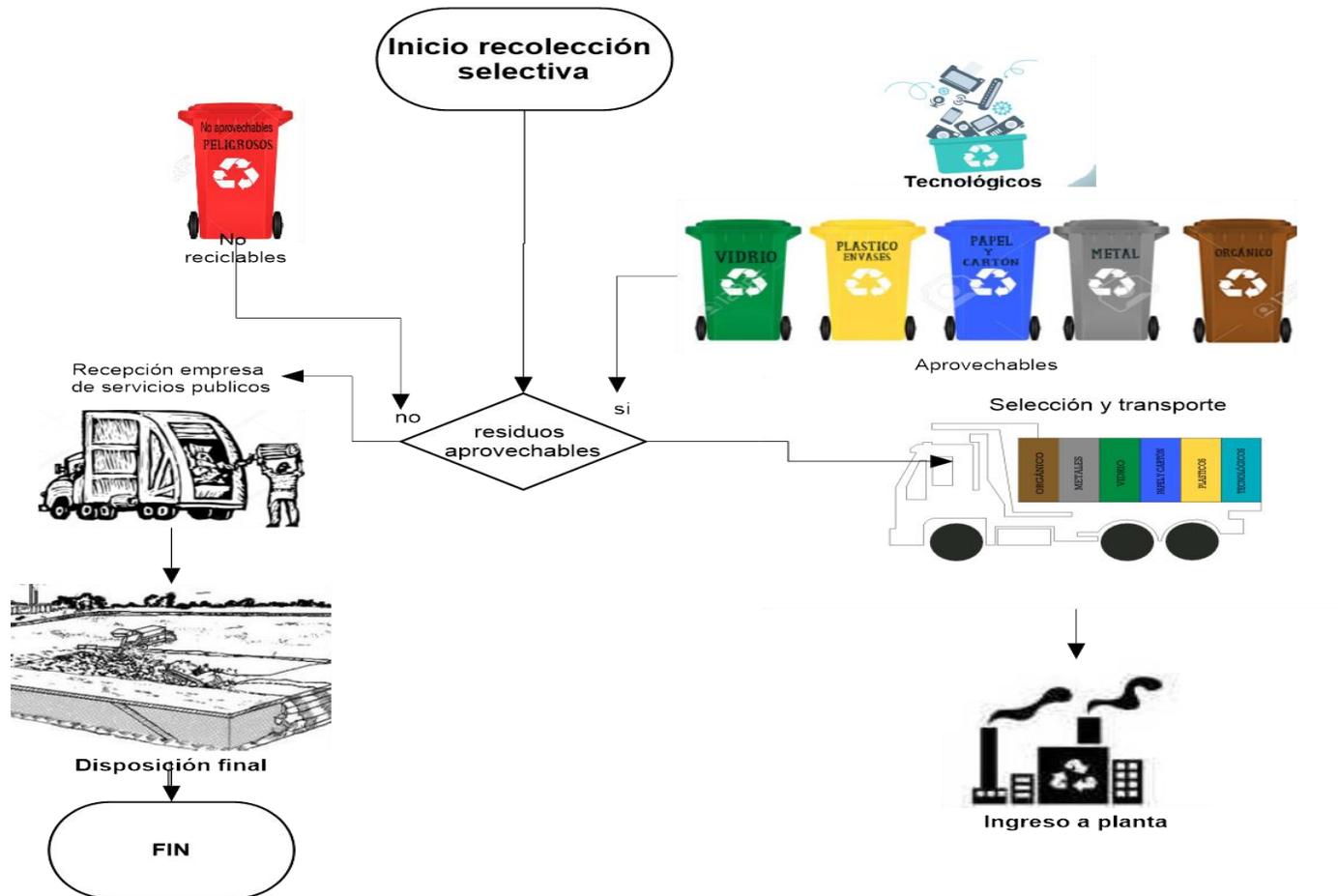


Ilustración 35: Diagrama de proceso de recolección selectiva: es la primera parte del proceso integral, que inicia con la recolección de residuos separados en fuente

Fuente: el autor

17.1.2. Proceso de recepción en planta

Llegado el vehículo a la planta este ingresará por una zona de pesado donde una báscula determinará su masa, posteriormente ingresará a las zonas de descargue y almacenamiento de material destinadas para cada tipo de residuo, vaciará los compartimentos en cada zona, pasará a revisión previa a su partida y se trasladará nuevamente a recolección de ser necesario, si no es necesario este se aseará y se guardará en la zona de almacenaje de camiones, así mismo existe un proceso que se lleva paralelamente con la recolección selectiva y este es la recepción de neumáticos, para la cual se tiene destinado un camión por parte de la planta y al mismo tiempo se recibirá por parte de las empresas o entidades que deseen transportarlos hasta allí, el proceso de recepción de neumáticos al igual que el de residuos domiciliarios inicia con el paso del camión por la báscula, y posterior ingreso a zona de almacenaje destinada para neumáticos, allí se descargarán y el camión pasará un revisión previa si pertenece a la empresa y llevado a zona de parqueo o saldrá a recolección nuevamente.

A continuación, se puede observar en la ilustración 37 un diagrama de la estructura del proceso de ingreso a la planta y en la ilustración 38 el diagrama de flujo del proceso de producción:

Diagrama de ingreso a planta y recorrido interno para vehículos

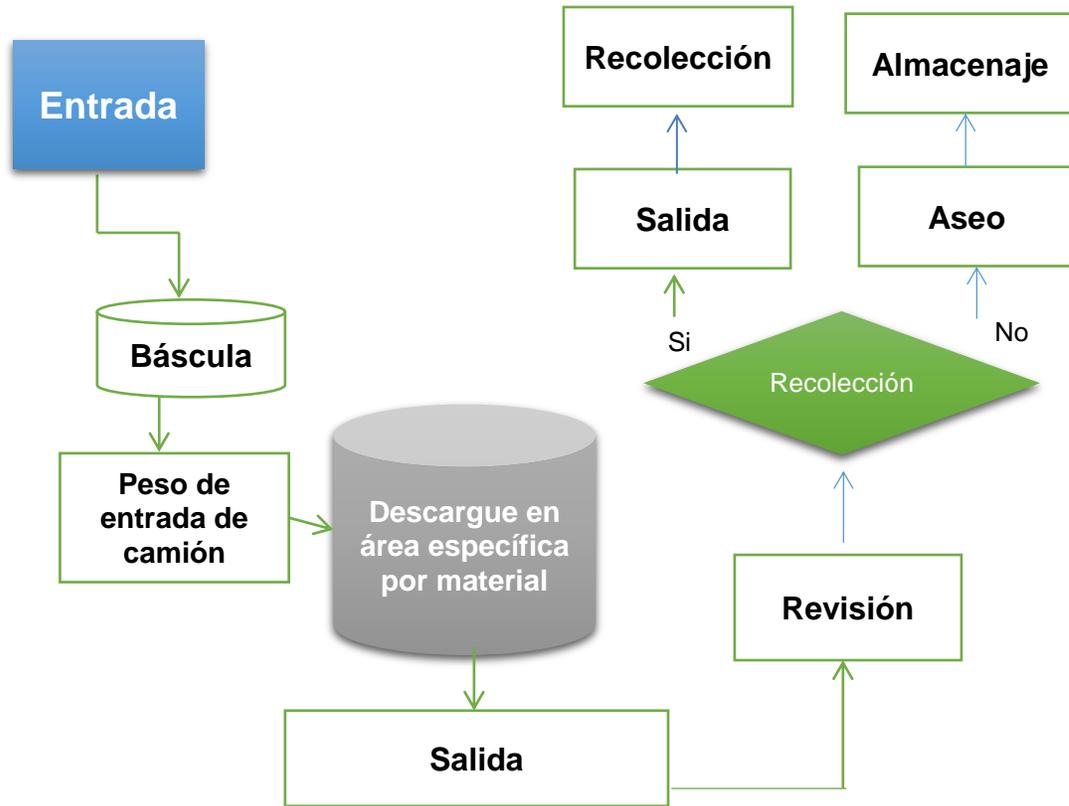
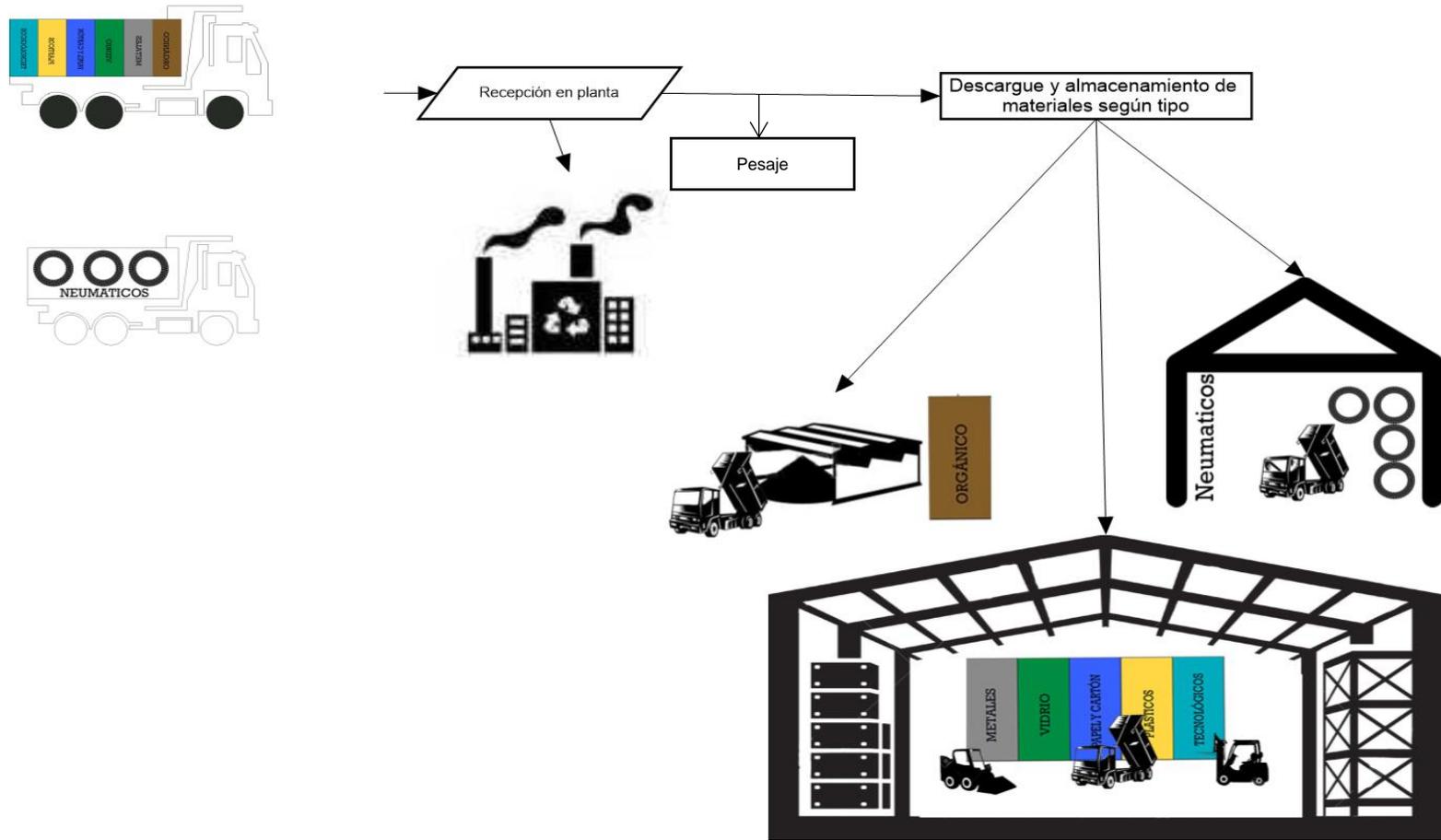


Ilustración 36: Diagrama de estructura del proceso de ingreso a la planta para vehículos

Fuente: El autor

Recepción en planta



.Ilustración 37: Diagrama de proceso de recepción en planta y descargué de materia prima

Fuente: el autor

17.1.3. Proceso para metales

El proceso de los metales inicia en la zona de almacenaje, de donde son transportados a una trituradora con un mini cargador, estos son triturados en fragmentos más pequeños y más o menos homogéneos, de donde pasan a una cinta transportadora allí se encuentran electroimanes encargados de retirar todo el metal magnético y descargarlo en la zona de almacenaje destinada para este, en cuanto a los materiales no magnéticos, estos seguirán el trayecto por la cinta transportadora, donde operarios ubicados en los lados se encargaran de hacer la selección manual de los metales restantes, estos serán descargados en la zona de almacenamiento ubicada en la parte inferior de donde se ubican los operarios, de allí el metal es transportado a la zona de compresión o embalaje, allí es embalado y pesado según el tipo de metal, luego este es transportado a la zona de almacenaje de metales y almacenado por tipo, en el almacén esperará hasta que sea vendido, para finalmente ser cargado y transportado.

A continuación, se puede observar en la ilustración 39 el diagrama de la estructura del proceso para metales y en la ilustración 40 el diagrama de flujo del proceso de producción:

Diagrama de estructura del proceso para metales

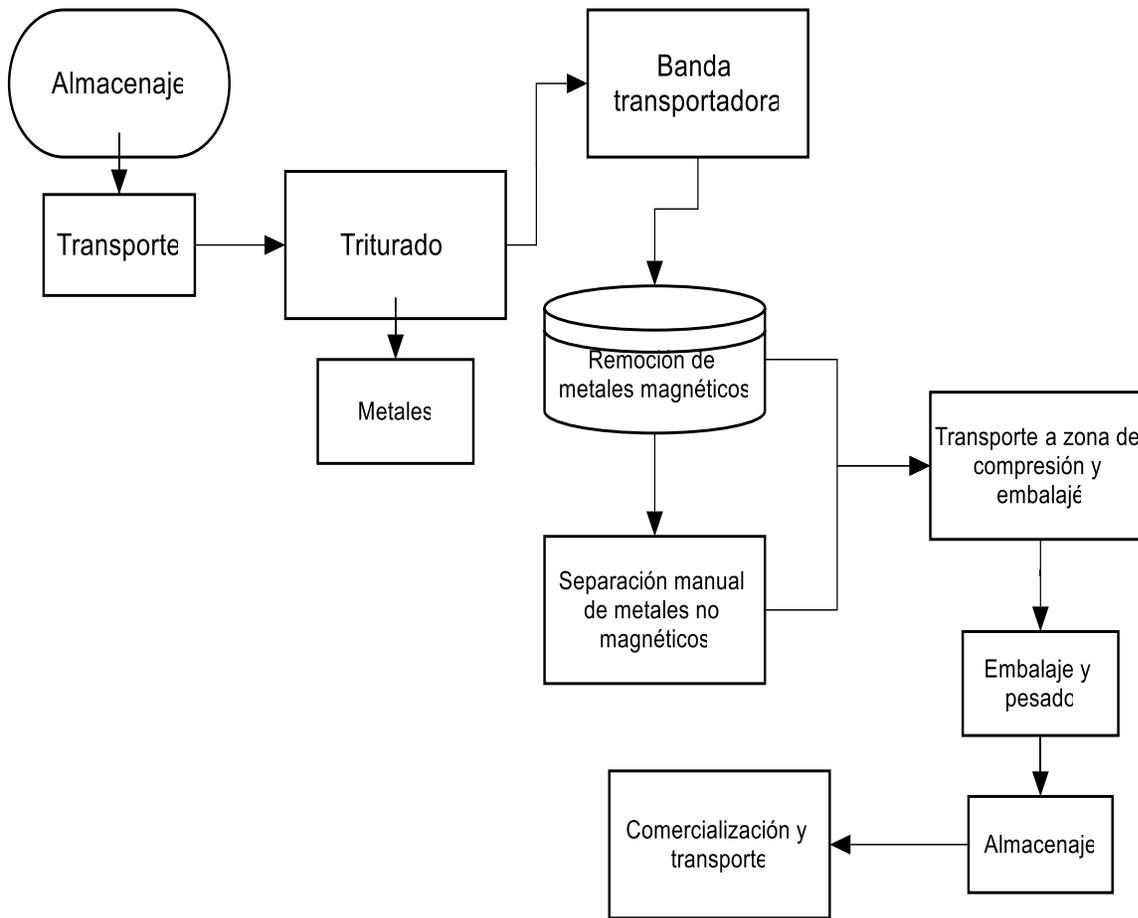


Ilustración 38: Diagrama de estructura del proceso para metales

Fuente: El autor

Proceso metales

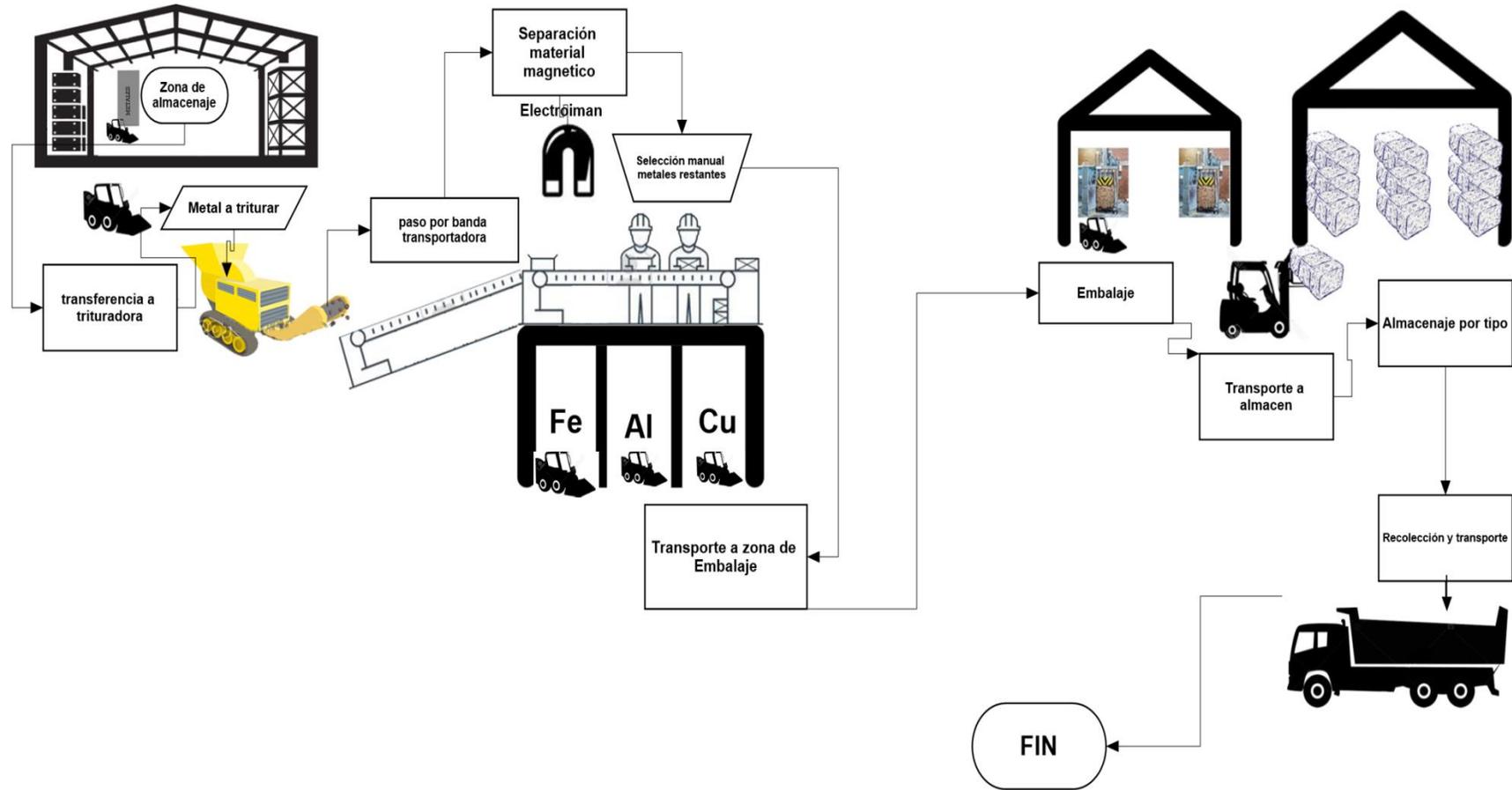


Ilustración 39: Diagrama de proceso de producción para metales

Fuente: el autor

17.1.4. Proceso para cartón y papel

Después de ser descargado en la zona de almacenaje, el papel y cartón mezclado, este se transporta en menores cantidades a un área de preselección manual donde es retirado el cartón de mayor tamaño, también se retira el papel manchado o contaminado con grasas y aceites ya que este no hará parte del proceso y será llevado a disposición final, luego de la pre- selección, el papel sobrante y acto se lleva a una tolva de alimentación, que se encarga de conducirlo ordenadamente por una banda transportadora donde como primer paso espera un electroimán para retirar posibles fragmentos de metales que se hayan colado en el papel, más adelante esperan operarios para una selección manual del papel según color y tipo, para esto se establece la siguiente forma de clasificación: papel Blanco, papel de colores, papel periódico, revistas y cartón, también se dispondrá un compartimento para el papel no aprovechable que haya pasado de la pre-selección, para el caso del papel aprovechable será transportado a zona de embalaje según clasificación, este será embalado y transportado a la zona de almacenaje del papel según tipo, hasta su comercialización y transporte.

A continuación, se puede observar en la ilustración 41 el diagrama de la estructura del proceso para papel y cartón y en la ilustración 42 el diagrama de flujo del proceso de producción:

Diagrama de estructura del proceso de producción para papel y cartón

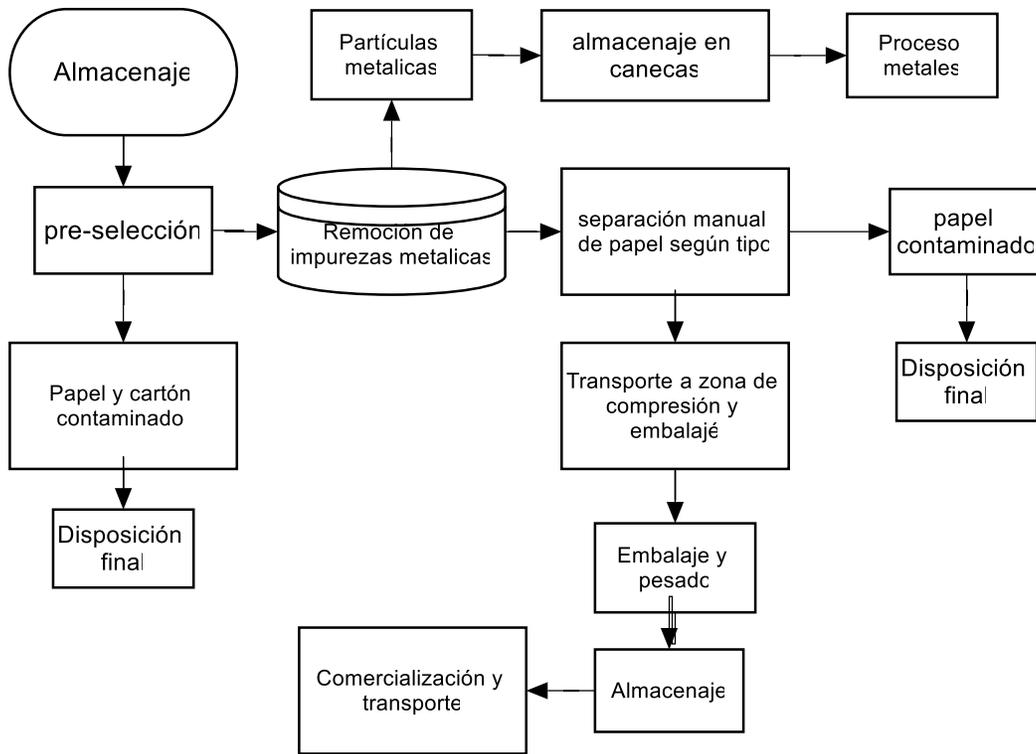


Ilustración 40: Diagrama de estructura del proceso papel y cartón

Fuente: El autor

Proceso cartón y papel

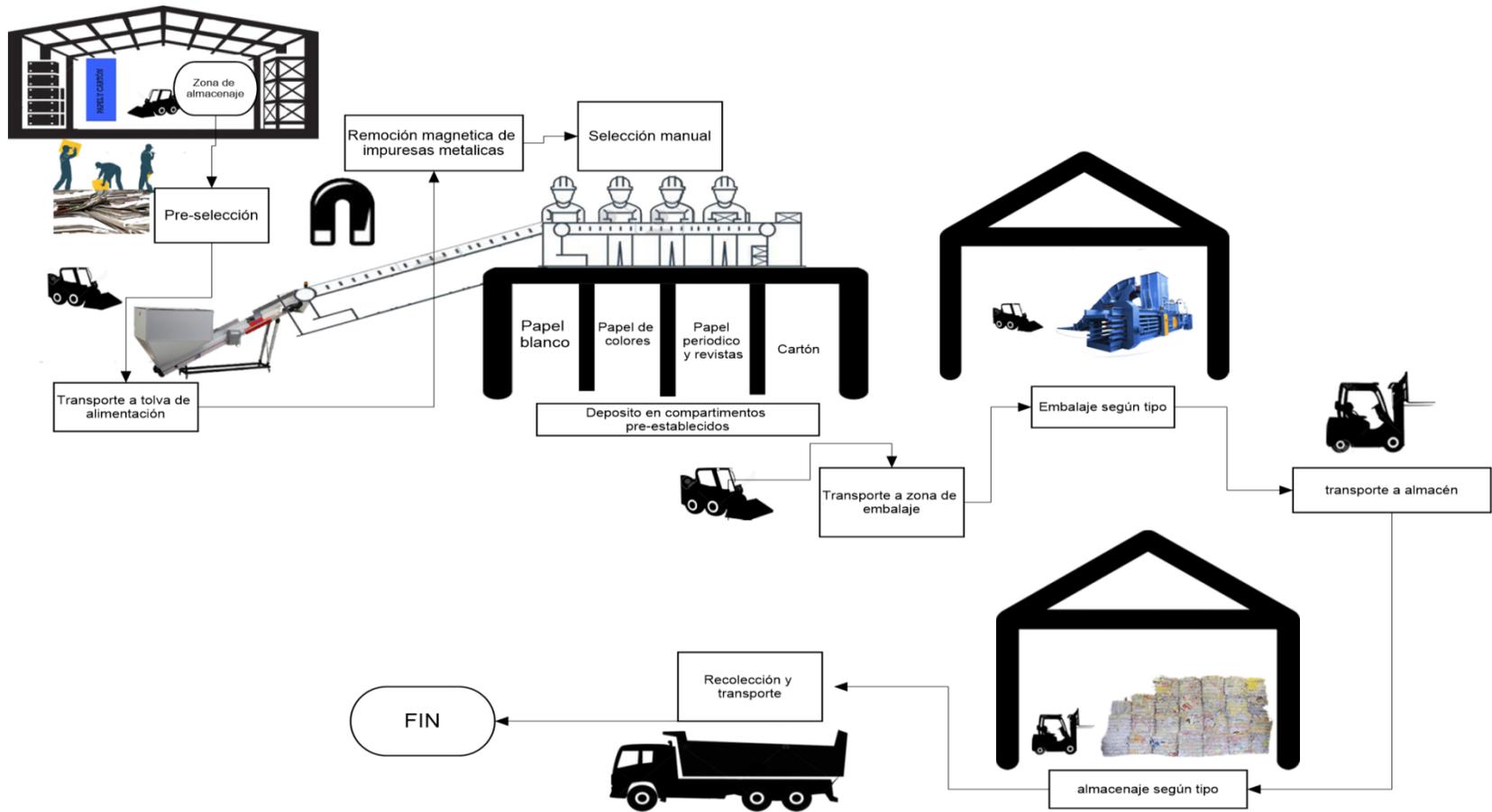


Ilustración 41: Diagrama de proceso para cartón y papel

Fuente: El autor

17.1.5. Proceso para el vidrio

Este inicia con la entrada del vidrio (desde su respectiva zona de almacenaje primaria), a una tolva de alimentación la cual regulará su tráfico en una banda transportadora donde esperan los operarios para realizar la selección por color, seleccionado ya por color este es transportado desde sus compartimentos hacia una máquina trituradora, la cual se encarga de granularlo y posteriormente pasarlo a un elevador el cual transporta el vidrio molido hacia una tolva de almacenamiento la cual se encarga de descargarlo reguladamente en una banda transportadora sobre la cual se encuentra un electroimán que separará las impurezas metálicas que se hayan podido colar en el proceso, al mismo tiempo que se encontrara un succionador el cual se encargará de remover impurezas como plásticos, papeles u otra clase de residuos ligeros.

Superados estos procesos el vidrio pasará por una criba vibratoria, la cual lo clasifica por tamaño, al mismo tiempo que ayuda a remover más fácilmente las impurezas que se encuentren en el mismo, después del cribado el vidrio es conducido por bandas transportadoras a una lavadora de cono, la cual lava el vidrio removiendo impurezas restantes, finalizado el lavado, el siguiente proceso es el transporte a un trommel que se encarga de separar el vidrio lavado en sus diferentes tamaños y terminar la remoción de impurezas residuales, de allí nuevamente es conducido por una banda transportadora en cuya parte superior se encuentra un electroimán que removerá partículas metálicas residuales, de allí los gránulos de vidrio pasaran a un segundo elevador que descargará el vidrio en una tolva de despacho, allí esperará un camión compartimentarizado dispuesto para tal labor el cual decepcionara el vidrio en sus compartimentos según color, aquí el proceso también se puede ramificar haciendo un embalaje

del vidrio y transportándolo a zona de almacenamiento en caso de que no exista despacho o cliente inmediato.

A continuación se puede observar en la ilustración 43 el diagrama de la estructura del proceso para vidrio y en la ilustración 44 el diagrama de flujo del proceso de producción:

Diagrama de estructura del proceso de producción para vidrio

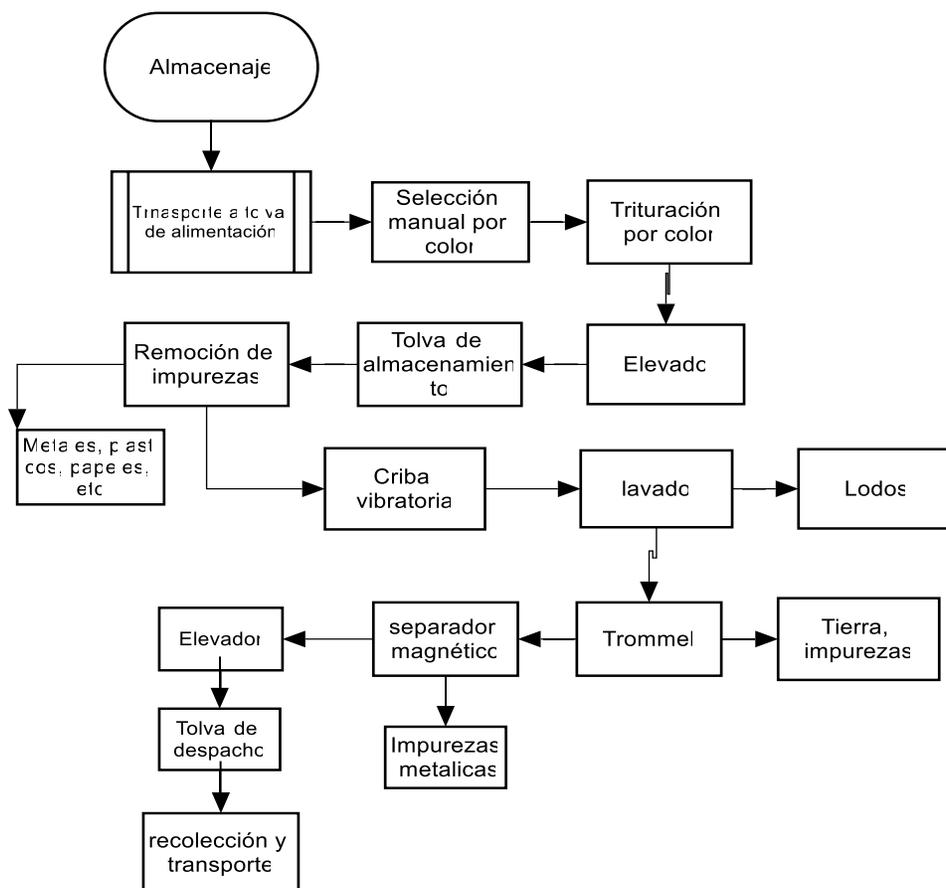


Ilustración 42: Diagrama de estructura del proceso de vidrio

Fuente: El autor

Proceso para vidrio

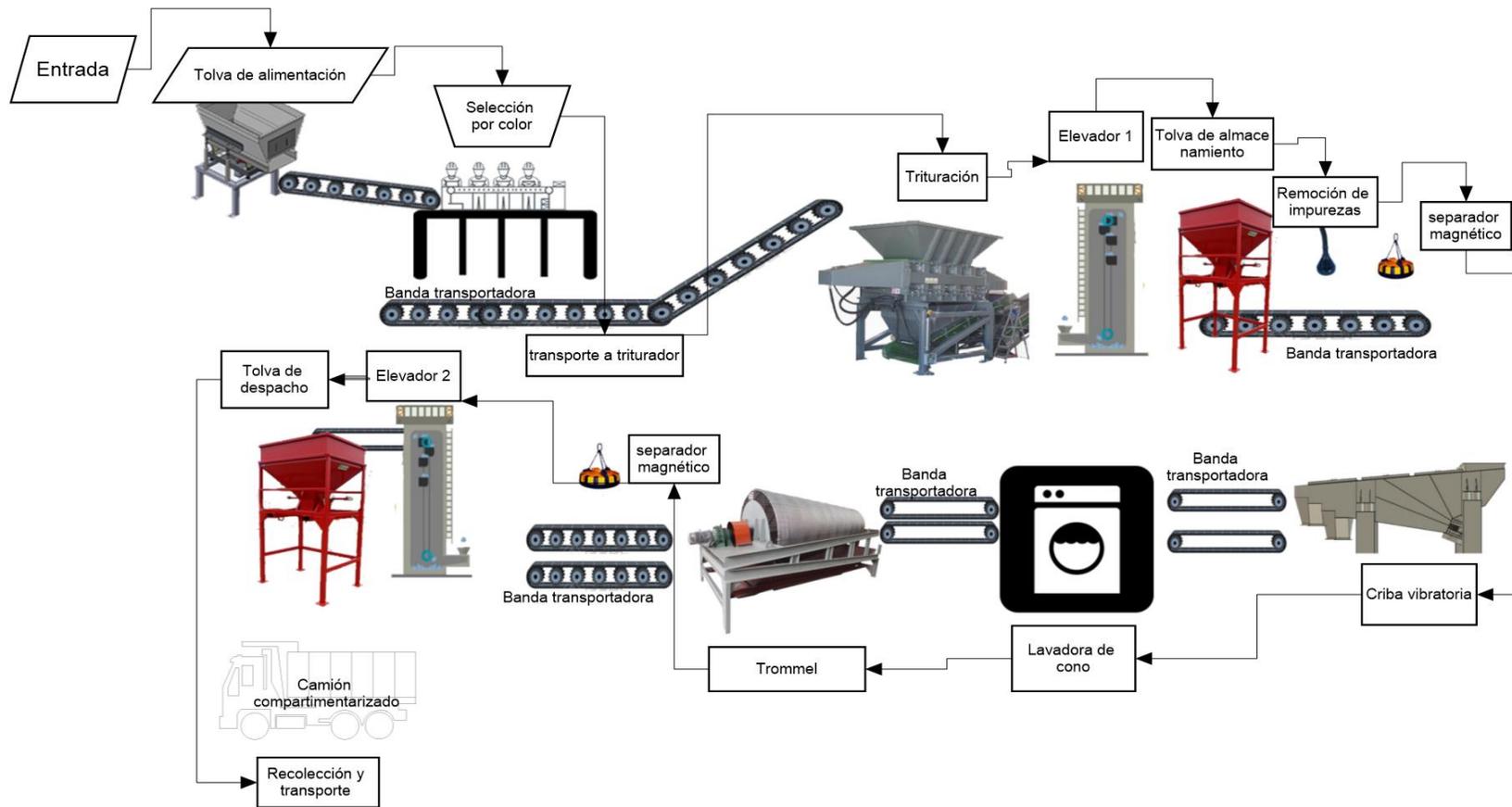


Ilustración 43: Diagrama de proceso de producción para vidrio

Fuente: el autor basado en (Socya, 2014)

17.1.6. Proceso para plástico

El proceso del plástico se divide en dos líneas de separación, la primera línea será para bolsas y empaques plásticos y la segunda línea será para botellas PET, así pues, el proceso se describe de la siguiente manera:

Desde la zona de almacenamiento, el plástico será transportado a una tolva de alimentación que pasará el plástico a una banda transportadora, al inicio de la cual se encontrará un electroimán que removerá partículas metálicas que se hayan colado en el proceso, seguido de esto estarán esperando operarios en el borde de la banda para hacer la separación de botellas PET y plásticos de mayor calibre y los empaques normales, la banda transportadora se ramificará en dos partes una de las cuales transportará el pet y la otra los empaques, para efectos prácticos primero se procederá a describir el proceso de los empaques plásticos:

Empaques: después de separados del plástico PET, los empaques pasarán a un área de selección por color, donde operarios especializados se encargarán de tal labor, el plástico seleccionado irá a un compartimento de almacenamiento temporal, de donde será transportado según tipo a una maquina desfibradora la cual dejará el plástico triturado, seguido de este paso pasará por una banda transportadora, donde se ubicará un electroimán para terminar de remover partículas metálicas, el plástico será introducido en un trommel el cual se encargará de seguir removiendo impurezas, paso a seguir es la introducción del plástico en una lavadora y secadora para terminar de remover la suciedad del mismo, de allí pasará a la aglutinadora donde se aumentará la densidad del mismo para finalmente llegar al área de peletizado donde será

transformado en pequeños gránulos de medidas definidas, allí será directamente embalado y transportado a la zona de almacenamiento dispuesta para el plástico procesado, hasta su posterior comercialización y transporte.

PET: estando ya aisladas de los empaques plásticos, están pasan al área de selección manual por color, donde son dispuestas en una zona de almacenaje temporal, de allí las botellas pet son transportadas a la zona de remoción de tapas y etiquetas, este trabajo es realizado por maquinaria automática, seguido de esto pasarán a la desfibradora, dejando el material triturado, de donde pasará a un trommel, que se encargará de seguir removiendo impurezas, de allí será conducido al área de lavado y secado, para posteriormente llevar al proceso de aglutinado y paso por la peletizadora, que al igual que el primer proceso dará como resultado final gránulos de plástico que serán embalados, transportados a la zona de almacenaje de plástico, hasta su posterior comercialización y transporte.

A continuación se puede observar en la ilustración 45 el diagrama de la estructura del proceso para plasticos y en la ilustración 40 el diagrama de flujo del proceso de producción:

Diagrama de estructura del proceso de producción para plástico

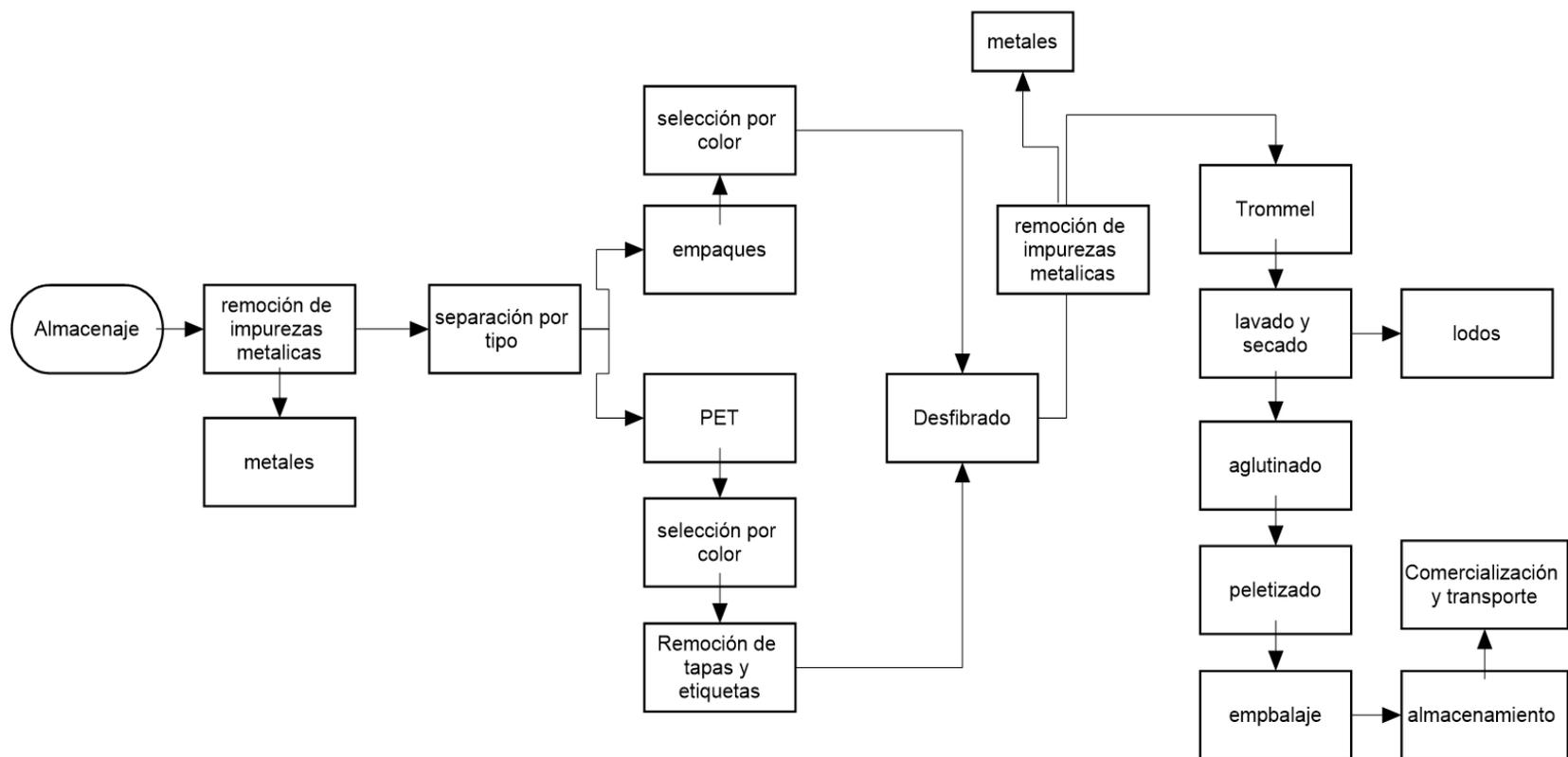


Ilustración 44: Diagrama de estructura del proceso de plástico

Fuente: El autor

Proceso de producción para plásticos

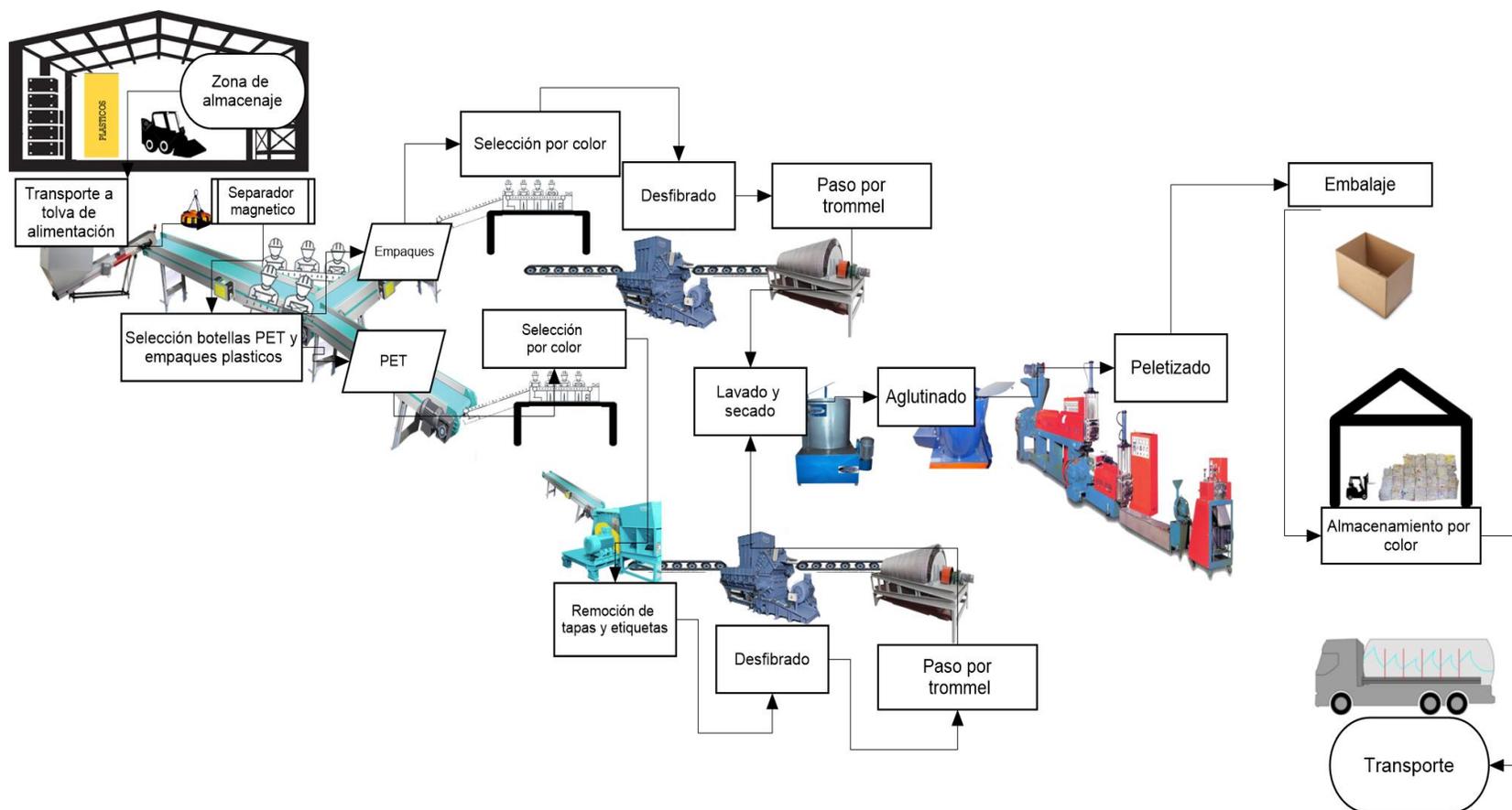


Ilustración 45: Diagrama de proceso de producción para plástico

Fuente: el autor

17.1.7. Proceso para neumáticos

Los neumáticos son transportados desde la zona de almacenaje a la zona de extracción de alambre, donde una maquina especializada se encargará de este proceso, seguidamente se llevará a un área de lavado rápido para retirar impurezas como tierra, entre otras, para pasar al primer triturado que sufrirá el neumático, denominado granulación, de allí pasará a un segundo triturado denominado refinado, donde el caucho quedará en partículas más finas, después será llevado por una banda transportadora y pasará bajo un electroimán que retirará metales remanentes, la banda introducirá el caucho en una criba, que se encargará de la extracción de fibras, luego se trasladará hacia el tercer y último triturado denominado pulverización, donde el caucho queda convertido en una especie de polvo fino, finalmente será puesto en una tolva de almacenamiento y despacho para ser embalado y transportado a almacenamiento hasta su posterior comercialización y transporte.

A continuación se puede observar en la ilustración 47 el diagrama de la estructura del proceso para neumaticos y en la ilustración 48 el diagrama de flujo del proceso de producción:

Diagrama de estructura del proceso de producción para neumáticos

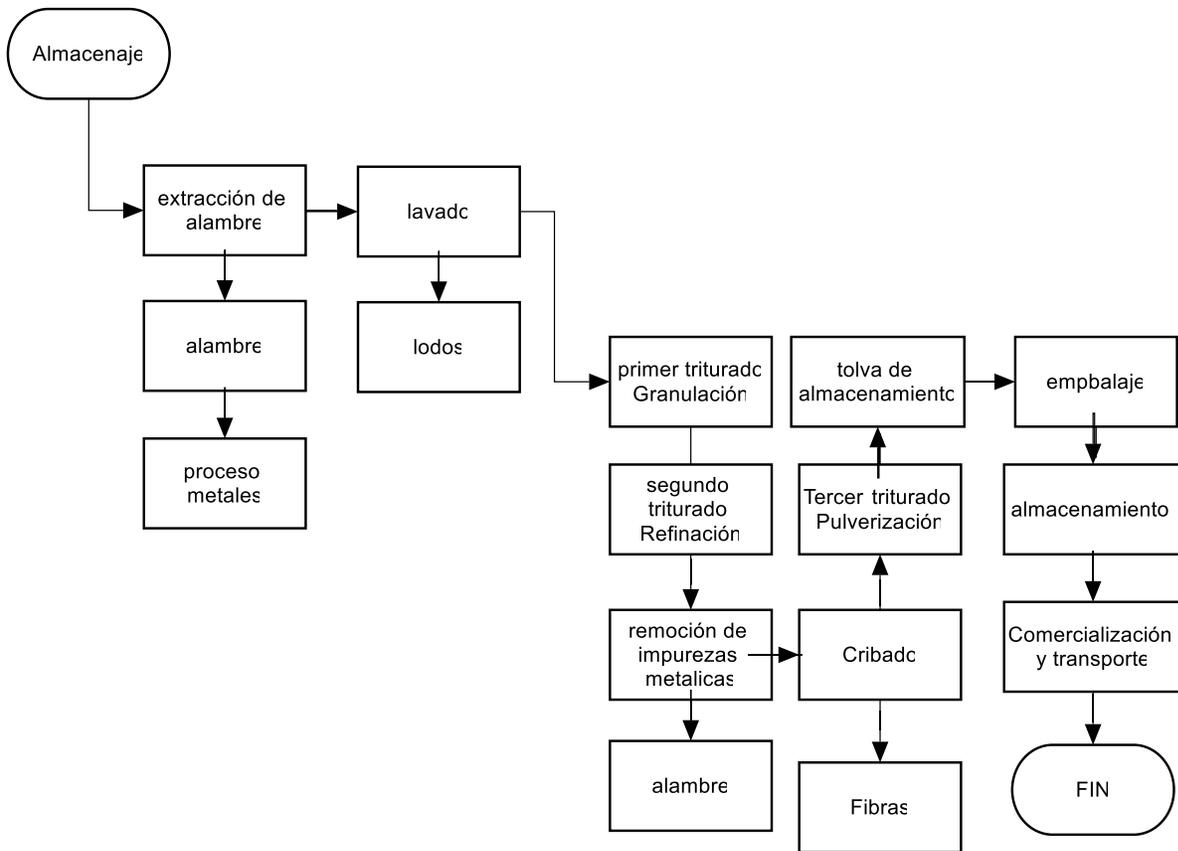


Ilustración 46: Diagrama de estructura del proceso de neumáticos

Fuente: El autor

Proceso de producción para neumáticos

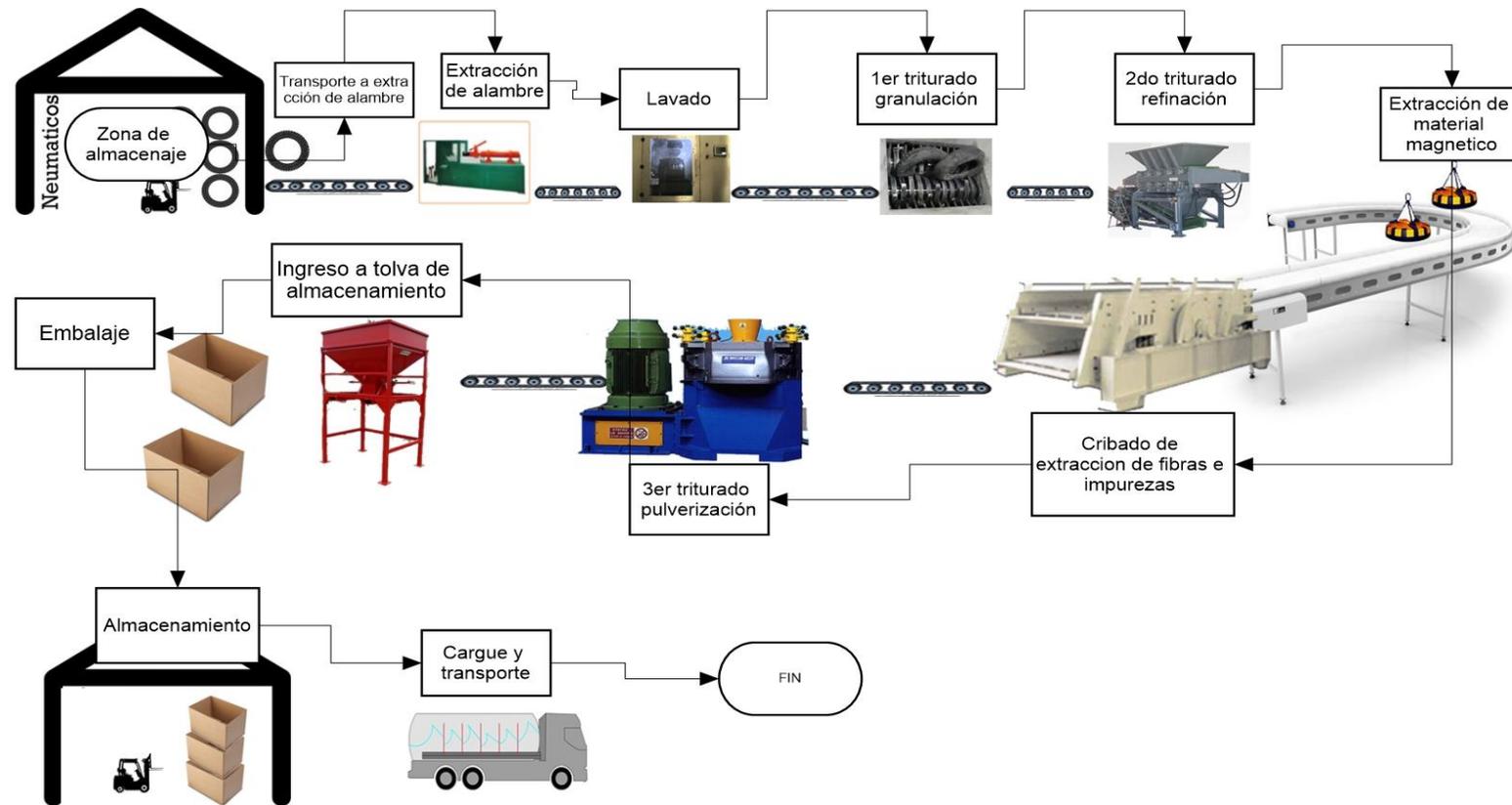


Ilustración 47: Diagrama de proceso de producción para neumáticos

Fuente: El autor

17.1.8. Proceso para residuos orgánicos

Este inicia con la recepción de los residuos orgánicos y depósito en la zona de almacenaje temporal predispuesta, de allí serán transportados a la zona de trituración, seguidamente serán depositados en una banda transportadora, donde estará ubicado un electroimán que removerá impurezas metálicas, también se ubicarán operarios para retirar otra clase de impurezas como plásticos, de allí será llevado a la zona de mezcla, para luego ser transportado a los túneles de descomposición, pasado este proceso, el compost será llevado a la zona de maduración con la técnica de pilas volteadas, culminado el proceso de maduración se llevará a un segundo triturado y finalmente transportado a una tolva de almacenamiento y despacho donde se hará el embalaje en costal, se conducirá a la zona de sellado y almacenaje hasta su posterior comercialización y transporte.

A continuación, se puede observar en la ilustración 49 el diagrama de la estructura del proceso para residuos orgánicos y en la ilustración 50 el diagrama de flujo del proceso de producción:

Diagrama de estructura del proceso de producción para neumáticos

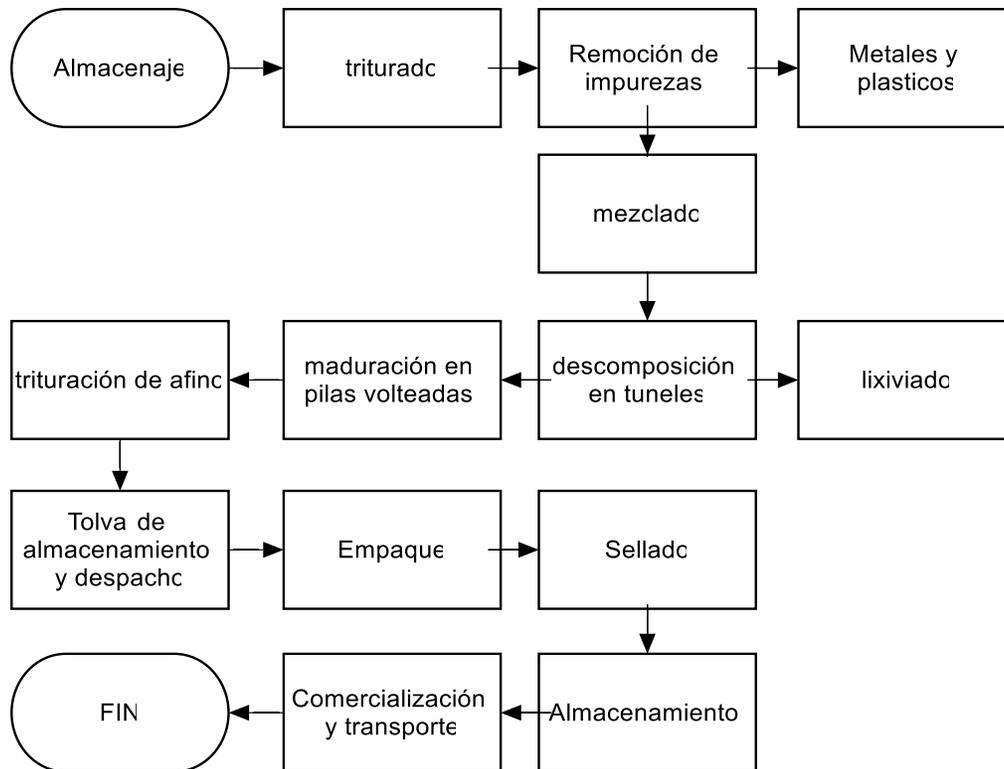


Ilustración 48: Diagrama de estructura del proceso de residuos orgánicos

Fuente: El autor

Proceso de tratamiento de residuos orgánicos

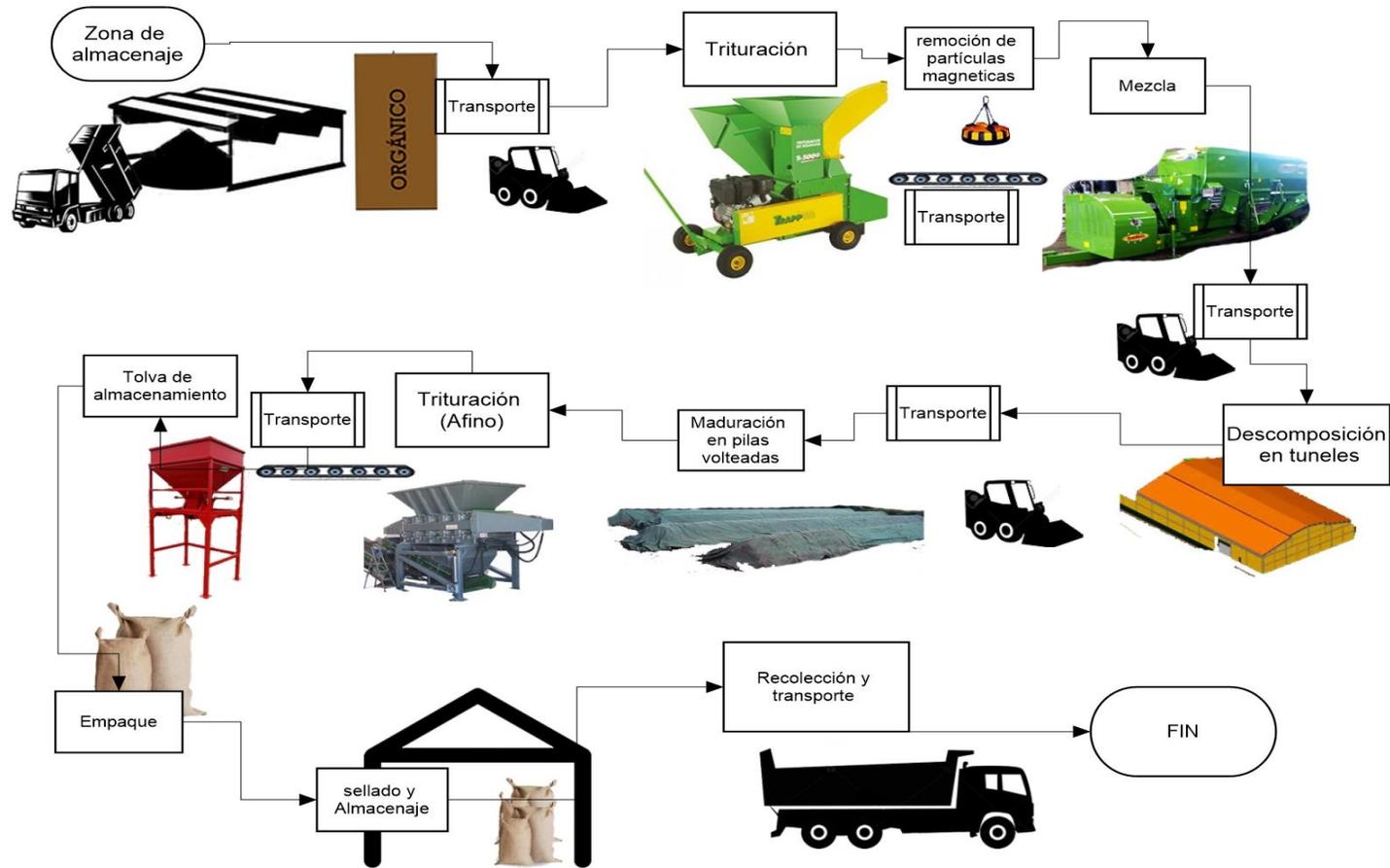


Ilustración 49: Diagrama de proceso de producción residuos orgánicos

Fuente: El autor

17.1.9. Proceso para los residuos tecnológicos

Este inicia en la zona de almacenaje, de donde son transportados hacia una zona de clasificación manual por tipo, para luego ser almacenados, esperando su posterior comercialización y transporte que se realizará en un vehículo compartimentarizado, para mantener los residuos separados.

A continuación se puede observar en la ilustración 51 el diagrama de la estructura del proceso para residuos tecnológicos y en la ilustración 52 el diagrama de flujo del proceso de producción:

Diagrama de estructura del proceso de producción para residuos tecnológicos

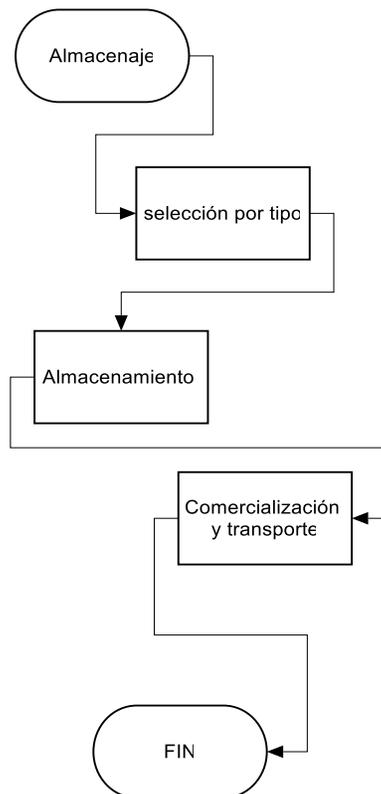


Ilustración 50: Diagrama de estructura del proceso de residuos tecnológicos

Fuente: El autor

Proceso residuos tecnológicos

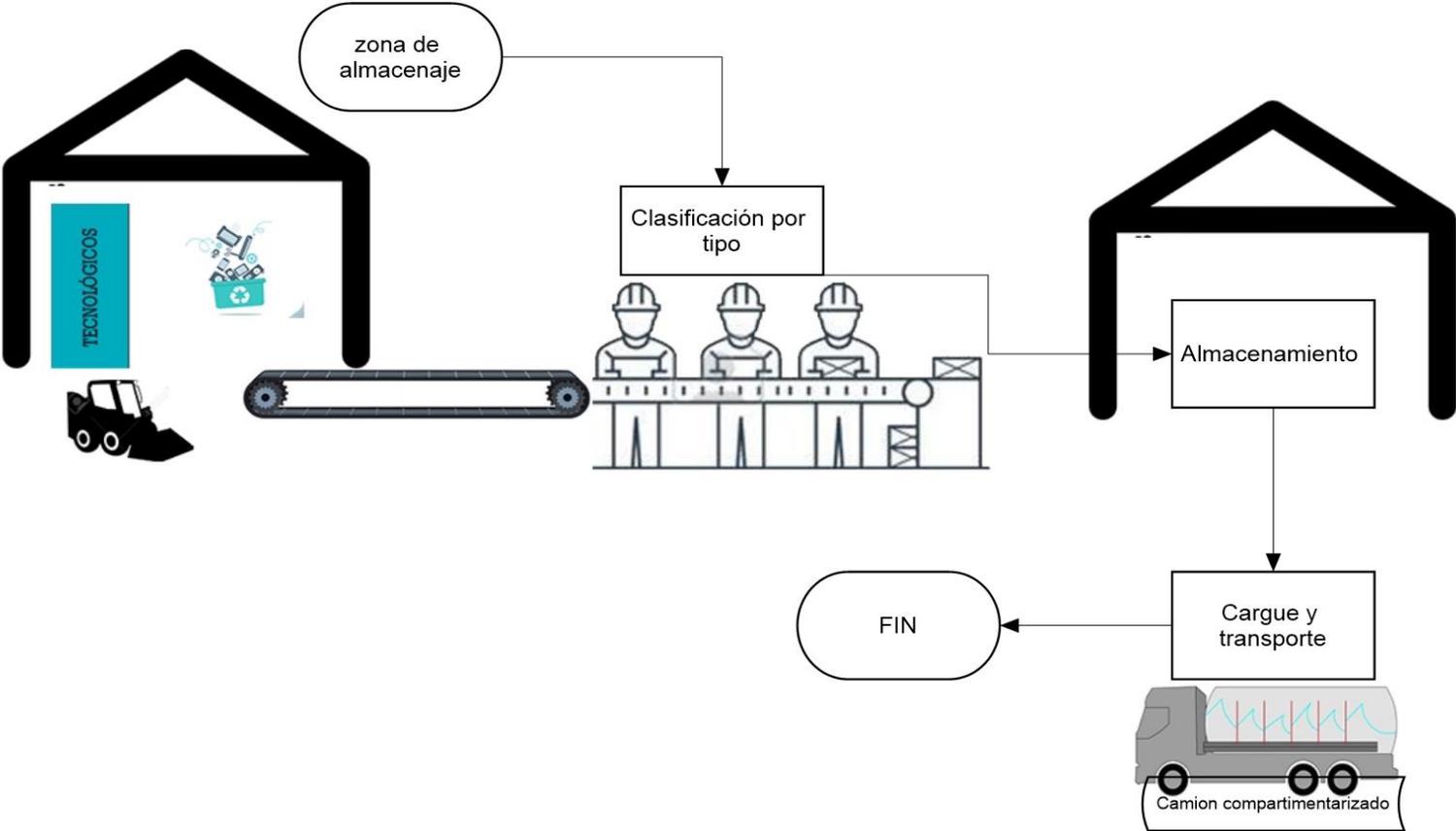


Ilustración 51: Proceso de producción para residuos tecnológicos

Fuente: El autor

18. Funacionamiento de la organización

El proyecto se prospecta a 20 años, en los cuales evaluaría año por año la evolución de la empresa y las condiciones del mercado de cada línea de producción.

Los veinte años de vida útil del proyecto cobijan los años de vida útil de construcciones y edificaciones, siendo este un parámetro para optar por este periodo, sin reinversión o excedentes de vida de los activos.

18.1. Recursos humanos

- Gerente
- Operarios
- Contador
- Ingeniero ambiental
- Auxiliares
- Publicista
- Gestor social
- Seguridad laboral
- Jefe de producción
- Secretarias
- Vendedores
- Técnicos para mantenimiento
- Vigilantes
- Personal oficios varios

18.2. Personal Responsables del funcionamiento de la planta

Gerente general: Se encargará de sus funciones propias como son:

El buen funcionamiento de los procesos productivos de la empresa, desarrollo de los planes de producción y estrategias de comercialización etc.

Secretaria: Se encargará del manejo de documentos, atención al cliente y personal, informar al gerente de las situaciones que se presenten.

Contador: Será el encargado de llevar los balances, cuentas, inventario y toda la parte financiera de la empresa.

Jefe de personal por proceso. Será el encargado de la supervisión y correcto funcionamiento de los procesos productivos de la empresa.

Ingeniero ambiental: Sera el encargado de mantener el sistema de seguridad y salud en el trabajo, así como cuidar del cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, el sistema de gestión ambiental y todos los aspectos relacionados con el medio ambiente.

Operarios: Estos estarán encargados de la ejecución de los procesos de producción, el correcto funcionamiento de los mismos y la producción constante, según procedimientos establecidos.

Auxiliares: Son los encargados del apoyo a las distintas áreas.

Publicista: Encargado del diseño e implementación de campañas publicitarias por parte de la empresa.

Gestor social: Encargado de la comunicación dentro y fuera de la empresa, el bienestar de los empleados y el ambiente laboral.

Seguridad laboral: Encargado de la implementación de la higiene y seguridad laboral, planeación e implementación de planes de emergencia y contingencia, así como todo lo relacionado con la seguridad del personal de la empresa.

Recepción: Encargado de permitir y vigilar la entrada de vehículos recolectores y demás.

Ventas: Encargado de la comercialización del producto terminado.

Transportadores: Encargados de la recolección y transporte de materia prima y producto terminado a sus respectivos lugares de procesamiento.

Servicios de mantenimiento: El mantenimiento de las máquinas en caso de limpieza se hará por los operarios encargados de cada sección, en caso de mantenimiento preventivo y correctivo se hará por un profesional contratado para el caso específico.

18.3. Mano de obra

Se utilizará mano de obra medianamente calificada con principios y conocimientos básicos en la operación, para este fin, se dirigiría un programa específico para contratar a los recuperadores informales de la ciudad; también se realizará capacitación técnica, para que estos adquieran las destrezas necesarias para el cumplimiento de cada labor propuesta.

Los costos o sueldos pagados para operarios serán a convenir, teniendo como base el salario mínimo legal vigente, con sus debidas prestaciones sociales y seguros necesarios; en este aporte también se puede constituir un sistema de incentivos por producción lograda en un tiempo determinado y por calidad en los procesos.

18.4. Organigrama general

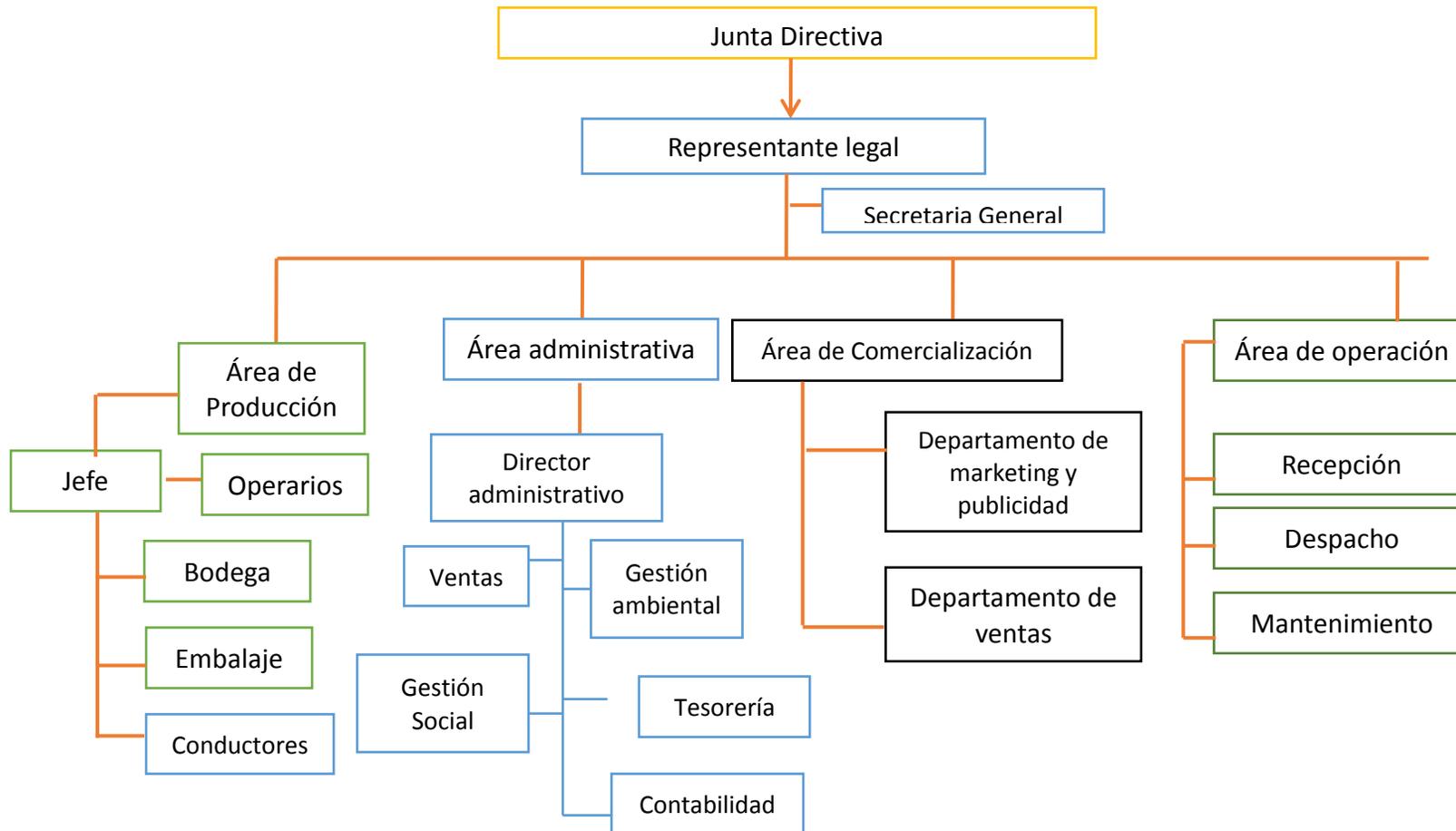


Ilustración 52: Organigrama general de la organización

Fuente: El autor

19. Costos estimados para el montaje de la planta propuesta

Según cotizaciones realizadas e investigación de precios de materiales y equipos para el montaje de una planta como la proyectada, se calculan costos de la siguiente manera:

19.1. Costos en obras físicas

Costos en terrenos y obras físicas			
Detalle de inversión	Cantidad	Costo Unitario COP(\$)	Costo total COP(\$)
Terreno 8 hectáreas	8	\$50.000.000	\$400.000.000
Infraestructura de planta (14.732 m ²)	14732	\$1.000.000	\$14.732.000.000
Total			\$15.132.000.000

Tabla 19: Costos en obras físicas

19.2. Costos en maquinaria y equipo de producción

Costos de Maquinaria y Equipo de Producción				
Detalle de Inversión				Vida útil (años)
Inversiones	Cantidad	Costo unitario COP(\$)	Costo total COP(\$)	
Vehículo compartimentarizado	4	\$270.000.000	\$1.080.000.000	5
Volco	1	\$250.000.000	\$250.000.000	5

Basculas pesaje de camiones	2	\$60.000.000	\$120.000.000	10
Mini-cargador	6	\$75.000.000	\$450.000.000	5
Elevador de carga	7	\$30.000.000	\$210.000.000	5
Trituradora	7	\$40.000.000	\$280.000.000	10
Banda transportadora	31	\$5.000.000	\$155.000.000	10
Electro-imán	10	\$2.000.000	\$20.000.000	10
Embaladora	2	\$27.000.000	\$54.000.000	10
Tolva de alimentación	3	\$3.000.000	\$9.000.000	10
Tolva de almacenamiento	3	\$5.000.000	\$15.000.000	10
Tolva de despacho	1	\$7.000.000	\$7.000.000	10
Elevador de vidrio	1	\$17.000.000	\$17.000.000	10
Criba vibratoria	2	\$30.000.000	\$60.000.000	10
Lavadora de cono	1	\$20.000.000	\$20.000.000	10
Trommel	3	\$14.000.000	\$42.000.000	10
Removedor de tapas y etiquetas	1	\$20.000.000	\$20.000.000	10
Desfibradora	2	\$28.000.000	\$56.000.000	10
Lavadora de plastico	2	\$15.000.000	\$30.000.000	10
Aglutinadora	2	\$28.000.000	\$56.000.000	10
Peletizadora	1	\$90.000.000	\$90.000.000	10
Extractor de alambre de neumaticos	1	\$30.000.000	\$30.000.000	10
Lavadora de neumaticos	2	\$30.000.000	\$60.000.000	10
Mezclador de materi orgánica	2	\$48.000.000	\$96.000.000	10
Sistema fotovoltaico (panel solar 250	20	\$1.700.000	\$34.000.000	10

W+ anexidades)				
Sistema eolico (aerogenerador 300W + anexidades)	16	\$1.400.000	\$22.400.000	10
Sistema helio térmico (calentador de H2O solar 250 Litros)	12	\$3.000.000	\$36.000.000	10
Total			\$2.628.000.000	

Tabla 20: Costos en maquinaria y equipo de producción

19.3. Costos en muebles y equipos de administración

Costos en muebles, enseres y equipos de administración				
Detalle de inversión	Cantidad	Costo unitario COP(\$)	Costo total COP(\$)	vida util (años)
Escritorio Tipo gerencia	1	\$600.000	\$600.000	5
Mesa de juntas	1	\$1.000.000	\$1.000.000	5
Sillas operarias	40	\$50.000	\$2.000.000	5
Archivador	3	\$400.000	\$1.200.000	5
Extintor	50	\$120.000	\$6.000.000	5
Tablero acrílico	8	\$200.000	\$1.600.000	5
Computador	12	\$1.800.000	\$21.600.000	5
Proyector	6	\$1.200.000	\$7.200.000	5
Impresora	4	\$1.000.000	\$4.000.000	5
Muebles área administrativa	80	\$70.000	\$5.600.000	5
Total			\$50.800.000	

Tabla 21: Costos en muebles y equipos de administración

19.4. Costos en activos intangibles

Costos en activos intangibles	
Detalle de inversión	Costo COP(\$)
Estudio de pre factibilidad	\$3.000.000
Estudio de factibilidad	\$5.000.000
Licencias	\$3.000.000
Gastos de organización	\$5.000.000
Imprevistos	\$4.000.000
Total gastos pre operativos	\$20.000.000

Tabla 22: Costos en activos intangibles

19.5. Costos totales estimados para una primera fase de montaje de la planta de tratamiento de residuos solidos

Concepto	Costo COP(\$)
Terrenos y obras físicas	\$15.132.000.000
Maquinaria y equipo	\$ 2.628.000.000
Muebles y equipos de administración	\$50.800.000
Subtotal	\$17.810.800.000
Gastos pre operativos	\$20.000.000
Subtotal	\$20.000.000
Total inversión fija	\$17.830.800.000

Tabla 23: Costos totales estimados para una primera fase de montaje de la planta de tratamiento de residuos solidos

Con el análisis anterior se tiene que el costo estimado del montaje de la planta es de unos diecisiete mil ochocientos treinta millones con ochocientos mil pesos colombianos, presupuesto inicial que implicaría la construcción de la infraestructura y la adecuación para iniciar operaciones (fase pre-operativa), ya que no es materia del presente proyecto un estudio financiero detallado (que correspondería a una segunda fase del proyecto, es decir cuando pase a una etapa de pre-factibilidad), puesto que solo se pretende dar una idea global de los costos de montaje de la planta ya que el proyecto está enfocado principalmente en el diseño, modelado y descripción de los procesos de producción internos, puesto que para una posible implementación del proyecto es necesario ampliar los estudios concernientes a todos los aspectos detallados de montaje y puesta en marcha de la planta, ya que, como se mencionó en el alcance del proyecto, se pretende que este sea una guía o modelo para el planteamiento y gestión de proyectos similares por parte de entidades públicas o privadas.

20. Beneficios del proyecto

El proyecto se enfoca en la reutilización y aprovechamiento de material residuo de las actividades humanas, por ello el beneficio está representado en el medio ambiente, el cumplimiento de políticas ambientales, la generación de empleo, la disminución de disposición final de materiales en relleno sanitario y el ser pioneros en la generación de propuestas, e ideas ejecutables para el desarrollo de plantas de tratamiento de residuos sólidos reutilizables que mejoren la calidad de vida de los entornos a los que va dirigido y contribuyan a disminuir la presión sobre los recursos naturales.

20.1. Beneficiarios directos

Administración municipal, habitantes de la ciudad de Duitama, usuarios del servicio de aseo, entidades prestadoras de servicios, recuperadores informales, medio ambiente.

20.2. Beneficiarios indirectos

Empresas comercializadoras de material reciclado, procesadoras de material reciclado, rellenos sanitarios.

21. Análisis económico, social y ambiental de la planta propuesta

21.1. Análisis económico

Debilidades <ul style="list-style-type: none">- Falta de capital.- Falta de terrenos.- Inversión inicial alta.	Oportunidades <ul style="list-style-type: none">- Rentabilidad por bajo costo de materia prima.- Baja competencia en la zona.- Generación de energía autónomamente.- Desarrollo de un mercado eficiente y responsable con el medio ambiente.- Re-incorporación al ciclo económico de materiales que no se utilizan actualmente.
Fortalezas <ul style="list-style-type: none">- Ausencia de plantas de aprovechamiento en la zona a escala proyectada.- Integración de capital humano con experiencia.- Apertura de un nuevo mercado a gran escala.- Generación de nuevos empleos.	Amenazas <ul style="list-style-type: none">- Voluntad política desfavorables.- Fluctuaciones desfavorables en los precios del mercado.- Competencia desleal.- Falta de inversionistas.

Tabla 24: Matriz DOFA análisis económico

21.2. Análisis social

Debilidades <ul style="list-style-type: none">- Falta de experiencia de los operarios.- Falta de planes de comunicación con la comunidad.- Dificultad de integrar a sectores informales y pequeñas asociaciones al nuevo esquema.	Oportunidades <ul style="list-style-type: none">- Alianzas con asociaciones de recicladores.- Mejoramiento en la calidad de vida de familias dedicadas al reciclaje.- Generación de nuevos empleos e integración de mano de obra informal.
Fortalezas <ul style="list-style-type: none">- Solución al problema del manejo de los residuos.- Integración de clasificadores informales.- Enfoque social responsable y bien direccionado.- Diseños y procesos enfocados en el bienestar humano y ambiental.	Amenazas <ul style="list-style-type: none">- Intereses divididos entre asociaciones, clasificadores informales y gobierno local.- Resistencia de la comunidad a la clasificación de residuos.- Falta de colaboración de las autoridades locales.- Conformación de grupos de resistencia a la clasificación a gran escala, integrados por sectores que se dediquen al oficio.

Tabla 25: Matriz DOFA análisis social

21.3. Análisis ambiental

<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none">- Falta de un esquema de aprovechamiento de residuos solidos- Falta de programas y políticas locales que fomenten la construcción de plantas de aprovechamiento.	<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none">- Disminución de la carga contaminante en rellenos sanitarios- Reincorporación de materiales que serían confinados y reinserción al ciclo productivo- Solución en gran medida del problema del manejo de los residuos en la ciudad- Disminución de la presión sobre los recursos naturales- Coordinación con políticas nacionales ambientales enfocadas en el aprovechamiento de los residuos.
<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none">- Mayor cuidado con los recursos naturales y disminución de la presión sobre los mismos.- Mejor gestión de los residuos en la ciudad.- Beneficio ambiental para todas las poblaciones objeto del proyecto.	<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none">- Falta de interés por parte de las autoridades y la comunidad.- No consecución de recursos.- Conformismo con el esquema actual por parte de las autoridades y comunidad.

Tabla 26: Matriz DOFA análisis ambiental

22. Ventajas y desventajas de la planta

22.1. Ventajas de la planta

El diseño integra en su funcionamiento la mejor tecnología disponible para el procesamiento de residuos, permitiendo que la planta propuesta sea pionera en el uso de tecnologías limpias y contribuya enormemente al cuidado del medio ambiente, así mismo, esta significa un gran proyecto que destina esfuerzos a la reducción de la contaminación en las ciudades y confinamiento de residuos aprovechables que se pueden incluir nuevamente en el ciclo económico.

Del mismo modo la planta se hace pionera en la integración de procesos en cuanto que se encarga del procesamiento y recuperación de la mayoría de los residuos aprovechables producidos en la ciudad, es por esto que significaría una reducción enorme en la disposición final de residuos en relleno sanitario, cosa que presenta grandes ventajas en cuanto a ampliación de la vida útil del relleno y disminución en la presión sobre los recursos naturales, ya que los productos que antes se desechaban y confinaban, con la planta se reingresan al ciclo productivo, haciendo que la manufactura de estos productos desde cero, disminuya.

El uso de tecnologías de producción energética alternativas, como el uso de paneles solares, calentadores solares y turbinas eólicas, hace que disminuya la demanda energética a entidades externas, permitiendo esto que la empresa tenga una semi-autonomía energética y mayor eficiencia en sus procesos.

22.2. Desventajas de la planta

La principal desventaja para la realización de una planta como la propuesta sería su coste económico, ya que requiere de una cuantiosa inversión inicial para la adquisición de terreno, construcción de infraestructura, consecución y compra de maquinaria y su respectiva adaptación y puesta en funcionamiento.

Así mismo, lograr que la comunidad realice separación en la fuente de sus desechos se torna un reto gigante, el cual requiere un proyecto conjunto que se enfoque en el tema de educación ambiental para la gestión de residuos sólidos y un tiempo de ejecución y gestión considerable para lograr que la comunidad se concientice e inicie a separar los residuos en su hogar.

23. Conclusiones

- La población de la ciudad de Duitama produce en promedio 0,68 kg/hab. día, los cuales no son aprovechados debidamente y por tanto se pierde un gran potencial de explotación económica y reaprovechamiento de residuos reutilizables, ya que la mayoría son dispuestos en el relleno sanitario y confinados.
- El 95,39%, de los residuos generados en la ciudad de Duitama son aprovechables, por tanto la planta de tratamiento de residuos proyectada tiene un gran potencial y rentabilidad ya que la materia prima entraría a un costo muy bajo, además se generaría un alto número de empleos y disminuiría enormemente la presión sobre los recursos naturales, ya que al reprocesar estos residuos la explotación de los mismos se disminuye de manera proporcional a la demanda satisfecha que el reprocesamiento generaría.
- La integración de tecnologías limpias y de captación de energías renovables como la energía solar, eólica y heliotermia constituyen una fuente de mejoramiento y eficiencia energética dentro de los procesos de la planta y también la eficiencia económica, ya que ayudan a disminuir costos de producción, operacionales y de servicios públicos, haciendo esto que la planta se haga más rentable y económicamente sostenible en el mediano plazo.
- A nivel nacional son pocos los proyectos que se planteen el procesamiento integrado de todos los residuos reutilizables de una ciudad, por tanto, el presente se constituye pionero en la realización de propuestas que contribuyan al mejoramiento del medio ambiente, gestión

integrada de residuos y conversión de los mismos, es por esto que la descripción de la planta y sus procesos internos permiten tener una visión sobre el funcionamiento específico de la misma, lo que contribuye a ser una guía para la formulación de proyectos de este tipo.

- Los altos costos de inversión inicial para el montaje de una planta como la propuesta y la falta de políticas públicas que faciliten la gestión de recursos para la misma, hace que llevar a la realidad un proyecto como el actual demande mucho esfuerzo por parte de los interesados y se haga muy difícil su realización como tal, sin embargo esto se podría remediar mediante iniciativa privada que contará con inversionistas y socios capitalistas dispuestos a invertir y llevar a la práctica un emprendimiento de tal magnitud ya que los beneficios sociales, económicos y ambientales que representaría una planta como la propuesta, conduciría a una mejora en la calidad de vida de todos los habitantes de la ciudad, además de un cambio en el estilo, modo de vida y cultura ambiental muy diferente al que se tiene actualmente.

24. Recomendaciones

- Se recomienda para Formulación de un proyecto enfocado en el montaje y puesta en marcha de una planta como la propuesta se realicen estudios correspondientes para determinar su viabilidad técnica, económica y socio-ambiental, donde se analicen todos los factores que intervienen en el desarrollo del proyecto y se formulen planes para afrontar todas las debilidades y amenazas que se puedan presentar.
- Para el montaje de generadores de energía eólica y solar se deben realizar análisis de variables ambientales según la micro-localización específica donde se desee establecer una planta como la del presente proyecto, así como la determinación de la viabilidad de la integración de estos tipos de energías según requerimientos climatológicos de las mismas y viabilidad económica.
- Como el presente proyecto pretende ser un prototipo para la realización de plantas de tratamiento y gestión integral de residuos sólidos urbanos, este puede ser adaptado para cualquier municipio o ciudad donde se quiera tomar como ejemplo (ya que los procesos de producción son iguales sin importar la localización), teniendo en cuenta las diversas variables que incluye para la determinación del tamaño de la planta, así como la maquinaria y equipo necesario para el procesamiento de residuos.
- Ya que el municipio de Duitama carece de un proyecto enfocado en el montaje y puesta en marcha de una planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos, es recomendable, que se inicie la realización de proyectos que contribuyan a solucionar esta problemática, ya que el

reciclaje que se realiza actualmente es muy bajo comparado con el gran potencial que existe en el municipio, además, hay que tener en cuenta que los rellenos sanitarios son una solución temporal pero no definitiva para el problema de los residuos y que los proyectos que se tienen en el PGIRS 2016 no son ambiciosos respecto al tema de recuperación de residuos.

- La realización de un proyecto como el propuesto podría dividir a los sectores que se encargan actualmente del reciclaje en la ciudad, por eso se hace necesario, formular y establecer planes de acción para negociar y hacer una correcta inclusión de estos, para no tener inconvenientes con las comunidades implicadas.

-

Bibliografía

ACODAL. (14 de Junio de 2017). *Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAL)*. Obtenido de sitio web de ACODAL: <http://www.acodal.org.co/reglamento-tecnico-ras-nueva-resolucion-0330-de-2017/>

Alcaldía de Duitama Boyacá. (2014 de febrero de 2014). *Alcaldía de Duitama Boyacá*.

Recuperado el 31 de Marzo de 2017, de Sitio oficial de Duitama en Boyacá, Colombia:
http://www.duitama-boyaca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=2997402

Alcaldía de Duitama. (2012). Plan de desarrollo 2012-2015. Duitama, Boyacá, Colombia.

Alcaldía de Duitama Boyacá . (2002). Plan de ordenamiento territorial . Duitama, Boyacá, Colombia.

Alcaldía de Duitama-Boyacá. (28 de Diciembre de 2016). PGIRS-Duitama. Duitama, Boyacá, Colombia.

Alcaldía municipal de Duitama. (2016). Plan de desarrollo Duitama 2016-2019. Duitama, Boyacá, Colombia .

Angarita, D. L. (2016). Programa interinstitucional para la separación de y valorización de residuos sólidos aprovechables en la ciudad de Tunja. Tunja, Boyacá, Colombia.

Burbano, Y. (Agosto de 2011). Sistemas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos. Bogotá, Cundinamarca, Colombia .

Carballo, S. e. (s.f.). proyecto POLCAEX. España.

Castells, J. E. (2012). Generalidades, Conceptos y origen de los residuos. En J. E. Castells, *Generalidades, Conceptos y origen de los residuos* (pág. 18). Diaz de Santos.

cat.com. (2017). *cat.com*. Obtenido de

http://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/skid-steer-loaders.html

COHA. (2016). *coha.com*. Obtenido de

http://www.coha.com.co/enfardadoras_y_compactadoras.html

Concejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). (21 de Noviembre de 2016).

Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos . Bogotá D.C.,

Colombia.

construnario.com. (2017). *construnario.com*. Obtenido de

<http://www.construnario.com/catalogo/felemang-sl-magnetismo-industrial/productos>

CORPOBOYACA. (2009). PPlan de Gestión Ambiental Regional PGAR 2009-2019. Tunja,

Boyacá, Colombia.

Elelsi.es. (2017). *Elelsi.es*. Obtenido de <http://www.elelsi.es/>

Gobernación de Boyacá. (2016). PPlan de desarrollo 2016-2019. *Diagnóstico infancia,*

adolescencia y juventud. Tunja, Boyacá, Colombia.

Henry, J. G., & Heike, W. G. (1999). *Ingeniería ambiental* (Segunda ed.). México, México:

Pearson Education.

Izaro manufacturing technology. (15 de Mayo de 2010). *izaro manufacturing technology*.

Obtenido de

<http://www.izaro.com/contenidos/ver.php?id=es&se=5&su=51&co=1294646430>

Lopez, I. D. (Julio de 2011). *Gestión integral de residuos sólidos*. Palmira, Colombia.

Maquinariaparaplastico.com. (2017). *maquinariaparaplastico.com*. Obtenido de

<https://www.maquinariaparaplastico.com/pet-c2269>

Martínez, C. I. (2012). *selección de tecnologías limpias*. Bogota, Cundinamarca, Colombia.

Mendéz, J. M., & Rafael, C. (1995). *Energía solar fotovoltaica*. En J. M. Mendéz, & C. Rafael,

Energía solar fotovoltaica (Segunda ed., pág. 20). Madrid, España: FC editorial.

Meyers, F. E., & P, S. M. (2006). *Diseño de instalaciones de manufatura y manejo de*

materiales. Mexico: Pearson Education, Inc.

Ministerio del Medio Ambiente. (Julip de 1998). *Palítica para la Gestión Integral de Residuos*.

Santafé de Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia.

Olmos, A. R. (Diciembre de 2011). *Recuperación y retulización de residuos sólidos*. Bogota,

Colombia.

Pérez, J., & Ana, G. (2008). *Definición.de*. Obtenido de [http://definicion.de/proceso-de-](http://definicion.de/proceso-de-produccion/)

[produccion/](http://definicion.de/proceso-de-produccion/)

plastigoma. (10 de Diciembre de 2013). *Plastigoma*. Obtenido de

<http://plastigoma.blogspot.com.co/2013/12/los-neumaticos-usados.html>

Shanghai Xuanshi Machinery. (2016). *xscrusher.es*. Obtenido de <http://xscrusher.es/4a-vibrating-screen.html>

Socya. (22 de Septiembre de 2014). *socya.com*. Obtenido de <http://socya.co/portal/conoce-como-funciona-la-planta-de-valoracion-de-vidrio/>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2015). Informe Sectorial del Servicio Público de Aseo. Bogotá.

westsalem.com. (2017). *westsalem.com*. Obtenido de <http://westsalem.com/machines/wsm-trommel-screens/>

Anexos

Nota: los modelos de maquinaria expuesta son un prototipo para la empresa.

Embaladora

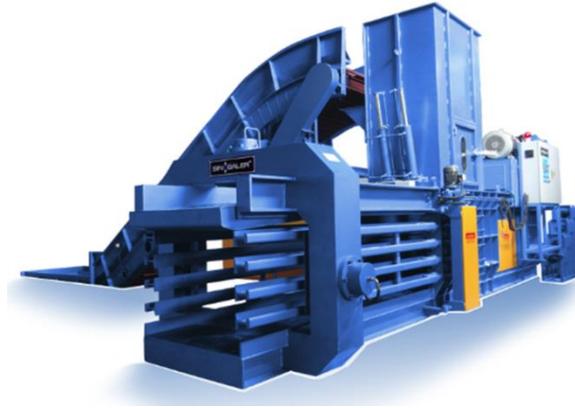


Ilustración 53: Embaladora

Fuente: (COHA, 2016)

Desfibradora



Ilustración 54: Desfibradora

Fuente: (izaro manufacturing technology, 2010)

Peletizadora



Ilustración 55: Peletizadora

Fuente: (maquinariaparaplastico.com, 2017)

Criba vibratoria

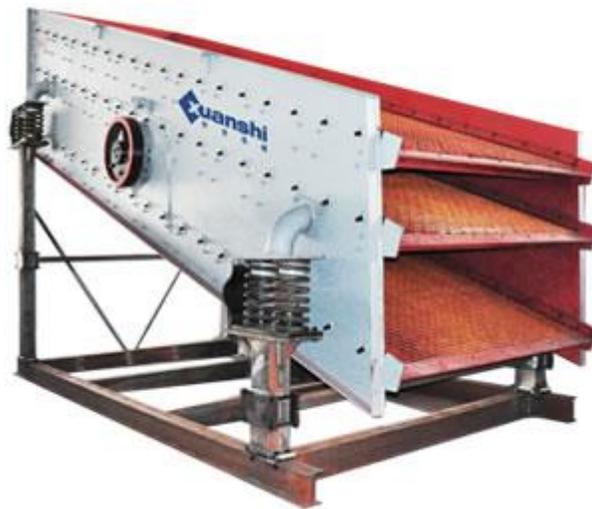


Ilustración 56: criba vibratoria

Fuente: (Shanghai Xuanshi Machinery, 2016)

Electro-imán



Ilustración 57: Electro-imán

Fuente: (construnario.com, 2017)

Lavadora de neumáticos



Ilustración 58: lavadora de neumáticos

Fuente: (Elesi.es, 2017)

Removedor de tapas y etiquetas para botellas pet



Ilustración 59: removedor de tapas y etiquetas para botellas pet

Fuente: (izaro manufacturing technology, 2010)

Trommel



Ilustración 60: Trommel

Fuente: (westsalem.com, 2017)

Mini cargador



Ilustración 61: mini cargador

Fuente: (cat.com, 2017)

Montacarga



Ilustración 62: montacarga

Fuente: (cat.com, 2017)

Colores recipientes para clasificación Urbana



Ilustración 63: colores para recipientes de clasificación de residuos

Fuente: El autor

