

Proyecto Fin de Máster

Ingeniería Química

Prediseño del proceso de selección y clasificación de envases plásticos ligeros con la implementación de tecnología del Internet de las Cosas (IoT)

Autor: Santiago Alejandro Hernández Leal

Tutor: Ricardo Arjona Antolín

Dep. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Proyecto Fin de Máster
Ingeniería Química

Prediseño del proceso de selección y clasificación de envases plásticos ligeros con la implementación de tecnología del Internet de las Cosas (IoT)

Autor:

Santiago Alejandro Hernández Leal

Tutor:

Ricardo Arjona Antolín

Profesor Asociado

Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Proyecto Fin de Máster: Prediseño del proceso de selección y clasificación de envases plásticos ligeros con la implementación de tecnología del Internet de las Cosas (IoT)

Autor: Santiago Alejandro Hernández Leal

Tutor: Ricardo Arjona Antolín

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

A mi familia, por creer en mí y por su apoyo incondicional. A mis padres, por enseñarme a cultivar los valores del esfuerzo, la dedicación y la perseverancia.

A Dios ya que considero que en parte todo lo que soy es gracias a él.

A mis maestros por guiarme en este arduo camino con total entereza y compromiso conmigo.

A mis amigos por compartir conmigo esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero expresar el enorme agradecimiento a el tutor principal de este proyecto, el profesor Ricardo Arjona Antolín como también al Doctor Juan Luis Sanz por permitirme realizarlo bajo su supervisión, resolviendo mis dudas y dedicándome lo más valioso que una persona puede entregar, su tiempo. Muchas gracias por el acompañamiento durante este proyecto.

También quiero agradecer a los profesores y profesoras del Máster de Ingeniería Química de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI) de la Universidad de Sevilla, por sembrar en mí nuevos conocimientos e inquietudes, permitiendo de esta manera que se abran nuevas puertas de mi carrera profesional. Gracias por su esfuerzo, tiempo y dedicación.

A mi familia y amigos, por siempre creer en mí hasta cuando yo mismo dudaba y por estar presente siempre que los necesité.

Santiago Alejandro Hernández Leal

Sevilla, 2021

RESUMEN

El sistema de gestión de residuos en España es actualmente mediante fraccionamiento, una de esas fracciones es de residuos de envases plásticos ligeros (contenedor amarillo), esta está compuestas de envases y embalajes de diferentes tipos de materiales como lo son el acero, aluminio y plásticos (PET, HDPE, LDPE, PP, PS y otros). Entre los objetivos principales de la gestión de residuos se tiene la preparación para el reciclado del material en un 65% para 2.030 y limitar el porcentaje del vertido al 10% en 2.035, para lograr esto las plantas de clasificación y selección deben alcanzar una gran eficiencia.

En el presente proyecto se plantea el prediseño del proceso de selección y clasificación de envases plásticos ligeros implementando equipos que utilizan la tecnología IoT (Internet of Thing), con el fin de aumentar la eficiencia de la planta modelo (Montemarta Cónica Aborgase), ya que para el año 2.018 con los equipos que están en funcionamiento (ópticos) la planta alcanzó una eficiencia del 55.10%.

Como resultado, se han seleccionado dos alternativas que se ajustan a este proceso los cuales son: Alternativa 1 (Robb AQC fabricado por la empresa Bollegraaf) y la alternativa 2 (Cortex de la empresa AMP Robotics), estos han arrojado resultados positivos en cuanto al aumento de la eficiencia de la planta, para el caso de la alternativa 1 un aumento del 8,15% mientras que para la alternativa 2 el aumento fue del 8,97%, siendo estos capaces de producir el producto terminado (balas) con una pureza $> 96\%$ y 99% respectivamente.

Por otro lado, en materia económica estos equipos en la actualidad no son una opción rentable, debido a que el periodo de recuperación de la inversión oscila entre 12 y 13 años.

ABSTRACT

The waste management system in Spain is currently managed by fractionation, one of these fractions is the light plastic packaging waste (yellow container), this is composed of containers and packaging of different types of materials such as steel, aluminum and plastics (PET, HDPE, LDPE, PP, PS and others). Among the main objectives of waste management is the preparation for the recycling of the material by 65% by 2030 and limiting the percentage of the discharge to 10% in 2035, to achieve this classification and selection plants must achieve great efficiency.

In this project, the pre-design of the process of selection and classification of light plastic containers is proposed, implementing equipment that uses IoT (Internet of Thing) technology, in order to increase the efficiency of the plant, since by the year 2018 with the equipment that is in operation (optical) the plant reaches an efficiency of 55.10%.

As a result, two alternatives that conform to this process have been selected, which are: Alternative 1 (Robb AQC manufactured by the Bollegraaf company) and alternative 2 (Cortex from the AMP Robotics company), these have yielded positive results in terms of plant efficiency increase, for alternative 1 an increase of 8.15% while for alternative 2 the increase was 8.97%, being these capable of producing the finished product (bales) with a purity > 96% and 99% respectively.

On the other hand, in economic matters, these teams are currently not a profitable option since, with the benefits that would be obtained with this implementation of the process; it would take 12 years to amortize the investment.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
ÍNDICE	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETIVOS Y ALCANCE	3
2.1 Planteamiento del problema	3
2.2 Objetivos.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos	3
2.3 Alcance del Proyecto	4
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1 Residuos Sólidos Urbanos RSU	5
3.2 Generación de Residuos en España	6
3.3 Sistema de Gestión de Residuos	8
3.4 ECOEMBES	10
3.5 Planta de Selección de Envases Ligeros (EELL).....	11
• Tiene como objetivos.....	11
• Residuos tratados en estas plantas	11
Polietileno de Baja densidad (PEBD).....	11
Polietileno de Alta densidad (PEAD)	12
Polietilentereftalato (PET)	12
Otras Fracciones	12
• Identificación de los envases Plásticos	12
• Operaciones de la Planta de Selección de Envases Ligeros.....	13
1. Recepción y Almacenamiento	13
2. Operaciones de pretratamientos.....	14
• Alimentación y Dosificación.....	14
• Triaje Voluminoso	14
• Abrebolsas	14

•	Clasificación con Tromel.....	15
•	Clasificación con separadores Balísticos.....	15
3.	Operaciones de Selección del material.....	15
•	Separación Neumática	15
•	Separación Magnética.....	15
•	Separación Óptica	16
•	Separación Por Inducción	16
•	Separación Manual.....	16
4.	Operaciones de Control de Calidad, adecuación de materiales y gestión de rechazos	17
	Control de Calidad	17
•	Almacenamiento temporal de los materiales seleccionados	17
•	Prensado del material seleccionado	17
•	Gestión de los rechazos de la instalación.....	17
3.6	Internet of Things (IoT).....	18
3.7	Residuos de Envases Ligeros en Andalucía.....	19
4.	TAREAS DEL PROYECTO	21
4.1	Tarea I: Evaluación de la situación actual de la planta.....	21
4.1.1	Balance de Materia de la planta en estudio.....	21
4.1.1.1	Balance de materia en cada unidad de proceso.....	24
•	Triaje primario.....	24
•	Abre-bolsas.....	24
•	Balance de materia en el Tromel.....	24
•	Separador Balístico	25
•	Separador Magnético de Finos	25
•	Aspiración de Film fracción Planares	26
•	Aspiración de film Rodantes	26
•	Separador Magnético Rodantes.....	26
•	Separadores Ópticos PET, PEAD (Film), Plástico Mezcla (PM), Brik.	27
•	Separador por Inducción (Aluminio).....	28
•	Triaje Secundario	28
•	Recuperación de Valorizables	29
4.1.2	Especificaciones de los Materiales Recuperados (EMR)	34
4.2	Tarea II: Establecer las propuestas de mejora o implementación de los procesos en la planta en estudio utilizando las tecnologías IoT.....	38
4.2.1	ECOPICK – PICVISA.....	38
	Tecnología del robot ECOPICK	38
	Aplicaciones de ECOPICK	39

Características Técnicas del Equipo ECO PICK	40
4.2.2 SamurAI – Machinex	40
Características del robot SamurAI	41
4.2.3 Fast Picker – ZenRobotics	41
Aplicaciones de Fast Picker	42
Características del Fast Picker	43
4.2.4 RoBB AQC Robotic Sorter – Bollegraaf.....	43
Características del RoBB - AQC.....	44
4.2.5 Max AI - Bulk Handling Systems (BHS)	45
Tecnología utilizada por Max – AI	45
Aplicaciones de Max – AI	46
Características técnicas de MaxAI AQC - C.....	48
4.2.6 Cortex – AMP Robotics.....	48
4.3 Tarea III: Evaluar en términos de producción la implementación de la tecnología IoT pre-establecidas.....	50
4.3.1 Pesos Promedios de cada tipo de Valorizable	50
4.3.1.1 Peso promedio de Plásticos PET	50
4.3.1.2 Peso promedio de Plásticos PEAD.....	50
4.3.1.3 Peso promedio de Plásticos PEBD	51
4.3.1.4 Peso promedio de Plásticos PM.....	51
4.3.1.5 Peso promedio de Plásticos Brik.....	52
4.3.2 Bases de Cálculos utilizados en el balance de materia.....	54
4.3.3 Balance de materia.....	54
• Cálculo del número de robots	55
• Cálculo de la producción con la tecnología implementada	57
4.4 Tarea IV: Evaluar económicamente la implementación de estas mejoras tecnológicas.....	60
4.4.1 Estimación económica con la configuración actual	60
4.4.2 Análisis económico de la planta con la incorporación de IoT	61
4.4.3 Coste de los equipos	62
5. CONCLUSIONES.....	65
REFERENCIAS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Residuos Generados y Tratados en España.....	7
Tabla 3.2: Residuos de competencia municipal recogidos en España.	8
Tabla 3.3: Cantidad recogidas por Comunidad Autónoma.....	20
Tabla 3.4: Cantidad de Envases ligeros y P/C por habitantes.....	20
Tabla 4.1: Producción de la planta en el año 2018.....	22
Tabla 4.2: Valorizables totales de la planta.....	30
Tabla 4.3: Comparación de cantidad de valorizables.....	30
Tabla 4.4: Flujos de las corrientes del Proceso Actual.....	32
Tabla 4.5: EMR de envases de plástico PET.....	34
Tabla 4.6: EMR de envases de plástico PEAD.....	34
Tabla 4.7: EMR de envases de plástico PEAD Natural.....	35
Tabla 4.8: EMR de envases de plástico FILM.....	35
Tabla 4.9: EMR de envases de plástico Mezcla.....	36
Tabla 4.10: EMR de envases de Cartón Bebidas/Alimentos.....	36
Tabla 4.11: EMR de envases metálicos de Acero.....	37
Tabla 4.12: EMR de envases metálicos de Aluminio.....	37
Tabla 4.13: Características técnicas de ECO PICK.....	40
Tabla 4.14: Características técnicas de Samur AI.....	41
Tabla 4.15: Características técnicas de Fast Picker.....	43
Tabla 4.16: Características técnicas de Robb - AQC.....	44
Tabla 4.17 Características técnicas de AQC – C.....	48
Tabla 4.18 Características técnicas de AMP Cortex.....	49
Tabla 4.19 Peso promedio plásticos PET.....	50
Tabla 4.20 Peso promedio plásticos PEAD.....	51
Tabla 4.21 Peso promedio plásticos PEBD.....	51
Tabla 4.22 Peso promedio plásticos mezcla PM.....	51
Tabla 4.23 Peso promedio plásticos Brik.....	52
Tabla 4.24 Peso de cada unidad por valorizable.....	52
Tabla 4.25 Alimentación a la unidad de robots.....	55
Tabla 4.26 Pickings reales de los robots.....	55
Tabla 4.27 Número de robots.....	56
Tabla 4.28 Salida de la unidad de robots.....	57

Tabla 4.29 Triaje secundario	58
Tabla 4.30 Producción con la implementación de las alternativas	58
Tabla 4.31 Comparación de la producción Alternativas VS Ópticos.....	59
Tabla 4.32 Precio de cada valorizable	61
Tabla 4.33 Ingresos por precio unitario en 2.018.....	61
Tabla 4.34 Ingresos por precio unitario con los robots implementados	62
Tabla 4.35 Coste unitario de los equipos.....	63
Tabla 4.36 Coste total de los equipos	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Tipos de Contenedores ubicados en la ciudad de Sevilla.....	9
Figura 3.2: Tipos de envases depositados en el contenedor amarillo.....	9
Figura 3.3: Modelo Ecoembes.....	10
Figura 3.4: Identificación de los tipos de plásticos.....	13
Figura 3.5: Etapa de recepción y almacenamiento.....	14
Figura 3.6: Separador Foucault.....	16
Figura 3.7: Situación actual por Comunidades Autónomas.....	19
Figura 4.1 Diagrama de Flujo de Proceso de una planta de selección de envases Automática de 5 t/h.....	23
Figura 4.2 Diagrama de Flujo de Proceso Actual con los flujos y porcentajes de recuperación de cada corriente.....	33
Figura 4.3: Robot ECO PICK.....	39
Figura 4.4: Robot SamurAI.....	41
Figura 4.5: Robot Fast Picker.....	42
Figura 4.6: Robot RoBB AQC.....	44
Figura 4.7: Robot MaxAI en planta.....	46
Figura 4.8: Vista desde arriba del AQC-1 (izquierda) y AQC-2 (Derecha)..	47
Figura 4.9: Equipo AQC-C.....	47
Figura 4.10: Modelo de trabajo de Cortex.....	48
Figura 4.11 Diagrama de Flujo de Proceso de la planta de selección de envases Modificada.....	53
Figura 4.12: DFP de la unidad de los robots.....	54

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos constituyen uno de los mayores problemas medioambientales con que se enfrenta la humanidad, problema que adquiere una especial gravedad en el denominado mundo desarrollado, es por ende que se debe encontrar la manera de reciclarlos o de encontrarles algún aprovechamiento, antes de llevarlos a un vertedero.

En España, la **Ley 22/2011 de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados**, define los residuos como, cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseché o tenga la intención o la obligación de desechar. Existen diferentes tipos de residuos tales como, los *domésticos* que son los generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias, otro tipo de residuos son los *comerciales* los cuales son residuos generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de los servicios de restauración y bares, de las oficinas y de los mercados, así como del resto del sector servicios y por último los residuos *industriales* que son los resultantes de los procesos de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial, excluidas las emisiones a la atmósfera reguladas en la Ley 34/2007, de 15 de noviembre.

Por otra parte, el **Reglamento de Residuos de la Comunidad Autónoma de Andalucía** entiende como R.S.U. los producidos como consecuencia de las siguientes actividades (art. 3):

- a. Residuos sólidos que constituyan basuras domiciliarias o se generen por las actividades comerciales o de servicios, así como los procedentes de la limpieza viaria o de los parques y jardines.
- b. Vehículos y enseres domésticos, maquinaria y equipo industrial abandonados.
- c. Escombros y restos de obras.
- d. Residuos biológicos y sanitarios incluyendo los animales muertos y los residuos o enseres procedentes de actividades sanitarias, de investigación o fabricación, que tengan una composición biológica y deban someterse a tratamiento específico.
- e. Residuos de actividades agrícolas entre los que se incluyen expresamente los substratos utilizados para cultivos forzados y los plásticos y demás materiales utilizados para la protección de tales cultivos contra la intemperie.
- f. Todos cuantos desechos y residuos deban ser gestionados por las Corporaciones Locales con arreglo a la vigente legislación de Régimen Local.

Aborgase es la empresa encargada de la clasificación y gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) en el

área metropolitana de Sevilla. Cuenta con el Centro Integral de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos Montemarta-Cónica para el desarrollo de estas actividades. Dentro de dicho centro se encuentran varias instalaciones, entre las que cabe destacar la planta de clasificación y tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), la planta de clasificación de envases, el vertedero controlado y la planta de generación de energía eléctrica a partir de biogás. Actualmente, en el centro existe una planta de selección automática de residuos de envases (contenedor amarillo), de una capacidad de unas 15.000 t/a, la cual separa los residuos del contenedor amarillo por familias (PET, PEAD, PEBD, Plástico mezcla, Acero, Aluminio, Brik, entre otros).

La planta de clasificación y gestión de residuos ve la necesidad de optimizar la clasificación y selección de envases ligeros para un mayor aprovechamiento de los mismos en la cadena de valor, para esto se plantea pasar del modelo automático a uno inteligente utilizando el Internet of Things (IoT), implementado equipos que utilicen esta tecnología.

Razonando lo anteriormente dicho, el presente proyecto se plantea evaluar de manera técnica y económica la implementación de la tecnología IoT en dicho proceso de clasificación y selección, para maximizar la recuperación de los residuos de envases plásticos procedentes de la selección selectiva de la ciudad de Sevilla, seleccionando como planta modelo la descrita anteriormente.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión de residuos en la Unión Europea es un aspecto que debe reforzarse con miras a proteger, preservar y mejorar la calidad del medio ambiente, así como a proteger la salud humana, garantizar la utilización prudente, eficiente y racional de los recursos naturales, promover los principios de la economía circular, mejorar el uso de la energía renovable, aumentar la eficiencia energética, reducir la dependencia de los recursos importados, crear nuevas oportunidades económicas y contribuir a la competitividad a largo plazo. (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2020).

Actualmente la producción de productos plásticos está en pleno auge, esto crea uno de los grandes problemas ecológicos del mundo, según la asociación PRE (Plastic recyclers Europe). Para aumentar el porcentaje de reciclaje de envases plásticos la empresa de gestión de residuos Aborgase se ve la necesidad de mejorar el proceso de selección y clasificación de plásticos procedente de la recolección selectiva. Para conseguir esto se plantea mejorar el proceso de selección y clasificación utilizando la tecnología de IoT y buscarles un mejor aprovechamiento en la cadena de valor.

2.2 OBJETIVOS

Objetivo General

Prediseñar un proceso de selección y clasificación de envases plásticos ligeros con la implementación de equipos que utilizan la tecnología del Internet de las Cosas (IoT).

Objetivos Específicos

- Evaluar la situación actual de la planta.
- Establecer las propuestas de mejora o implementación de los procesos en la planta en estudio utilizando las tecnologías IoT.
- Evaluar en términos de producción la implementación de la tecnología IoT pre-establecidas.
- Evaluar económicamente la implementación de estas mejoras tecnológicas

2.3 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto contempla la base de la mejora en el proceso de selección y clasificación de residuos de envases plásticos ligeros, eligiendo como modelo la planta de Montemarta Cónica – ABORGASE Sevilla, a fin de clasificarlos según su origen con el objetivo de reintroducirlo en la cadena de valor. Se evaluó la implementación de una nueva configuración de equipos que utilizan la tecnología del Internet de las cosas (IoT) con el fin de seleccionar y clasificar un mayor porcentaje de esta familia de plásticos y posteriormente valorizarlos. Este proyecto se adentrará en las modificaciones del sistema de clasificación actual de residuos de envases plásticos ligeros para así proponer las modificaciones necesarias del proceso utilizando dicha tecnología, planteando la sustitución de los equipos de ópticos existentes en la planta modelo, por equipos que utilizan la tecnología IoT, dado que estos son más eficientes en la unidad del proceso de selección de material solicitado. Como punto de partida se tiene una alimentación al proceso de 11.783,2 toneladas de los cuales se recuperaron el 55.10%, esperando así, con la implementación de esta tecnología aumentar recuperación de los materiales solicitados.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS RSU

Los residuos sólidos se pueden clasificar en diferentes tipos dependiendo de su origen: los residuos domésticos se clasifican generalmente como urbanos, residuos industriales como peligrosos y los desechos biomédicos o residuos hospitalarios como infecciosos. El término “residuo sólido”, significa toda la basura, desecho, o lodos procedentes de una planta de tratamiento de residuos, planta de tratamiento de agua potable, o centro de control de la contaminación del aire y otros materiales desechados, incluyendo sólidos, líquidos, semisólidos o material gaseoso resultante de operaciones industriales, comerciales, mineras y agrícolas (Issn, 2015).

La Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados define los residuos sólidos urbanos (RSU) como los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades (España, 2011).

Tienen también la consideración de residuos urbanos según la citada ley, los siguientes:

- Residuos procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas.
- Animales domésticos muertos, así como muebles, enseres y vehículos abandonados.
- Residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.

La composición y generación de los RSU depende de los siguientes factores:

- Modo y nivel de vida de la población
- Actividad de la población y características
- Climatología de la zona
- Estacionalidad
- Efecto de las actitudes públicas y la legislación

Una de las características de una sociedad desarrollada con una alta industrialización es la producción de residuos sólidos urbanos. Se supone un indicador de nivel de desarrollo económico de una comunidad ya que está relacionado con las cotas de producción y por tanto con los residuos que toda actividad productora genera. Se incentiva el mayor consumo de productos pudiéndose observar en nuestro mismo ámbito doméstico este aumento (mayor gama de productos de limpieza, productos alimenticios cada vez más elaborados, cosméticos, electrodomésticos, entre otros). También existe una mayor proliferación de embalajes, ya sea por cuestiones

higiénicas o tipo de comercialización (grandes supermercados, autoservicios, entre otros), los productos se presentan en soportes cada vez más sofisticados y llamativos como reclamo para el consumidor. Los materiales de los que están constituidos estos soportes son diversos: cartón, vidrio, toda gama de plásticos, aluminio, entre otros. (Del Val, 2011).

La adecuada gestión de residuos debe tener como punto de partida la prevención de su generación y de su peligrosidad, junto con el fomento de su reutilización, reciclaje y valorización. La reducción en origen está comprendida en el concepto de Producción Limpia y Consumo Sustentable, el cual requiere de una significativa transformación de los modelos de producción y consumo para lograr la utilización sostenible de los recursos y prevenir la contaminación generada por los procesos de producción de los bienes, por su uso, consumo o la prestación de servicios. La cantidad de residuos a disponer podrá disminuir aún más si los que no pueden dejar de generarse son sometidos a procesos de reciclado tantas veces como sea posible, antes de ser descartados definitivamente. El proceso de reciclado, al utilizar como insumo los materiales recuperados de los RSU dando lugar a su valorización, permiten, al mismo tiempo, reemplazar y ahorrar los recursos naturales que sustituyen (José & Soto, 2014).

Es entonces donde la economía circular juega un papel importante en este sector ya que representa un modelo más sostenible y alternativo a la economía lineal tradicional. Un modelo lineal sigue la ruta de fabricar, usar y desechar. En cambio, en una economía circular, los recursos se utilizan el máximo tiempo posible, se extrae de ellos el máximo valor mientras están en uso, y después se recuperan y regeneran productos y materiales al final de su vida útil. Como resultado, una economía circular significa también una forma de mejorar la competitividad y la eficiencia de recursos de Europa (Plastics Europe, 2021).

Es importante resaltar la jerarquía de los residuos según la Ley 22/2011, la cual reza en su artículo 8 que las administraciones competentes, en el desarrollo de las políticas y de la legislación en materia de prevención y gestión de residuos, aplicarán para conseguir el mejor resultado ambiental global, la jerarquía de residuos por el siguiente orden de prioridad:

- a. Prevención;
- b. Preparación para la reutilización;
- c. Reciclado;
- d. Otro tipo de valorización, incluida la valorización energética; y
- e. Eliminación.

3.2 GENERACIÓN DE RESIDUOS EN ESPAÑA

En el año 2018 la cantidad de residuos de competencia municipal recogido en España fue de 22 M de toneladas según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) publicado en su informe Memoria Anual de Gestión y Generación de Residuos de Competencia Municipal (MITECO, 2018).

Tabla 3.1: Residuos Generados y Tratados en España (MITECO, 2018).

Fuente	Residuo	Generación (t)	Reciclado (t)	Compostaje (t)	Vertido (t)	Incineración (t)
MITECO	Mezclas de residuos municipales	17.646.563	786.394	3.132.247	11.291.932	2.435.989
	Papel y cartón	1.067.384	1.067.384	0	0	0
	Vidrio	13.884	13.884	0	0	0
	Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes	736.377	0	495.977	184.288	56.111
	Residuos biodegradables de parques y jardines	273.640	0	161.604	102.684	9.351
	Envases mezclados	743.556	473.330	0	224.108	46.119
	Envases de vidrio	820.880	820.880	0	0	0
	Residuos metálicos	27.875	27.859	0	16	0
	Residuos de plástico	24.050	19.037	0	4.015	997
	Residuos de madera	136.153	118.039	0	4.316	13.799
INE	Residuos textiles	40.344	24.203	0	13.576	2.565
	Equipos desechados	58.733	53.482	0	5.251	0
	Residuos de pilas y acumuladores	1.890	1.890	0	0	0
	Residuos de mercados Residuos voluminosos	673.495	601.214	0	57.704	14.577
	Tierras y piedras de parques y jardines	0	0	0	0	0
TOTAL		22.264.824	4.007.596	3.789.828	11.887.890	2.579.509
	%		18,0	17,0	53,4	11,6

Las cantidades de la tabla 3.1 de los datos aportados por el MITECO varían ligeramente respecto a los totales nacionales, al realizarse una estimación de la asignación de la información sobre los residuos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) a cada CCAA.

Por otro lado, las cantidades que se indican en la tabla 3.2 corresponden a residuos domésticos y comerciales, procedentes de hogares y del sector servicios (comercio, oficinas e instituciones) gestionados por las Entidades

Locales, no incluyéndose los residuos comerciales gestionados por canales privados distintos al municipal, ni residuos procedentes de la industria.

Tabla 3.2: Residuos de competencia municipal recogidos en España (MITECO, 2018).

Modalidad de recogida	Residuos	t/año	%
Residuos mezclados	Mezclas de residuos municipales	17.646.563	83
	Papel y cartón	1.067.384	
	Vidrio	13.884	
Residuos recogidos selectivamente	Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes	736.377	17
	Residuos biodegradables de parques y jardines	27.364	
	Envases mezclados	743.556	
	Envases de vidrio	82.088	
	Total	21.302.283	100

En la tabla anterior se observa que de los 22 M de toneladas de residuos generados en el año 2018, de los cuales 743.556 t corresponden a envases, estos envases son los depositados en los contenedores amarillos. Para este proyecto es este tipo de residuos es el que estudiaremos para una mejor gestión del mismo para así obtener mayor porcentaje de recuperación.

3.3 SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS

El sistema de gestión de residuos en España actualmente se gestiona mediante fraccionamiento. Se asigna un contenedor para la fracción resto (contenedor gris), un contenedor para envases ligeros (contenedor amarillo), un contenedor para papel y cartón (contenedor azul) y un contenedor para vidrio (contenedor verde). Pueden observarse en la figura 1.1. (Brandan, 2020).



Figura 3.1: Tipos de Contenedores ubicados en la ciudad de Sevilla (Brandan, 2020).

En este proyecto nos enfocaremos en la fracción de envases ligeros (contenedor amarillo), esta fracción debe estar compuesta de envases de plástico, envases metálicos y cartón para bebidas (como botellas de zumo, leche y tomate, botes de champú o suavizante, botellas de agua, yogures, bandejas de corcho, papel de film, bolsas de plástico, etc.), en la figura 3.2 se observan los diferentes tipos de envases depositados en dicho contenedor. (LIPASAM, 2021).



Figura 3.2: Tipos de envases depositados en el contenedor amarillo (Brandan, 2020).

La empresa en estudio está adherida dentro del Sistema Integrado de Gestión (SIG) Ecoembes, el cual tiene como finalidad la recogida periódica de envases usados y residuos de envases, en el domicilio del consumidor o en sus proximidades y deberán garantizar el cumplimiento de los objetivos de reciclado y valorización que determine la Ley.

3.4 ECOEMBES

Ecoembes es una organización medioambiental sin ánimo de lucro que promueve la sostenibilidad y el cuidado del medioambiente a través del reciclaje, teniendo como objetivo hacer la recuperación y el reciclaje de los envases de plástico, los de metal y el cartón para bebidas y alimentos, además de los envases de madera y los de papel y cartón de la manera más eficiente posible. Para ello, coordina los esfuerzos de todos los agentes implicados en el proceso de recogida selectiva y reciclaje de envases: empresas, ciudadanos, administraciones públicas y recicladores (Ecoembes, s. f.).

En la figura 3.3 se muestra el circuito que siguen los envases hasta llegar a los puntos de separación colocados por las entidades locales (ayuntamientos); una vez en este punto son gestionados por la entidad, que se encarga de la recogida selectiva como también de las campañas de sensibilización de los consumidores. Los ingresos de la entidad sin fines de lucro están dados por la venta de materiales a recicladores como a distribuidores y envasadores a los que se le retorna envases o material para volverlos a introducir en su cadena productiva. (Brandan, 2020).

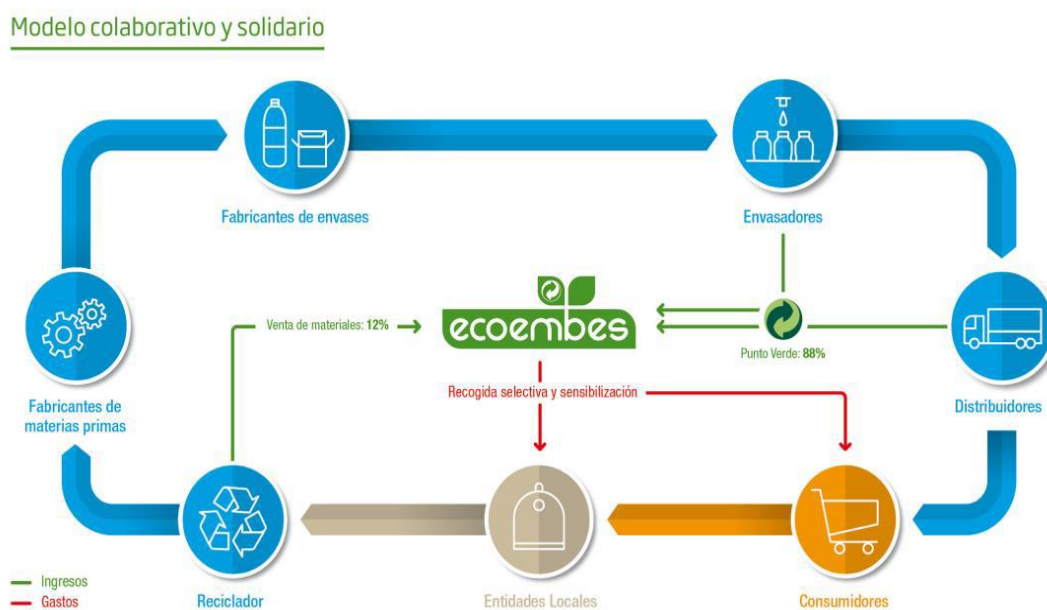


Figura 3.3: Modelo Ecoembes (Brandan, 2020).

En lo que respecta a costes directos, el mayor porcentaje de costes está destinado a la selección y tratamiento de los residuos de envases, seguido por los gastos de recogida desde contenedores hasta el punto verde. Y en costes indirectos, la entidad declara que invierte en Investigación y Desarrollo, y el menor de los porcentajes se invierte en sensibilización ciudadana.

En el informe anual de Ecoembes del 2019, la empresa expone que recogió a través de su sistema de gestión 1.505.661 toneladas de residuos de envases (616.736 t de envases de plásticos, 249.420 t de envases metálicos y 631.683 t de envases de papel y cartón) en ese año con una tasa de reciclaje de envases adheridos a

Ecoembes del 80.2%. (Ecoembes, 2019.).

3.5 PLANTA DE SELECCIÓN DE ENVASES LIGEROS (EELL)

Una planta de selección de envases ligeros (EELL) es una instalación especializada en la clasificación, de forma manual y/o mecánica, de los diferentes tipos de envases ligeros, procedentes de la recogida selectiva realizada por los ciudadanos a través de los contenedores amarillos de la vía pública, en función de su composición (Ecoembes, s. f.).

- **Tiene como objetivos**

- ✓ Preparación para el reciclaje el cual tiene como objetivo para el año 2.030 un 65%.
- ✓ Limitar el porcentaje del vertido al 10% para el 2.035.
- ✓ Satisfacer la jerarquía de los Residuos (Ley 21/2011)
- ✓ Proceder a la valorización de los residuos objeto de selección (EELL).
- ✓ Reintroducir materiales seleccionados en el ciclo de consumo, con el consiguiente ahorro de materias primas. Crear una infraestructura industrial y comercial productiva, generadora de puestos de trabajo.
- ✓ Generar una mejora ambiental, consecuencia de una adecuada Gestión del tratamiento de los residuos objeto de la selección.

- **Residuos tratados en estas plantas**

Los residuos que se tratarán en las plantas de selección de EELL proceden de la recogida selectiva de los contenedores amarillos, donde los ciudadanos han depositado los envases ligeros de origen doméstico. Refiriéndose a envases de plásticos, envases metálicos y cartón para bebidas y alimentos. Estos contienen impurezas o materiales no solicitados que durante el proceso de selección deben separarse de los materiales solicitados.

Los materiales solicitados son:

Polietileno de Baja densidad (PEBD)

El polietileno de baja densidad (siglas en inglés LDPE) es el tipo de polietileno más utilizado en el envasado, en forma de películas, tiene una densidad de 0.910 a 0.925 g/cm³, ofrece propiedades como una buena resistencia al impacto, una muy buena procesabilidad, resistencia térmica y química y es más flexible que el polietileno de alta densidad. El PEBD admite fácilmente el termosellado y representa el grado de polietileno más económico, en general es un material con usos múltiples como para la fabricación de films para envases y embalajes, desde film retráctil, film industrial, laminación, envasado de alimentos y sacos; también se emplea en la fabricación de cubiertas para cables de telecomunicación y energía. (Robson, 2000).

Polietileno de Alta densidad (PEAD)

El polietileno de alta densidad por sus siglas en inglés (HDPE) es un material rígido el cual puede someterse a temperaturas que alcanzan los 120 °C y tiene una densidad entre 0.941 a 0.965 g/cm³ (Robson, 2000). El polietileno de alta densidad es un producto muy valorado cuya oferta se destina para aplicaciones como envases lácteos, cosméticos, detergentes, envases para productos químicos, mercancías peligrosas y derivados del petróleo. También son destinados para hacer film soplado con propiedades de tenacidad y espesor muy fino empleado, por ejemplo, en bolsas para productos frescos, en la fabricación de tuberías de presión para agua, gas y riego así como para tuberías de saneamiento, drenaje y protección de cables (REPSOL, 2021).

Polietilentereftalato (PET)

El plástico PET, es un polímero plástico que se obtiene a partir del etileno y el paraxileno. Puede ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado termoformado. Es un material lineal, con una gran transparencia y dureza, muy resistente, tanto al desgaste y a los productos químicos, como al impacto, a la rotura y al fuego. Además, hay que sumarle que es totalmente reciclable y respetuoso con el medio ambiente. A la par que genera poco humo no tóxico y no emite sustancias tóxicas que contaminen en los vertederos, actúa como barrera contra los gases (Arteplastica, 2021). Entre las propiedades de este tipo de plástico tiene buena barrera a CO² y aceptable a oxígeno y humedad, alta resistencia química e indeformabilidad térmica, transparente y cristalino, y admite algunos colorantes, liviano, 100% reciclable.

Otras Fracciones

Esta fracción de plástico mezcla está compuesta por materiales de PS (poliestireno), PP (polipropileno), y otros plásticos; además se encuentran los envases metálicos de aluminio y de acero, así como los envases de cartón para bebidas y alimentos (Ecoembes, s. f.).

- **Identificación de los envases Plásticos**

Con el fin de facilitar la identificación visual de los tipos de plásticos, los principales componentes plásticos (envases, tapones, y tapas) deberían llevar su identificador de material. La identificación de materiales es voluntaria en Europa, si se realiza sería necesario cumplir con la Decisión 97/129/CE de la Comisión, aunque también se acepta el sistema de la Sociedad de Industrias de plásticos (SPI), ampliamente utilizado y muy similar, elaborado en EE.UU. El símbolo debe ser claramente visible y, en condiciones ideales, debe formar parte del molde del envase, en la figura 3.4 se observa la identificación para los diferentes tipos de plásticos.



Figura 3.4: Identificación de los tipos de plásticos (Ecoembes, 2016)

- **Operaciones de la Planta de Selección de Envases Ligeros**

El proceso de tratamiento de una planta de selección de EELL se divide en cuatro grupos principales de operaciones:

- ✓ Recepción y almacenamiento
- ✓ Pretratamiento
- ✓ Selección de materiales
- ✓ Controles de calidad, adecuación de los materiales seleccionados y gestión de rechazo

1. Recepción y Almacenamiento

Esta etapa del proceso consiste en el manejo de recepción y almacenamiento de la materia prima (residuos del contenedor amarillo), los vehículos con los residuos de envases recolectados de la vía pública llegan a la instalación de selección pasando por el control de accesos y pesadas (báscula). Una vez pesados e identificados los vehículos, se dirigen hacia el área de recepción cubierta, donde se descargan los residuos transportados en la zona o lugar indicado por el operador del área de descarga y alimentación para su homogeneización y posterior alimentación con pala cargadora. La pala cargadora apila los residuos descargados en altura, optimizando la superficie disponible destinada a almacenamiento previo al tratamiento. En este proceso se pueden encontrar determinados componentes de residuos voluminosos que por su forma o tamaño, obstaculizan el trabajo y podrían afectar a los posteriores equipos de selección. El operario, con ayuda de la pala cargadora, los depositará en un contenedor específico situado en la misma superficie o fuera de la misma, en la figura 3.5 se observan imágenes de esta etapa del proceso.



Figura 3.5: Etapa de recepción y almacenamiento (Ecoembes, s. f.).

2. Operaciones de pretratamientos

En las plantas de clasificación de envases ligeros automáticas incluidas en el SIG de Ecoembes existen cinco operaciones de pretratamientos, las mismas serán explicadas a continuación:

- Alimentación y Dosificación

Como primera operación de pretratamiento tenemos la alimentación primaria dosificación, en esta los residuos depositados en el área de recepción son recogidos por la pala cargadora (playa de descarga), trasladados y descargados en el alimentador dosificador provisto de velocidad variable y de limitador de caudal, mediante el cual se regula el caudal de tratamiento.

- Triaje Voluminoso

Los residuos dosificados regularmente por el alimentador son descargados por el mismo en una cinta transportadora de triaje de voluminosos, donde los operarios de triaje seleccionan aquellos materiales que por su forma o tamaño son perjudiciales para los tratamientos posteriores, como por ejemplo: sábanas de film, cartonaje, entre otras cosas. Los materiales voluminosos seleccionados (valorizables y no valorizables) son almacenados en contenedores situados bajo la cabina de triaje para su envío a reciclador o a rechazos del tratamiento.

- Abrebolsas

Los residuos no seleccionados son descargados por la misma cinta de triaje en un equipo abre Bolsas cuya misión es extraer los materiales de las bolsas siendo preparados para el resto de las operaciones de selección.

- Clasificación con Tromel

Los componentes de las bolsas se someten a un proceso de cribado por medio de un tromel o criba giratoria, que clasificará los materiales en tres tamaños: 1) Componentes de tamaño fino, con alto contenido en orgánicos e inertes. 2) Componentes de tamaño intermedio, con alto contenido en envases reciclables. 3) Componentes de tamaño grande o rechazos del cribado.

- Clasificación con separadores Balísticos

El flujo de materiales de tamaño intermedio se somete posteriormente a la clasificación balística según forma, tamaño y densidad, y separado en tres nuevos flujos de materiales:

- ✓ Flujo de materiales pesado – rodante (rodantes), formado por la mayor parte de los materiales pesados y/o rodantes, fundamentalmente envases para líquidos, envases metálicos y cartón para bebidas y alimentos. Desciende por el plano inclinado del separador balístico.
- ✓ Flujo de materiales ligero – planar (planares), formado en su mayor parte por cartones, papeles y otros plásticos film de forma plana o aplastada que ascienden por el plano inclinado del equipo.
- ✓ Flujo de materiales finos, formado por finos que no han podido ser cribados en el tromel por estar adheridos a otros o entorpecidos por ellos, y que hunden por la malla del equipo.

La cantidad de material que llega a cada una de las tres fracciones dependerá de la calidad del material que entra en el equipo. El reparto que hace el separador balístico está en el entorno de 80 % de material rodante, 15 % de material planar y 5 % de materiales finos.

3. Operaciones de Selección del material

En esta parte del proceso de la planta se busca separar los materiales solicitados mediante cinco operaciones:

- Separación Neumática

El principal objetivo de la separación neumática es el de limpiar de materiales de film y papel los flujos de rodantes y de planares, ya que dichos materiales entorpecen la selección del resto de materiales. El material seleccionado es sometido a un control de calidad manual para separar impurezas. Posteriormente se almacena para su preparación para expedición (prensado).

- Separación Magnética

El flujo de rodantes de la separación balística es sometido a selección de materiales magnéticos (acero) mediante separadores del tipo over-band. Del mismo modo, las fracciones de finos del tromel y del separador balístico son sometidas a selección de materiales magnéticos antes de pasar a formar parte de los rechazos de la selección.

- Separación Óptica

El flujo de materiales rodantes que no han sido seleccionados por la aspiración neumática de esta línea ni por el separador magnético se somete a separaciones ópticas por infrarrojos o por colorimetría para seleccionar los siguientes materiales solicitados: envases de PET, envases de PEAD, envases de cartón de bebidas y alimentos (CBA) envases de plástico mezcla (PM). Para mejorar el rendimiento y la calidad de selección de estos materiales, la separación neumática y magnética precede a la separación óptica.

- Separación Por Inducción

El flujo de materiales no seleccionados por medio de la separación óptica es sometido a selección de metales no magnéticos (aluminio) mediante un separador de corrientes de Foucault.

Separador de corrientes de Foucault: Se trata de un dispositivo que permite la circulación de residuos y el aprovechamiento del fenómeno de repulsión por las corrientes parásitas. Es a resumidas cuentas de una línea de transporte, en la que al final del recorrido, se encuentra un cilindro magnético giratorio bajo la cinta transportadora, y los residuos, conforme van llegando se separan en tres recipientes distintos, según la naturaleza del material: *los residuos metálicos ferromagnéticos*, se mantienen adheridos al recorrido de la cinta por el efecto del campo magnético. Se despegan de la cinta cuando se alejan del efecto del imán, ya por debajo del cilindro y de la cinta magnética. *Los residuos no metálicos* caen por el efecto de la dinámica de la caída. Acaba el recorrido de la cinta de transporte, y caen por efecto de la gravedad en un recipiente puesto adrede. *Los metales no magnéticos*, sobre todo aluminio procedente de los envases, es repelido por el efecto de las corrientes de Foucault, y caen más lejos que los residuos no metálicos, en distintos montones, siendo así separados del resto (Rodríguez, 2016). En la figura 3.6 se muestra el funcionamiento del separador de Foucault.

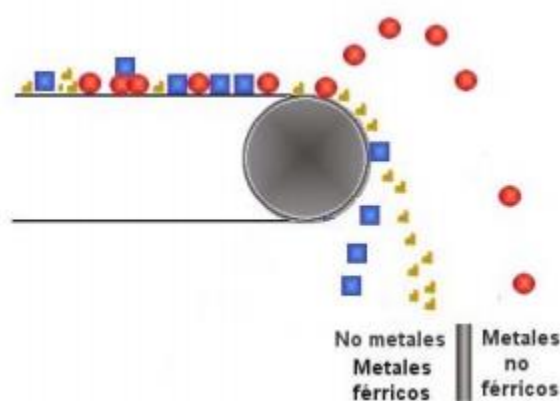


Figura 3.6: Separador Foucault (RegulatorCetrisa, 2021).

- Separación Manual

Los materiales no seleccionados de los flujos de rodantes y de planares convergen en una cinta sobre la que son sometidos a triaje manual. El resto no seleccionado pasa a formar parte de los rechazos de la selección.

4. Operaciones de Control de Calidad, adecuación de materiales y gestión de rechazos

Control de Calidad

Debido a errores o deficiencias producidos en los diferentes equipos ya que no son 100% eficientes, los materiales de envases seleccionados contienen impurezas que reducen la pureza del producto final, por lo que se retiran las impurezas mediante triaje manual. Esta operación se suele disponer después de las selecciones de cada uno de los materiales recuperados (PET, PEAD, CBA y PM) antes de ser almacenados en silos para su prensado. Las impurezas seleccionadas pasan a formar parte del flujo de rechazos de la instalación o bien, si se trata de materiales solicitados, son recirculados a puntos anteriores del proceso para su selección.

- Almacenamiento temporal de los materiales seleccionados

Los materiales seleccionados son depositados en espacios confinados específicos para cada uno de ellos (silos de almacenamiento intermedio), a la espera de ser densificados mediante operaciones de prensado. Los silos de almacenamiento son habitáculos dimensionados en función de los siguientes parámetros:

- ✓ Densidad aparente de cada material.
- ✓ Producción de cada material seleccionado por turno de trabajo.
- ✓ Capacidad horaria de la prensa de compactación.

La extracción de los materiales almacenados en los silos se realiza mediante fondos móviles, cintas transportadoras o bien directamente con pala cargadora, que los evacúan hacia el alimentador de la prensa embaladora posterior. Cuando la cantidad seleccionada de algún material es más pequeña, la producción se almacena en contenedores auxiliares para su posterior prensado.

- Prensado del material seleccionado

Los materiales almacenados temporalmente en los trojes o contenedores son sometidos posteriormente a operaciones de aumento de densidad, por medio de prensas de enfardar, mediante las cuales se obtienen balas con densidades adecuadas al almacenamiento definitivo y transporte posterior, con el fin de cumplir los requerimientos establecidos en las Especificaciones Técnicas de Materiales Recuperados (ETMR) de Ecoembes.

- Gestión de los rechazos de la instalación

Todos los rechazos de la instalación de selección se concentran habitualmente en una única cinta transportadora de salida que los descarga en el punto de evacuación. En ocasiones la corriente de finos se descarga en puntos diferenciados del resto de los rechazos. Debido a la baja densidad del material de rechazo, ha de adecuarse su volumen para realizar de forma eficiente su retirada a vertedero. Para ello disponen varios sistemas alternativos:

- ✓ Auto-compactadores.
- ✓ Compactadores estáticos.

- ✓ Prensa de rechazos.
- ✓ Contenedores (para instalaciones de baja capacidad).

El transporte de los contenedores con los rechazos se realiza con vehículos portac contenedores hacia los centros de tratamiento (vertido o valorización energética).

Actualmente, en líneas generales estas plantas de selección y clasificación de envases ligeros son automáticas como es el caso de la planta en estudio, sin embargo están cada optimizando los procesos con equipos que utilizan el Internet of Things (IoT).

3.6 INTERNET OF THINGS (IOT)

El Internet de las cosas es una tecnología con muchos beneficios, gracias a las conexiones inalámbricas y móviles, internet de las cosas (IoT) brinda una “inteligencia” a todos los equipos o dispositivos que nos rodean. El IoT no es completamente nuevo, desde hace unos 30 años que se viene trabajando con la idea de hacer un poco más interactivos todos los objetos de uso cotidiano. El Internet de las cosas potencia objetos que antiguamente se conectaban mediante circuito cerrado, como comunicadores, cámaras, sensores, y demás, y les permite comunicarse globalmente mediante el uso de la red de redes. Se puede pensar como la expansión de Internet, de ser una red de computadoras para ser una red de computadoras y cosas. Lo nuevo son los sensores, diminutos sensores integrados en dispositivos que pueden reunir casi cualquier tipo de datos sobre su entorno (temperatura, luz, sonido, tiempo, movimiento, velocidad, distancia, y más). Esta tendencia está evolucionando, cada vez más objetos están siendo integrados con sensores, ganando capacidad de comunicación, y tratamiento de la información en tiempo real (Suárez & Torres, 2018).

La IoT introduce un cambio radical en la calidad de vida de las personas, ofreciendo una gran cantidad de nuevas oportunidades de acceso a datos, servicios específicos en la educación, en seguridad, asistencia sanitaria o en el transporte, entre otros campos. Por otra parte, será la clave para aumentar la productividad de las empresas, ofreciendo una amplia distribución de la red, redes locales inteligentes de dispositivos inteligentes y nuevos servicios que pueden ser personalizados según las necesidades del cliente. La IoT trae beneficios de mejora de la gestión y el seguimiento de los activos y de los productos, aumenta la cantidad de datos de información y permite la optimización de equipos y uso de los recursos que puede traducirse en ahorro de costes. Además, ofrece la oportunidad de crear nuevos dispositivos interconectados inteligentes y explorar nuevos modelos de negocio (Salazar & Silvestre, 2017).

La comparación de la gestión de residuos con otros sectores industriales muestra que la digitalización y el uso de robots en la economía circular y la gestión de residuos están todavía en su infancia. Sin embargo, a medida que la digitalización y los enfoques de la Industria 4.0 se están desarrollando rápidamente en todos los sectores, están surgiendo cada vez más aplicaciones para las tecnologías mencionadas, especialmente para su uso en la gestión de residuos. (Sarc et al., 2019)

3.7 RESIDUOS DE ENVASES LIGEROS EN ANDALUCÍA

En la memoria anual de generación y gestión de residuos del año 2018 (MITECO, 2018) se aprecia la situación actual por Comunidades Autónomas (CCAA) respecto al porcentaje de las operaciones computables para la consecución del objetivo del 50% de preparación para la reutilización y reciclado de los residuos domésticos y similares, en 2020. En la figura 3.7 se observa los valores de recuperación en cada CCAA.

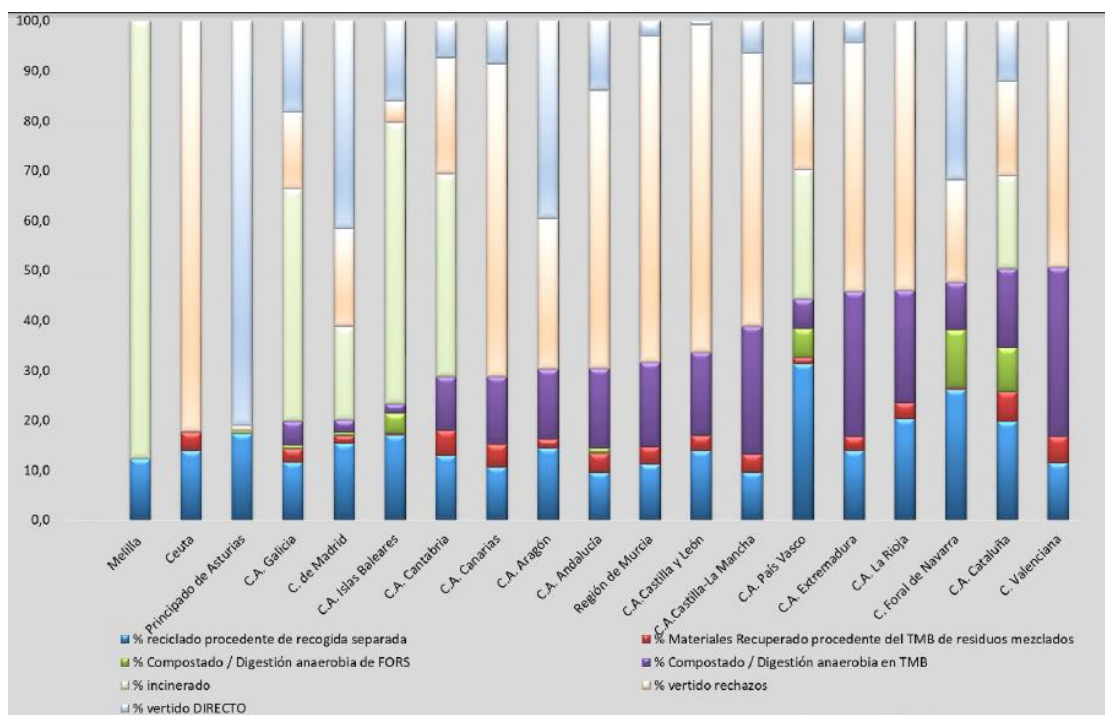


Figura 3.7: Situación actual por Comunidades Autónomas (MITECO, 2018)

En la figura anterior se observa que la Comunidad Autónoma de Andalucía alcanza aproximadamente un 30% con las operaciones de reciclado procedente de la recogida separada, el porcentaje de compostado y materiales recuperados de las plantas de triaje para el año 2018.

Para conocer cuáles son los datos de recogidas selectivas de envases ligeros en detalle de la Comunidad Autónoma de Andalucía, se acude al informe anual publicado en marzo de 2020 por Ecoembes en el cual se detallan las cantidades de material recogido selectivamente a través del Sistema Integrado de Gestión (SIG) es el cual tiene como finalidad la recogida periódica de envases usados y residuos de envases en el domicilio del consumidor o en sus proximidades para su posterior y correcta gestión de acuerdo a las normas establecidas en la ley, y deberán ser autorizados por el órgano competente de cada una de las Comunidades Autónomas.

En el año 2019 de las recogidas selectivas a través del SIG en la Comunidad Autónoma de Andalucía se gestionó la cantidad de 223.943,152 t de las cuales 103.226,865 t pertenecen a recogidas selectivas de envases ligeros, 107.935,056 t de papel y cartón, 11.365,341 t corresponden a recogidas puerta a puerta y 1.415,89 t son de puntos limpios de papel y cartón (P/C), en la tabla 3.3 se muestran los datos para cada una de las provincias. (Ecoembes, 2019).

Tabla 3.3: Cantidad recogidas por Comunidad Autónoma (Ecoembes, 2019)

Provincias	envases ligeros (t)	Recogida P/C (t)
Almería	6.477	6.782
Cádiz	15.316	14.347
Córdoba	7.548	10.310
Granada	10.605	13.414
Huelva	5.178	5.916
Jaén	8.781	10.390
Málaga	29.337	24.807
Sevilla	19.984	21.969
Total	103.227	107.935

En la tabla anterior se observa que en la provincia de Sevilla se recogieron 19.984 toneladas de envases ligeros en el año 2019 procedentes de los contenedores amarillos, mientras que 21.969 toneladas son recogidos de papel y cartón procedentes del contenedor de basura azul. En la tabla 3.4 se muestra la cantidad de estos valorizables por cantidad de habitantes por cada provincia.

Tabla 3.4: Cantidad de Envases ligeros y P/C por habitantes (Ecoembes, 2019)

Provincias	Población	envases ligeros		Recogida P/C
		(kg/hab*año)	% impropios	(kg/hab*año)
Almería	708.698	9,1	18,2	9,7
Cádiz	1.233.470	12,4	34,2	11,6
Córdoba	459.532	16,4	12,9	13,1
Granada	910.748	11,6	16,5	15,3
Huelva	518.424	10	29,2	11,4
Jaén	638.099	13,8	20,9	16,3
Málaga	1.641.120	17,9	21,7	15,1
Sevilla	1.935.255	10,3	28,5	11,3
Total	8.045.346	12,8	24,5	14,4

Se observa que en la comunidad Autónoma de Andalucía se recogieron unos 12,8 kg de envases ligeros por cada habitante en el año 2019, de los cuales un 24,5% de estos son impropios, resaltando que en la provincia de Sevilla se recogieron 10,3 kg por habitantes teniendo un 28,5% de impropios, por lo cual es necesario tener una planta de selección y clasificación de estos tipos de plásticos para su aprovechamiento para un mejor reciclaje, mientras que se recogieron 14,4 kg de Papel y Cartón por cada habitante durante el mismo año.

4. TAREAS DEL PROYECTO

4.1 TAREA I: EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA

Como primera tarea se planteó evaluar la situación actual de planta, como modelo de estudio se seleccionó la planta de clasificación y gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) en el área metropolitana de Sevilla, específicamente el Centro Montemarta – Cónica ABORGASE. Dentro de dicho centro se encuentran varias instalaciones, entre las que cabe destacar la planta de clasificación y tratamiento de RSU, la planta de clasificación de envases, el vertedero controlado y la planta de generación de energía eléctrica a partir de biogás. En este proyecto se plantea mejorar el sistema de clasificación y selección de envases plásticos ligeros, por esto el proyecto se centra en esta instalación.

La planta de selección de residuos de envases ligeros EELL (contenedor amarillo) es de tipo automática, de una capacidad de 5 t/h y está incluida dentro del SIG Ecoembes.

El proceso de la planta consiste en almacenamiento de los residuos en playa de descarga, y alimentación con pala a alimentador de cadenas. Inicialmente en un tromel los residuos se separan en tres fracciones, finos, medios y gruesos. Los medios, se llevan a un separador balístico, en el que se separan elementos planos de rodantes. Los elementos rodantes, se llevan a cascada de ópticos, en él se clasifican los plásticos por su composición mediante radiación infrarroja (PET, PEAD, tetra brik, plástico mezcla). En la corriente de elementos planares se separan el PEBD mediante separadores neumáticos. Los envases férricos y de aluminio se separan mediante separadores magnéticos y de Foucault en diferentes puntos del proceso. Los gruesos y finos, junto con el rechazo del de la línea de selección de medios son destinado a vertedero controlado. A continuación se muestra detalladamente cada punto del proceso de la planta de clasificación y selección de envases ligeros.

4.1.1 Balance de Materia de la planta en estudio

Para el balance de materia de la planta de selección de envases plásticos ligeros procedentes del contenedor amarillo se toma como referencia los datos publicados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), en su Memoria Anual de Generación y Gestión de Residuos del año 2018, este se titula “*Residuos de Competencia Municipal. 2018*” (MITECO, 2018), se asume estos datos de este informe del año 2018 como base de cálculo ya que lleva un desfase en la publicación de los mismos de unos 3 años.

En este informe se reflejan los datos de entrada de la planta de clasificación y selección de envases ligeros de Alcalá de Guadaíra - Sevilla (planta de selección en estudio), el cual consta de 11.783,20 toneladas de residuos

precedentes del contenedor amarillo de la ciudad de Sevilla.

Por otro lado, se calcula la caracterización de la alimentación a la planta (composición de la alimentación), para este cálculo se toma como referencia la composición de envases ligeros presentados en los siguientes informes: 1) Ecoparque de Mirabel (AGQ Labs, s. f.), 2) el informe del Ecoparque de Navalmoral de La Mata (AGQ Labs, s. f.) estos Gestionados por Gespesa S.A.U, como también se han utilizado los datos públicos de informes sobre la composición media de la fracción de residuos envases ligeros de la Comunidad Autónoma de Extremadura en los años 3) 2016 (Junta de Extremadura, 2016), 4) 2017 (Junta de Extremadura, 2017) y 5) 2019 (Junta de Extremadura, 2019) respectivamente.

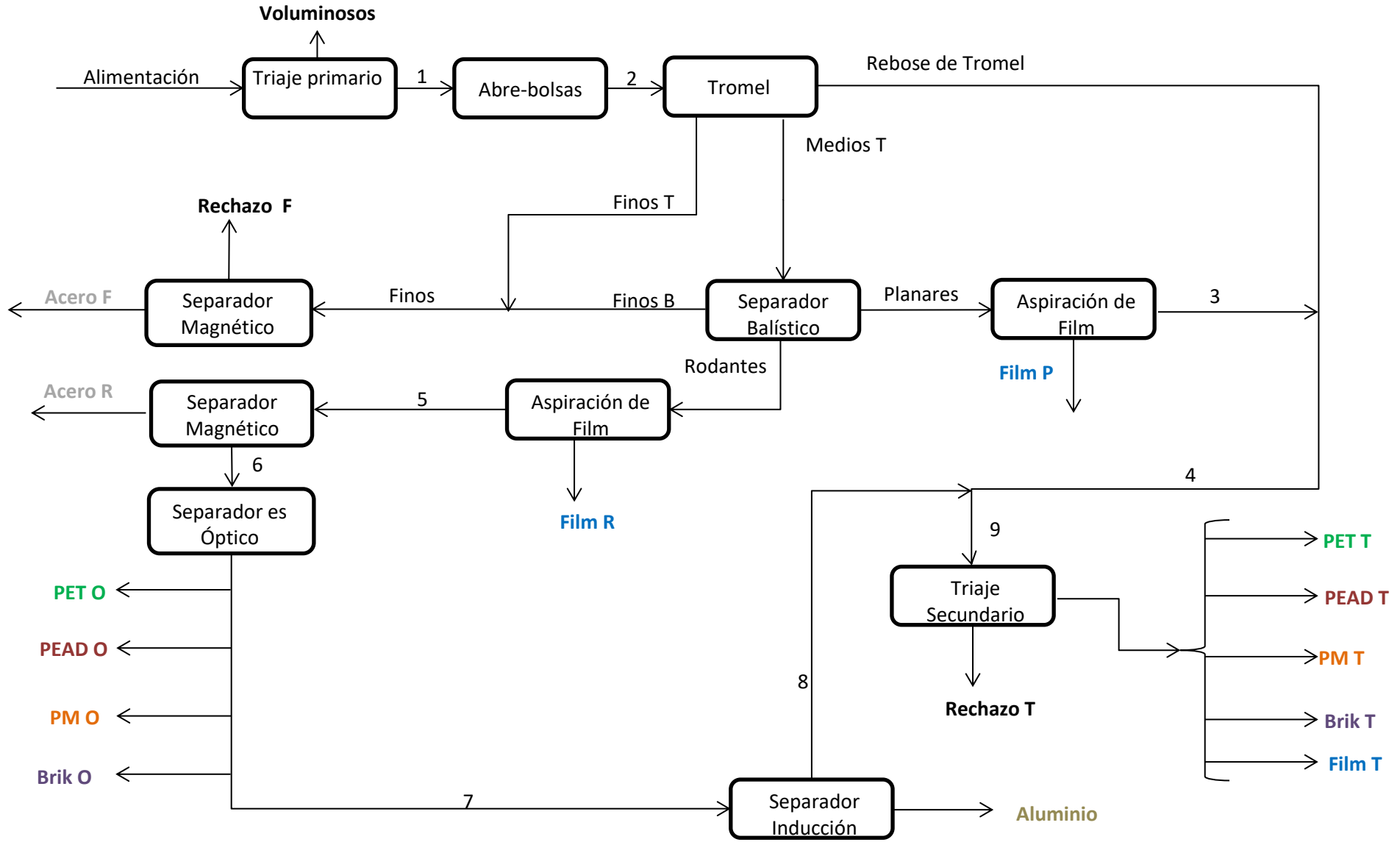
Estos datos están presentados en la tabla 4.1. La planta de clasificación y selección de envases ligeros en estudio (planta de Alcalá de Guadaira Sevilla) tuvo en el año 2018 alrededor 2357 horas útiles, este dato es calculado tomando como base la capacidad nominal de la planta la cual es 5 t/h. Con esto tenemos los siguientes datos para iniciar el balance de materia:

Tabla 4.1: Producción de la planta en el año 2018 (Fuente propia)

Unidades	Composición	t/año	t/h	kg/h
Alimentación a la planta	-	11.783,20	5	5.000
PET	18%	2.120,98	0,9	899,86
PEAD	8%	942,66	0,4	399,94
PEBD	17%	2.003,14	0,85	849,87
Valorizables				
PM	10,3%	1.213,67	0,51	514,92
Brik	11%	1.296,15	0,55	549,92
Acero	7%	824,82	0,35	349,95
Aluminio	1,5%	176,75	0,07	74,99
Impropios	27,2%	3.205,03	1,36	1.360,56

En la tabla anterior se observa la cantidad de material que ingresa en la planta procedente de los contenedores amarillos de la Ciudad de Sevilla en el año 2018 la cual fue de 11.783,20 toneladas, también se muestra la caracterización de la alimentación, con estos datos como base se procede a realizar el balance de materia de la planta, teniendo como diagrama de flujo de proceso el estipulado por Ecoembes en el documento publicado el cual se titula “*Plantas de Selección de envases ligeros*” (Ecoembes, s. f.) para una planta automática de 5 t/h como es el caso de la planta en estudio. Este balance de materia servirá como punto de comparación de la producción antes de la implementación de los equipos que utilizan tecnología IoT (internet of things).

Figura 4.1 Diagrama de Flujo de Proceso de una planta de selección de envases Automática de 5 t/h

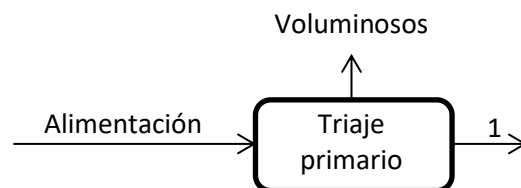


4.1.1.1 Balance de materia en cada unidad de proceso

Para el cálculo y desarrollo del balance de materia se asumirá unas recuperaciones en los equipos del proceso estándares, estas recuperaciones están referidas a la alimentación de cada una de las entradas a las unidades del proceso, los cuales fueron aportados por la empresa en estudio en una entrevista con los responsables de producción.

- Triaje primario

En el triaje primario se utiliza para extraer de la alimentación aquellos voluminosos que hayan y puedan atascar los equipos siguientes del proceso, según datos de la empresa en el triaje voluminosos se extraen el 2.8% de la alimentación al mismo:

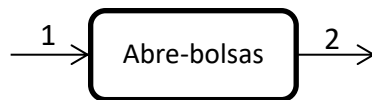


$$Voluminoso = 5.000 \frac{kg}{h} * 0,028 = 140 \frac{kg}{h}$$

$$Corriente 1 = (5.000 - 140) \frac{kg}{h} = 4.860 \frac{kg}{h}$$

- Abre-bolsas

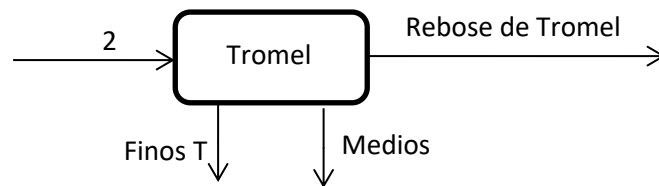
En esta unidad del proceso simplemente se busca aperturar todas las bolsas que entran al sistema, suponiendo que todo lo que entra sale (no hay pérdida de material), siendo la alimentación a en esta etapa la corriente 1 (salida del triaje primario).



$$Corriente 1 = Corriente 2 = 4.860 \frac{kg}{h}$$

- Balance de materia en el Tromel

Para el tromel se toma en cuenta que se recupera 8,7% en la fracción de finos, 71 % en la de Medio y 20,3% en la fracción de rebose del tromel (datos suministrados por la empresa), estos porcentajes son con respecto a la alimentación de esta unidad del proceso. La alimentación a esta unidad es la salida del abre-bolsas (corriente 2) que a su vez es igual a la corriente 1 (salida del triaje primario).



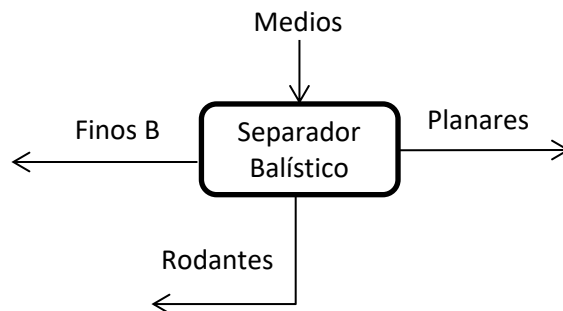
$$Finos_T = 4.860 \frac{kg}{h} * 0,087 = 422,82 \text{ kg/h}$$

$$Medios_T = 4.860 \frac{kg}{h} * 0,71 = 3.450,60 \text{ kg/h}$$

$$Rebose \text{ de tromel} = 4.860 \frac{kg}{h} * 0,203 = 986,58 \text{ kg/h}$$

- Separador Balístico

En esta unidad se toma en cuenta los porcentajes de recuperación con respecto a la alimentación de esta unidad, aportados por la empresa de planta de selección de envases ligeros en estudio, estos son 73% en la fracción rodantes, 24% en planares y 3% en la de finos. La alimentación de esta unidad es la fracción de medios del tromel.



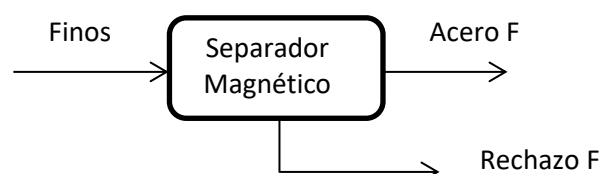
$$Finos_B = 3.450,60 \frac{kg}{h} * 0,03 = 103,52 \text{ kg/h}$$

$$Planares = 3.450,60 \frac{kg}{h} * 0,24 = 828,14 \text{ kg/h}$$

$$Rodantes = 3.450,60 \frac{kg}{h} * 0,73 = 2.518,94 \text{ kg/h}$$

- Separador Magnético de Finos

En esta unidad del proceso se introduce como alimentación las fracciones de finos del tromel y del separador balístico ($Finos_T$ y $Finos_B$ respectivamente), este tiene una eficiencia de recuperación de acero del 7% con respecto a esta fracción alimentada (dato suministrado por la empresa).



$$Finos = Finos_T + Finos_B$$

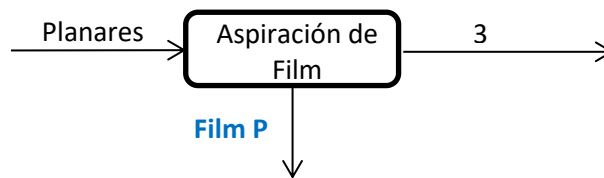
$$Finos = 422,82 \frac{kg}{h} + 103,52 \frac{kg}{h} = 526,34 \frac{kg}{h}$$

$$Acero_F = finos * 0,07 = 526,34 \frac{kg}{h} * 0,07 = 36,84 \frac{kg}{h}$$

$$Rechazo_F = finos - Acero_F = 526,34 \frac{kg}{h} - 36,84 \frac{kg}{h} = 489,49 \frac{kg}{h}$$

- Aspiración de Film fracción Planares

En esta etapa se aspira el film que sale con la fracción de planares del equipo de separación balística, la fracción de film en este equipo tiene una recuperación de film del 38% con respecto a la entrada del mismo (dato suministrado por la empresa).

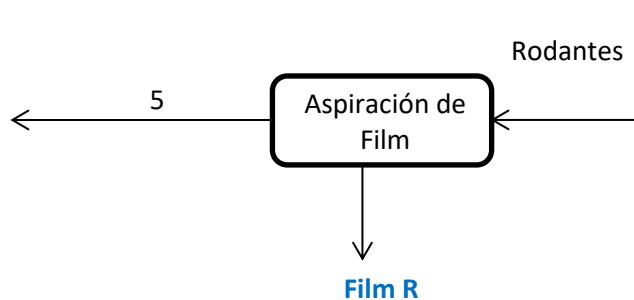


$$Film_p = Planares * 0,38 = 828,14 \frac{kg}{h} * 0,38 = 314,69 \frac{kg}{h}$$

$$Corriente 3 = Planares - Film_p = 828,14 \frac{kg}{h} - 314,69 \frac{kg}{h} = 513,45 \frac{kg}{h}$$

- Aspiración de film Rodantes

En esta unidad de aspiración de film de la fracción de rodantes se separa el film que acompaña a esta línea del proceso siendo la fracción recuperada de la misma del 9% con respecto a la alimentación de esta unidad (dato proporcionado por la empresa).



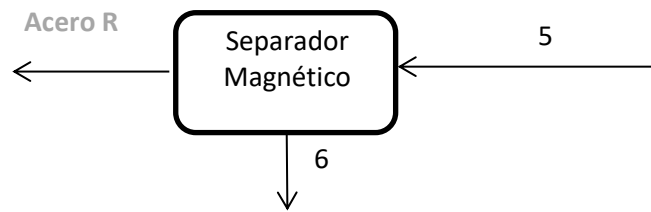
$$Film_R = Rodantes * 0,09 = 2.518,94 \frac{kg}{h} * 0,09 = 226,70 \frac{kg}{h}$$

$$Corriente 5 = Rodantes - Film R = (2.518,94 - 226,70) \frac{kg}{h} = 2.292,23 \frac{kg}{h}$$

- Separador Magnético Rodantes

Para el separador magnético en la fracción de rodantes se tiene un recuperación del 12,7% con respecto a la

alimentación de esta unidad del proceso (dato aportado por la empresa).



$$Acero_R = Corriente\ 5 * 0,127$$

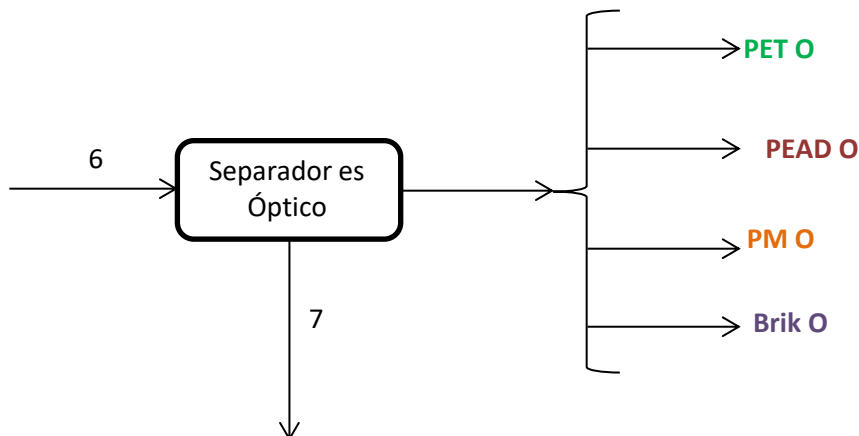
$$Acero_R = 2.292,23 \frac{kg}{h} * 0,127 = 291,11 \frac{kg}{h}$$

$$Corriente\ 6 = Corriente\ 5 - Acero_R$$

$$Corriente\ 6 = (2.292,23 - 291,11) \frac{kg}{h} = 2.001,12 \frac{kg}{h}$$

- Separadores Ópticos PET, PEAD (Film), Plástico Mezcla (PM), Brik.

En esta unidad del proceso se representan los separadores ópticos de cada uno de los valorizables PET, PEAD, Plástico Mezcla (PM), Brik, los cuales tienen los siguientes porcentaje de recuperación con respecto a la alimentación de esta etapa (corriente 6), para el PET tenemos un 27% de recuperación, para el PEAD un 14%, 10,5% para el plástico mezcla (PM) y para el Brik un 11% respectivamente. (Datos aportados por la empresa). A esta unidad del proceso ingresan el 65% de los valorizables que entran en la alimentación de la planta.



$$PET_O = Corriente\ 6 * 0,27 = 2.001,12 \frac{kg}{h} * 0,27 = 540,30 \frac{kg}{h}$$

$$PEAD_O = Corriente\ 6 * 0,14 = 2.001,12 \frac{kg}{h} * 0,14 = 280,16 \frac{kg}{h}$$

$$PM_O = Corriente\ 6 * 0,105 = 2.001,12 \frac{kg}{h} * 0,105 = 210,12 \frac{kg}{h}$$

$$Brick_O = Corriente\ 6 * 0,11 = 2.001,12 \frac{kg}{h} * 0,11 = 220,12 \frac{kg}{h}$$

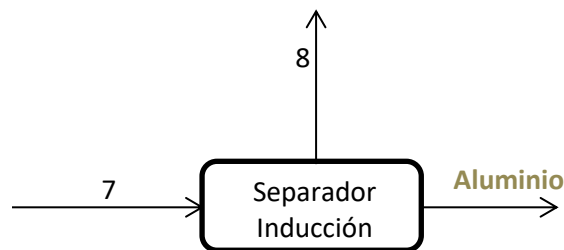
$$\text{Corriente 7} = \text{Corriente 6} - \text{PET}_O - \text{PEAD}_O - \text{PM}_O - \text{Brick}_O$$

$$\text{Corriente 7} = (2.001,12 - 480,27 - 306,17 - 220,12 - 200,11) \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Corriente 7} = 750,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

- Separador por Inducción (Aluminio)

En esta unidad del proceso se recupera el 8% de la corriente alimentada a esta unidad (dato aportado por la empresa).



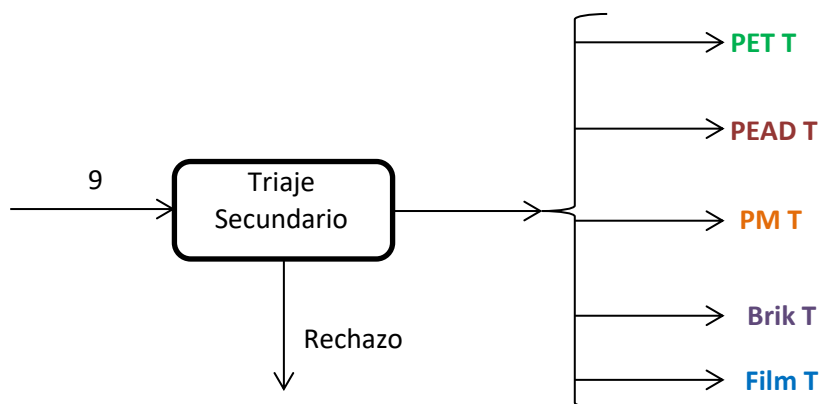
$$\text{Aluminio} = \text{Corriente 7} * 0,09$$

$$\text{Aluminio} = 750,42 * 0,09 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 67,54 \text{ kg/h}$$

$$\text{Corriente 8} = \text{Corriente 7} - \text{Aluminio} = (750,42 - 67,54) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 682,88 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

- Triaje Secundario

La alimentación de este triaje es la corriente 9, esta es la suma de la corriente 8 y la corriente 4 que a su vez está compuesta del rebose del tromel y la corriente 3 (salida del aspirador de film de la fracción de planares), de esta unidad se tiene una recuperación con respecto a la alimentación de la misma compuesta de PET tenemos un 4% de recuperación, para el PEAD un 1,5%, 9% para el plástico mezcla (PM) y para el Brik 3,5% y para el film 8% respectivamente. (Datos aportados por la empresa).



$$\text{Corriente 9} = \text{Corriente 8} + \text{corriente 4}$$

$$\text{Corriente 4} = \text{rebose del tromel} + \text{corriente 3}$$

$$\text{Corriente 4} = 986,58 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 513,45 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 1.500,03 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Corriente 9} = (682,88 + 1.500,03) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 2.185,91 \text{ kg/h}$$

$$\text{PET}_T = \text{Corriente 9} * 0,04 = 2.185,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,04 = 87,32 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{PEAD}_T = \text{Corriente 9} * 0,015 = 2.185,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,015 = 32,74 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{PM}_T = \text{Corriente 9} * 0,09 = 2.185,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,09 = 196,46 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Brick}_T = \text{Corriente 9} * 0,035 = 2.185,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,035 = 76,40 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Film}_T = \text{Corriente 9} * 0,08 = 2.185,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,08 = 174,63 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Rechazo}_T = \text{Corriente 9} - \text{PET}_T - \text{PEAD}_T - \text{PM}_T - \text{Brick}_T - \text{Film}_T$$

$$\text{Rechazo}_T = (2.182,91 - 87,32 - 32,74 - 196,46 - 76,40 - 174,63) \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Rechazo}_T = 1.615,35 \text{ kg/h}$$

- Recuperación de Valorizables

$$\text{PET} = \text{PET}_T + \text{PET}_O = (87,32 + 540,30) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 627,62 \text{ kg/h}$$

$$\text{FILM} = \text{Film}_P + \text{Film}_T + \text{Film}_R$$

$$\text{FILM} = (314,69 + 174,63 + 226,70) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 716,03 \text{ kg/h}$$

$$\text{Brik} = \text{Brik}_T + \text{Brik}_O = (76,40 + 220,12) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 296,53 \text{ kg/h}$$

$$\text{Acero} = \text{Acero}_F + \text{Acero}_R = (36,84 + 291,11) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 327,96 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{PM} = \text{PM}_T + \text{PM}_O = (196,46 + 210,12) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 406,58 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{PEAD} = \text{PEAD}_T + \text{PEAD}_O = (32,74 + 280,16) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 312,90 \text{ kg/h}$$

Es importante resaltar que del total de PEAD seleccionado el 11,1 % aproximadamente es PEAD Natural (Ecoembes, 2018), por lo tanto, el PEAD Natural y PEAD Color o Mezcla seleccionado es:

$$\text{PEAD}_{\text{Natural}} = 0,111 * 312,90 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 34,73 \text{ kg/h}$$

$$PEAD_{Color} = (312,90 - 34,73) \frac{kg}{h} = 278,17 \frac{kg}{h}$$

$$Rechazo = Rechazo_F + Rechazo_T + Voluminosos$$

$$Rechazo = (489,49 + 1.615,35 + 140) \frac{kg}{h} = 2244,84 \text{ kg/h}$$

En la tabla siguiente se muestra la cantidad por cada valorizable y rechazos de la planta en kilogramos por hora como también en toneladas año, en la misma se muestra que se ha valorizado 2.755,16 kg/h o lo que es igual a 6.493,89 t/año lo que representa que se han recuperado el 55,10% de la alimentación a la planta (tabla 4.2):

Tabla 4.2: Valorizables totales de la planta (fuente propia)

	kg/h	kg/año	t/año
PET	627,62	1.479.297,59	1479,3
PEAD Color	278,17	655.646,69	655,65
PEAD Natural	34,73	81.858,61	81,86
FILM	716,03	1.687.687,56	1687,69
Brik	296,53	698.909,64	698,91
Acero	327,96	772.995,41	773
Aluminio	67,54	159.186,59	159,19
PM	406,58	958.308,17	958,31
Total	2.755,16	6.493.890,26	6493,89

Los datos obtenidos en el balance de materia de la tabla anterior nos sirven para comparar dichos resultados con los publicados por Ecoembes en el año 2018, en su informe anual titulado *Información a las comunidades autónomas de 2018* (Ecoembes, 2018). En este informe se reflejan los datos de salida (valorizables) de la planta de selección de Alcalá de Guadaíra (planta de selección en estudio), estos datos están presentados en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: Comparación de cantidad de valorizables (fuente propia)

	kg/año	Datos de Ecoembes 2018 (kg/año)	% de Error
PET	1.479.297,59	1.546.400	4,34%
PEAD Color	655.646,69	686.220	4,46%
PEAD Natural	81.858,61	85660	4,44%
FILM	1.687.687,56	1.761.260	4,18%
Brik	698.909,64	714.060	2,12%
Acero	772.995,41	777.740	0,61%
Aluminio	159.186,59	154.680	2,91%
PM	958.308,17	995.500	3,74%
Total	6.493.890,26	6.721.520,00	3,39%

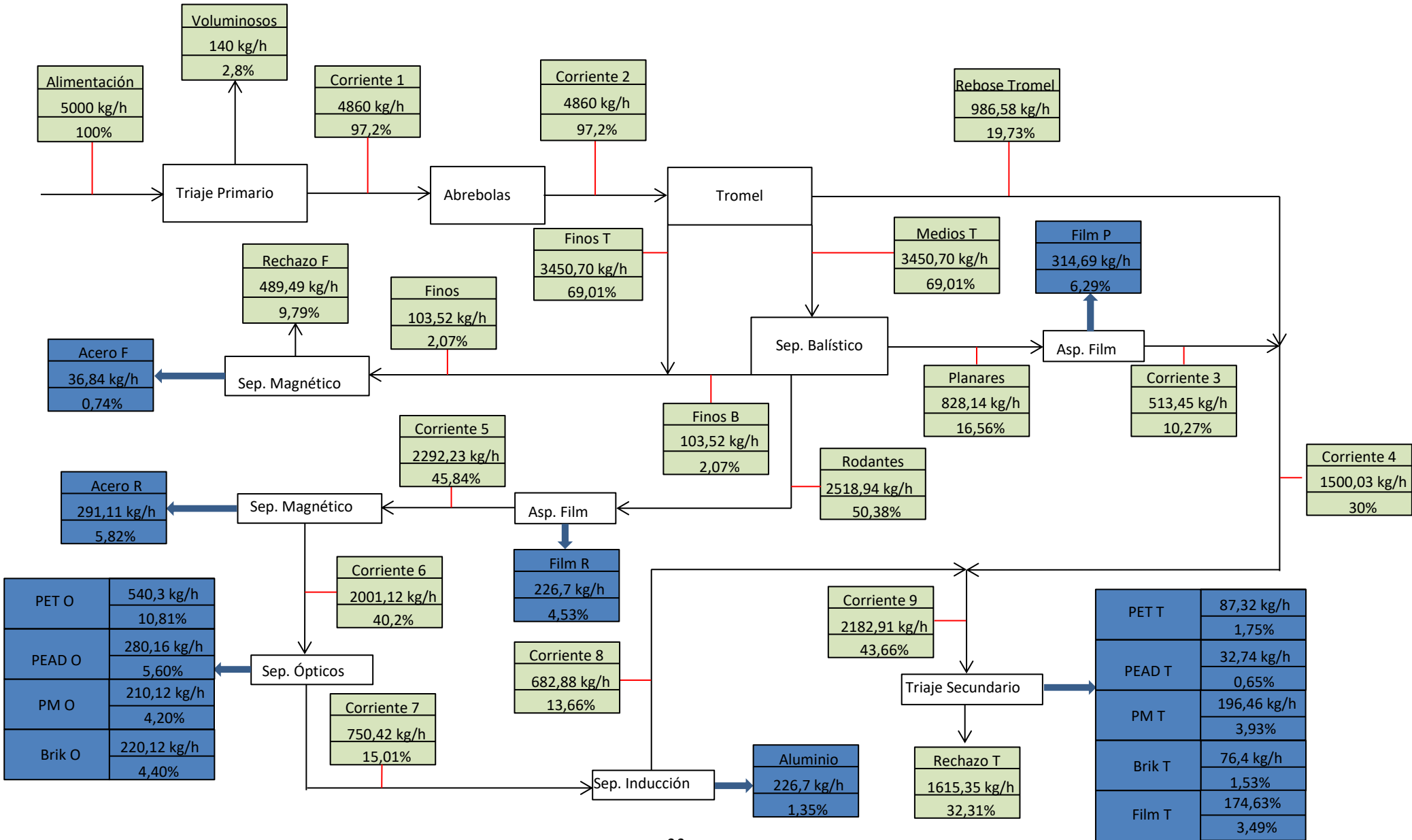
En la tabla anterior se compara los resultados obtenidos por el balance de materia de la planta presentado anteriormente VS los datos publicados por la empresa Ecoembes, en dicha tabla también se muestra el porcentaje de error o discrepancia entre la cantidad obtenida del balance de materia y los publicados, estos porcentajes de error son menores al 5% por esta razón se asume que el balance de materia es correcto.

A continuación se muestra de forma detallada en la tabla 4.4 los flujos de cada corriente, también se muestra el porcentaje de material que fluye en cada corriente con respecto a la alimentación (% de recuperación). Por otro lado en la figura 4.2 se muestra el diagrama de flujo con los flujos y porcentajes de recuperación en cada corriente.

Tabla 4.4: Flujos de las corrientes del Proceso Actual (fuente propia)

Corriente	kg/h	t/h	t/año	% recuperación	Corriente	kg/h	t/h	t/año	% recuperación
Alimentación	5.000	5	11.783,20	100%	Corriente 5	2.292,23	2,29	5.402,79	45,84%
Voluminoso	140	0,14	329,98	2,80%	Acero_R	291,11	0,29	686,15	5,82%
Corriente 1	4.860	4,86	11.455,02	97,20%	Corriente 6	2.001,12	2	4.716,64	40,02%
Corriente 2	4.860	4,86	11.455,02	97,20%	PET_O	540,3	0,54	1.273,49	10,81%
Finos_T	422,82	0,42	996,59	8,46%	PEAD_O	280,16	0,28	660,33	5,60%
Rebose Tromel	986,58	0,99	2.325,37	19,73%	PM_O	210,12	0,21	495,25	4,20%
Medio_T	3.450,60	3,45	8.133,06	69,01%	Brik_O	220,12	0,22	518,83	4,40%
Finos_B	103,52	0,1	243,99	2,07%	Corriente 7	750,42	0,75	1.768,74	15,01%
Rodantes	2.518,94	2,52	5.937,14	50,38%	Aluminio	67,54	0,07	159,19	1,35%
Planares	828,14	0,83	1.951,94	16,56%	Corriente 8	682,88	0,68	1.609,55	13,66%
Finos	526,34	0,53	1.240,58	10,53%	Corriente 9	2.182,91	2,18	5.145,12	43,66%
Acero_F	36,84	0,04	86,84	0,74%	PET_T	87,32	0,09	205,8	1,75%
Rechazo_F	489,49	0,49	1.153,74	9,79%	PEAD_T	32,74	0,03	77,18	0,65%
Film_P	314,69	0,31	741,74	6,29%	PM_T	196,46	0,2	463,06	3,93%
Film_R	226,7	0,23	534,34	4,53%	Brik_T	76,4	0,08	180,08	1,53%
Corriente 3	513,45	0,51	1.210,20	10,27%	Film_T	174,63	0,17	411,61	3,49%
Corriente 4	1.500,03	1,5	3.535,57	30,00%	Rechazo_T	1.615,35	1,62	3.807,39	32,31%

Figura 4.2 Diagrama de Flujo de Proceso Actual con los flujos y porcentajes de recuperación de cada corriente



4.1.2 Especificaciones de los Materiales Recuperados (EMR)

Como se mencionó anteriormente la planta de selección de residuos de envases ligeros (EELL) de Alcalá de Guadaíra Sevilla, Montemarta Cónica ABORGASE está incluida dentro del SIG Ecoembes, esto hace que esta planta tenga que cumplir parámetros de calidad en los productos terminados (balas), a continuación se presentan tablas donde se resume las especificaciones de las balas producidas en esta planta para cada tipo de valorizable.

Tabla 4.5: EMR de envases de plástico PET.

Especificaciones técnicas de materiales recuperados (EMR) de residuos de envases de plástico PET	
Material solicitado	Envases de PET (se admiten todos los colores) procedentes de recogida selectiva $\geq 95,50\%$ (incluidos etiquetas y tapones que formen parte del envase tras el prensado). Este porcentaje incluye la humedad.
Impropios	<p>Impropios $< 4,50\%$ con límite máximo para las siguientes fracciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PVC (botellas completas y fragmentos) $< 0,25\%$. • Metales $< 0,25\%$. • Suma de otros materiales plásticos y otras impurezas $< 4,00\%$ • Los envases deben haber sido pinchados. • En balas de longitud: $1,00 \leq L \leq 1,50$ m y densidad $\geq 190,00$ kg/m³
Condiciones de entrega	<ul style="list-style-type: none"> • Fleje de las balas: acero. • La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento. • Envío: camión completo (mínimo 10,00 toneladas)
<p>Valores de porcentaje en peso. Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo. Suma de otros materiales plásticos y otras impurezas no incluye ni PVC ni metales.</p>	

Tabla 4.6: EMR de envases de plástico PEAD.

Especificaciones técnicas de materiales recuperados (EMR) de residuos de envases de plástico PEAD	
Material solicitado	Botellas y bidones de PEAD procedentes de recogida selectiva $\geq 90,00\%$ (incluidos etiquetas y tapones que formen parte del envase tras el prensado). Este porcentaje incluye la humedad.
Impropios	<p>Impropios $< 10,00\%$ con límite máximo para las siguientes fracciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cauchos siliconas, espumas poliestireno y poliuretano $< 0,05\%$ • Envases de otras poliolefinas y de otros materiales plásticos (excepto cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano) $< 7,00\%$ • Metales $< 0,50\%$ • Papel/cartón, cartón bebidas/alimentos (brik) y otras impurezas $< 2,00\%$ • En balas de longitud: $1,00 \leq L \leq 1,50$ m y densidad $\geq 210,00$ kg/m³
Condiciones de entrega	<ul style="list-style-type: none"> • Fleje de las balas: acero • La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento. • envío: camión completo (mínimo 10,00 toneladas)
<p>Valores de porcentajes en peso. “Cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano” se refiere a envases de cauchos, siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano o a envases cuyo contenido previo haya sido alguna de estas sustancias. Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo. Suma de otros materiales plásticos y otras impurezas no incluye ni PVC ni metales.</p>	

Tabla 4.7: EMR de envases de plástico PEAD Natural.

Especificaciones técnicas de materiales recuperados (EMR) de residuos de envases de plástico PEAD Natural	
Material solicitado	Botellas y bidones de PEAD Natural procedentes de recogida selectiva $\geq 90,00\%$ (incluidos etiquetas y tapones que formen parte del envase tras el prensado). Este porcentaje incluye la humedad.
Impropios	Impropios $< 10,00\%$ con límite máximo para las siguientes fracciones : <ul style="list-style-type: none"> • Envases de PEAD color (incluido blanco) y con multicapa negra $< 1,00\%$ • Cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano $< 0,05\%$
Condiciones de entrega	<ul style="list-style-type: none"> • Envases de otras poliolefinas y otros materiales plásticos (excepto PEAD Color, PEAD Blanco, cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano) $< 7,00\%$ • Metales $< 0,50\%$ • Papel/cartón, cartón bebidas/alimentos (brik) y otras impurezas $< 1,50\%$ • En balas de longitud: $1,00 \leq L \leq 1,50$ m y densidad $\geq 210,00$ kg/m³ • Fleje de las balas: acero <p>• La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento.</p> <p>• Envío: camión completo (mínimo 10,00 toneladas)</p>

Valores de porcentajes en peso.

“Cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano” se refiere a envases de cauchos, siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano o a envases cuyo contenido previo haya sido alguna de estas sustancias.

Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo.

Otras impurezas no incluye: PEAD color, cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano, envases de otras poliolefinas y de otros materiales plásticos y metales.

Tabla 4.8: EMR de envases de plástico FILM.

Especificaciones técnicas de materiales recuperados (EMR) de residuos de envases de plástico FILM	
Material solicitado	Envases flexibles de film (bolsas y films de embalaje, incluido el film extensible y el film retráctil) procedentes de recogida selectiva $\geq 82,00\%$ (incluidas las etiquetas que formen parte del envase tras el prensado).
Impropios	Impropios $< 18,00\%$ con límite máximo para las siguientes fracciones de: <ul style="list-style-type: none"> • PET $< 1,00\%$ • Cauchos siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano $< 0,05\%$
Condiciones de entrega	<ul style="list-style-type: none"> • Metales $< 1,50\%$ • Papel/cartón, cartón bebidas/alimentos (brik) $< 2,50\%$ • otras impurezas $< 9,00\%$ • Humedad $< 5,00\%$ • En balas de longitud: $1,00 \leq L \leq 1,50$ m y densidad $\geq 250,00$ kg/m³ • Fleje de las balas: acero <p>• La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento.</p> <p>• Envío: camión completo (mínimo 15,00 toneladas)</p>

Valores de porcentajes en peso.

“Cauchos siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano” se refiere a envases de cauchos, siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano o a envases cuyo contenido previo haya sido alguna de estas sustancias

Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo, exceptuando el límite para la fracción humedad que va referido a material seco.

Otras impurezas no incluye PET, cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano, metales, papel cartón y cartón bebidas/alimentos (brik). Así mismo no quedan incluidas dentro de otras impurezas aquéllas que impregnan el envase.

Tabla 4.9: EMR de envases de plástico Mezcla.

Especificaciones técnicas de materiales recuperados (EMR) de residuos de envases de plástico Mezcla	
Material solicitado	<p>Envases de plástico procedentes de recogida selectiva, no reclamados en otras fracciones $\geq 80,00\%$ (incluidos etiquetas adheridas y tapones que aun formen parte del envase tras el prensado). Esta fracción incluye, por tanto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Envases de PEAD no incluidos en su fracción de acuerdo a la ETMR del PEAD • Envases de PET no incluidos en su fracción de acuerdo a la ETMR del PET • Envases de Film no incluidos en su fracción de acuerdo a la ETMR del Film • Resto de envases plásticos sin fracción específica (PVC, polipropileno, poliestireno, entre otros) <p>Este porcentaje incluye la humedad.</p>
Impropios	<p>Impropios $< 20,00\%$ con límite máximo para las siguientes fracciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Envases plásticos que deben incluirse en sus fracciones respectivas (PET, PEAD y Film) $< 10,00\%$ • Otros materiales plásticos no envases $< 10,00\%$ • Metales, papel/cartón, cartón/bebidas(brik) y otras impurezas $< 4,00\%$ • En balas de longitud: $1,00 \leq L \leq 1,50$ m y densidad $\geq 210,00 \text{ kg/m}^3$
Condiciones de entrega	<ul style="list-style-type: none"> • Fleje de las balas: acero • La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento. • envío: camión completo (mínimo 10,00 toneladas)
<p>Valores de porcentajes en peso Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo. Otros materiales plásticos no envases incluye cajas de PEAD inyección Otras impurezas no incluyen envases plásticos que deben incluirse en sus fracciones respectivas (PET, PEAD y Film), ni otros materiales plásticos no envases.</p>	

Tabla 4.10: EMR de envases de Cartón Bebidas/Alimentos.

Especificaciones técnicas de materiales recuperados (EMR) de residuos de envases de Cartón Bebidas/Alimentos	
Material solicitado	<p>Cartones para bebidas/alimentos líquidos procedentes de recogida selectiva $\geq 95,00\%$ (incluidos los tapones que formen parte del envase tras el prensado). Este porcentaje incluye la humedad.</p>
Impropios	<p>Impropios $< 5,00\%$ con límite máximo para las siguientes fracciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Otros envases $< 3,00\%$ • Otros impropios $< 2,00\%$
Humedad	<p>Humedad $< 10,00\%$</p>
Condiciones de entrega	<ul style="list-style-type: none"> • En balas de longitud: $1,00 \leq L \leq 1,50$ m y densidad $\geq 400,00 \text{ kg/m}^3$ • Fleje de las balas: acero • La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento. • envío: camión completo (mínimo 20,00 toneladas)
<p>Valores de porcentajes en peso. Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo.</p>	

Tabla 4.11: EMR de envases metálicos de Acero.

Especificaciones técnicas de materiales recuperados (EMR) de residuos de envases metálicos de Acero	
Material solicitado	Contenido férrico magnético $\geq 90,00\%$ (incluye humedad y todo aquello que forme parte del propio envase).
Impropios	Impropios $<10,00\%$
Condiciones de entrega	Compactado en forma de paquetes o balas. Recomendable en paquetes/balas de 50,00 kg mínimo y 500,00 kg máximo. Los paquetes/balas deben resistir la manipulación industrial. <ul style="list-style-type: none"> • Densidad aparente $\geq 800,00 \text{ kg/m}^3$. • Entrega mínima: camión completo.

Valores de porcentajes en peso.
El porcentaje para el límite total de impropios va referido a material húmedo.

Tabla 4.12: EMR de envases metálicos de Aluminio.

Especificaciones técnicas de materiales recuperados (EMR) de residuos de envases metálicos de Aluminio	
Material solicitado	Envases de aluminio procedentes de recogida selectiva $\geq 90,00\%$ (incluye humedad y todo aquello que forme parte del propio envase). Contenido de envases aluminio laminar monomaterial $\leq 5,00\%$. Total de impropios $<10,00\%$ con límite máximo para las siguientes fracciones de:
Impropios	<ul style="list-style-type: none"> • Metales férricos libre = $0,00\%$ • Metales no férricos $<3,00\%$ • Plásticos, papel/cartón, cartón/bebidas (brik) y laminados complejos $<4,00\%$ (en ningún caso estas fracciones podrán superar por separado el $2,00\%$) • Finos y otros $<3,00\%$
Condiciones de entrega	<p><i>porcentajes referidos al material húmedo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Compactado en forma de paquetes o balas. • Densidad aparente $\geq 500,00 \text{ kg/m}^3$. • Los paquetes/balas deben resistir la manipulación industrial. • Entrega mínima: 10,00 toneladas en plantas con entradas anuales $\geq 3.000,00$ toneladas

Valores de porcentajes en peso.
Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo.
Otras impurezas no incluyen metales férricos libre, metales no férricos, plásticos, papel y cartón, cartón bebidas/alimentos y laminados complejos.

En las tablas anteriores se muestran las características y especificaciones de las entregas de los productos (balas) a Ecoembes para cada valorizable, como base de análisis para el proyecto se asume que actualmente la empresa de clasificación y selección de envases plásticos está produciendo los productos finales (balas) con las especificaciones mínimas aceptables por Ecoembes, con esto se analiza el proceso para con la ayuda del internet de las cosas (IoT) para producir balas con mayor pureza y así aumentar la eficiencia total de la planta de selección de envases.

4.2 TAREA II: ESTABLECER LAS PROPUESTAS DE MEJORA O IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROCESOS EN LA PLANTA EN ESTUDIO UTILIZANDO LAS TECNOLOGÍAS IOT

Como segundo objetivo se planteó establecer las posibles implementaciones o mejoras al proceso de selección y clasificación de envases ligeros utilizando la tecnología del Internet de las Cosas siglas en inglés IoT (Internet of things) “Inteligencia Artificial”.

La planta de clasificación y selección de envases de Montemarta – Cónica es completamente automática, actualmente en la unidad de selección de valorizables se utilizan equipos de separación de ópticos, los cuales funcionan por infrarrojos o por colorimetría, es en esta unidad donde se implementara los equipos nuevos que utilizan la tecnología IoT, dado que esta tecnología hace posible que las máquinas aprendan de la experiencia, se ajusten a nuevas aportaciones y realicen tareas como seres humanos. Estos equipos implementados con IoT recurren mayormente al aprendizaje profundo y al procesamiento del lenguaje natural.

Empleando estas tecnologías, los equipos de selección de envases plásticos ligeros pueden ser entrenados para realizar tareas específicas reconociendo el tipo de material, color, forma, familia entre otras cosas, en entornos cambiantes. En los avances existentes en esta materia se han desarrollado diferentes equipos (Robots) que utilizan esta tecnología para la separación y clasificación de los valorizables establecidos en el la tarea I, a continuación se detallan cada uno de estos equipos utilizados en el proceso descrito anteriormente.

4.2.1 ECOPICK – PICVISA

Ecopick es un robot basado en inteligencia artificial (IA) que reconoce y clasifica una amplia variedad de objetos sobre una cinta transportadora, sustituyendo las tareas realizadas habitualmente por un triador manual. Sus tareas de clasificación de residuos consisten en la realización de control de calidad de materiales, como también en la extracción automatizada de materiales valorizables contenidos en el flujo de “rechazos” conducidos a cabina a través de una cinta de transporte. Este equipo transforma la industria de la clasificación, separación y reciclaje de residuos mejorando la productividad, aumentando la calidad de valorizables, menor rechazo, adaptable y escalable. (PICVISA, s. f.).

Tecnología del robot ECOPICK

El robot Ecopick utiliza la visión y la inteligencia artificial para automatizar la clasificación y el triaje de material valorizable en las plantas de selección, clasificación y reciclaje. Además trabaja de forma autónoma y puede procesar con precisión un alto volumen de residuos. Su aprendizaje es constante gracias al algoritmo Deep Learning que le permite detectar y reconocer nuevas formas, colores y texturas en entornos cambiantes. Las actualizaciones de software y una red neuronal inteligente capaz de adaptarse a estos cambios permiten ofrecer una solución fiable a largo plazo para optimizar el triaje en final de línea de producción. Puede adaptarse a diferentes tipos de plantas para aumentar la eficiencia, la productividad y la seguridad. Con ello mejora la calidad del material valorizable, ayudándoles así a competir de manera más efectiva (PICVISA, s. f.).



Figura 4.3: Robot ECO PICK (PICVISA, s. f.)

Aplicaciones de ECO PICK

Este equipo es flexible a diferentes aplicaciones adaptándose para reconocer, clasificar y separar cualquier material. Sus aplicaciones son diversas; dependiendo a las necesidades de diferentes procesos productivos o de control de calidad en la industria de gestión de residuos, siendo capaz de reconocer, clasificar y separar los siguientes materiales:

- **Residuos Peligrosos:** separación de termómetros, aerosoles, inyectables, pilas y botes.
- **Valorizables:** este equipo recupera los materiales de PET botella, PEAD botella, Bandeja, Film, Latas, Tetra Brik, papel, cartón, vidrio y textil.

El equipo también puede configurarse para realizar tareas de purificación de flujos de producto final utilizado en el proceso de control de calidad de producto terminado, (PICVISA. ECO PICK, Dptico, s. f.):

- **PET:** Separa las botellas PET de las bandejas e impropios.
- **PEAD:** Separación de Botellas PEAD de tubos de silicona, films e impropios.
- **Aluminio:** Separa las latas de aluminio de otros materiales e impropios.
- **Tetrabrik:** Separación del tetrabrik de los impropios
- **Papel Cartón:** Separación del papel y cartón de los envases e impropios.
- **Film:** Separación del Film de las botellas e impropios.

Características Técnicas del Equipo ECO PICK

Tabla 4.13: Características técnicas de ECO PICK (PICVISA. Ecopick, Dptico, s.f.)

Modelo	Ecopick 1.6
Sistema de Visión	Sensores RGB y/o NIR, 3D
Brazo Robótico	1
Sistema de Agarre	Succión vía ventosa
Picking – Selección (selecciones/hora)	3600
Dimensiones generales (m)	3.5 x 2.30 x 2.60
Tamaño máximo del objeto seleccionado (m)	0.42 x 0.297
Peso máximo del objeto seleccionado (kg)	4
Nº máximo de tolvas	8
Velocidad de la cinta (m/s)	0.5 – 1
Consumo de Aire (m ³ /min)	0.2
Eficiencia (m)	> 95

4.2.2 SamurAI – Machinex

SamurAI es un robot de la compañía estadounidense Machinex, cuenta con clasificación auto-consciente que emplea la tecnología de inteligencia artificial que ayuda a identificar los materiales para una recuperación precisa del producto, o una función de control de calidad con aprendizaje y optimización continua. Este robot cuenta con cuatro brazos convirtiéndolo así en una mejor solución para reducir la dependencia de la clasificación manual dentro de una instalación de recuperación y clasificación de residuos (MACHINEX, s. f.). SamurAI funciona con inteligencia artificial que:

- Identifica características distintivas de la misma manera que el ojo humano.
- Reconoce el material a seleccionar e incluso en condiciones sucias, mezcladas y en constante cambio, incluida la introducción de nuevos envases y diseños.
- Mejora y aprende continuamente de la experiencia operativa para asegurar la máxima eficiencia de reconocimiento.
- Genera datos esenciales de la composición del flujo de material y la evolución percibida.
- Opera de acuerdo con un orden predeterminado de jerarquía de tareas para maximizar el rendimiento financiero.

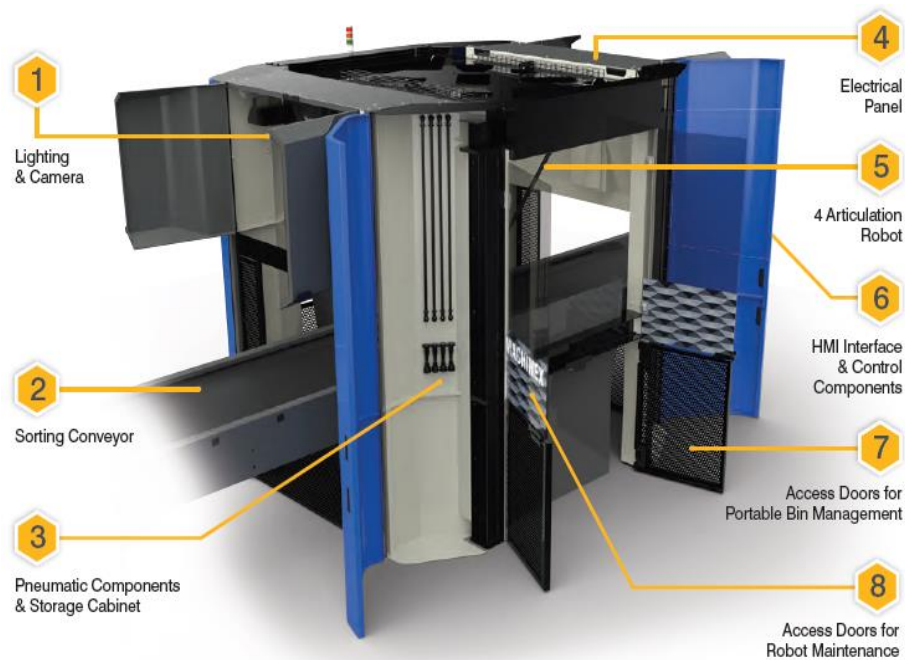


Figura 4.4: Robot SamurAI (MACHINEX, Experience Results, s. f.)

Características del robot SamurAI

Tabla 4.14: Características técnicas de SamurAI (MACHINEX, Experience Results, s. f.)

Modelo	SamurAI 650	SamurAI 800
Brazo Robótico (Brazos)	4	
Picking – Selección (selecciones/h)	4200	
Dimensiones generales (m)	2.1 x 2.9 x 2.4	2.4 x 3 x 2.6
Ancho del Transportador (m)	0.6 – 1	0.6 – 1.2
Peso máximo del objeto seleccionado (kg)	1.25	
Tamaño máximo del objeto seleccionado (m)	0.35	
Velocidad de la cinta (m/s)	≤ 1	
Numero de Tolvas	4	
Eficiencia (%)	> 95	

El robot SamurAI puede reconocer cualquier material de los residuos a tratar que se le configure para separar gracias al sistema de inteligencia artificial autoconsciente con el que cuenta (Self – Aware) el aparato, pudiendo así clasificar una gran cantidad de tipos de materiales que se transportan en la cinta de alimentación al equipo.

4.2.3 Fast Picker – ZenRobotics

ZenRobotics Fast Picker es un equipo que combina el software de inteligencia artificial (IA) con la selección de alta velocidad, lo que permite una clasificación autónoma 24 horas al día, 7 días a la semana. Con Fast Picker las plantas de clasificación, selección y reciclaje pueden aumentar la recuperación manteniendo una alta

pureza en los materiales valorizados. ZenRobotics combina su propio diseño de robot apto exclusivamente para la clasificación de residuos, con su propio software de inteligencia artificial, llamado ZenBrain el cual se puede actualizar fácilmente y el soporte interno de la empresa garantizan una inversión segura (ZenRobotics, Technical Data, s. f.).

El diseño robusto y compacto de Fast Picker es óptimo para instalaciones exigentes de tratamiento de residuos y de recuperación de materiales, este robot reemplaza la clasificación manual y aumenta las ganancias con una alta pureza de producción. El diseño compacto de Fast Picker permite una fácil integración a los procesos y transportadores existentes. Por lo tanto, se puede usar en la mayoría de las estaciones de preparación de materiales valorizables sin modificaciones adicionales (ZenRobotics. Fast Picker, s. f.).



Figura 4.5: Robot Fast Picker (ZenRobotics. Fast Picker, s. f.)

Aplicaciones de Fast Picker

ZenRobotics Fast Picker es ideal para material liviano como residuos de envases (LWP), reciclable mixtos secos (DMR) y residuos sólidos urbanos (RSU). Se puede integrar fácilmente a corrientes laterales, líneas de recuperación de rechazos y control de calidad después de la clasificación óptica. ZenRobotics Fast Picker permite la recolección autónoma 24/7 y aumenta la recuperación mientras mantiene una alta pureza en los materiales reciclables.

En el área de control de calidad del proceso Fast Picker es una solución eficiente en comparación con la combinación actual de clasificadores ópticos y manuales. Es una adición fundamental a las plantas de RSU, de clasificación y selección de envases y DMR totalmente automatizadas, que reemplaza los procesos manuales en el control de calidad.

Características del Fast Picker

Tabla 4.15: Características técnicas de Fast Picker (ZenRobotics, Technical Data, s. f.).

Modelo	Fast Picker
Brazo Robótico (Brazos)	1
Picking – Selección (selecciones/h)	4000
Dimensiones generales (m)	1.94 x 2.67 x 2.75
Área de trabajo (m)	1.2 x 0.6
Peso máximo del objeto seleccionado (kg)	1
Tamaño máximo del objeto seleccionado (m)	0.4 x 0.4 x 0.3
Velocidad de la cinta (m/s)	0.1 – 1
Numero de Tolvas	4
Consumo de Aire (m ³ /min)	0.25
Eficiencia (%)	> 90

4.2.4 RoBB AQC Robotic Sorter – Bollegraaf

El Bollegraaf RoBB AQC es un robot de clasificación totalmente automatizado, listo y capaz de clasificar y separar objetos de valor como plásticos durante las etapas finales de un proceso de clasificación de residuos. La selección de materiales solo requiere el toque de un botón, y varía desde PET, HDPE, LDPE, PS y PP hasta Tetra Pack o papel de varias formas y tamaños. Los sistemas se colocan en la parte superior de las líneas de clasificación existentes con costos de actualización mínimos y pérdida de tiempo en la planta (Bollegraaf. RoBB – AQC, s. f.).

La visión se organiza mediante tecnología de infrarrojo cercano y detección de altura. Un módulo de detección opera hasta diez módulos de clasificación. El sistema puede clasificar de forma intermitente o continua, independientemente de las condiciones de trabajo en el sitio, y requiere una supervisión mínima y poco mantenimiento. Su configuración modular y flexible le permite elegir el número de unidades de clasificación necesarias y clasificar simultáneamente hasta 4 materiales diferentes por módulo. La flexibilidad del sistema le permite cambiar los flujos de desperdicio de material, para que pueda adaptarse, por ejemplo, a los cambios en los precios de los productos básicos. El bajo consumo de energía, los costos reducidos de incineración y vertedero y el ahorro de costos en mano de obra hacen de este sistema una solución altamente rentable y lo deja con materiales reciclables puros y re-vendibles (Bollegraaf. RoBB – AQC, s. f.).

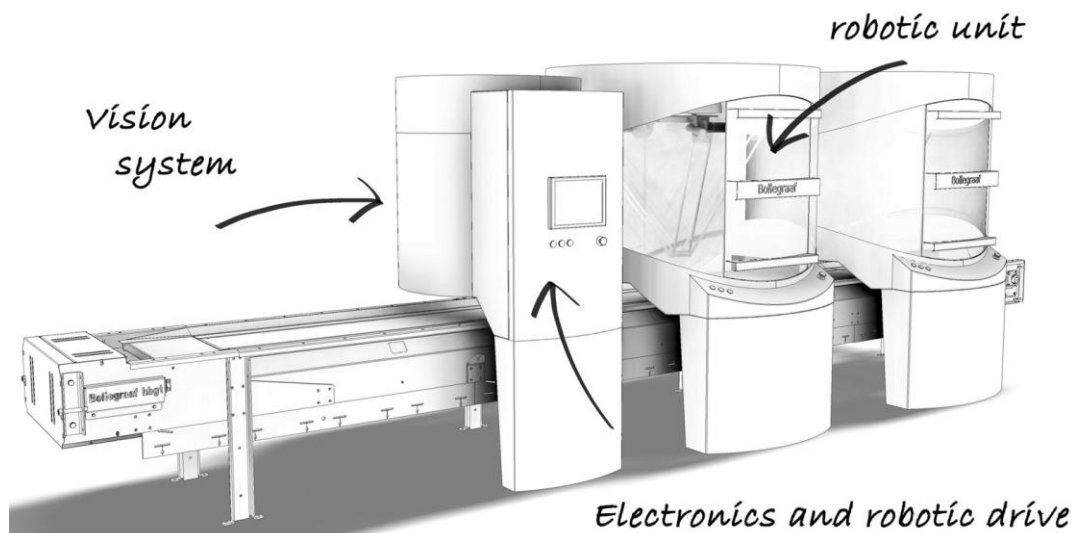


Figura 4.6: Robot RoBB AQC (Bollegraaf. RoBB – AQC, s. f.).

Teniendo todo esto en cuenta, RoBB-AQC es una solución disponible en el mercado para lograr los pasos cruciales de control de calidad al maximizar constantemente la tasa de recuperación junto con la pureza de sus objetos de valor específicos. Esta innovación de robótica e inteligencia artificial de Bollegraaf se esfuerza por mejorar la calidad del trabajo, así como el estado de salud de los empleados, reduciendo su exposición a desechos y polvo (Bollegraaf. RoBB – AQC, s. f.).

El clasificador robótico RoBB-AQC utiliza un sistema de visión artificial para ver el material, inteligencia artificial avanzada para detectar e identificar cada artículo en una cinta transportadora y clasificadores robóticos para recoger artículos específicos o contaminación. El sistema de visión artificial está configurado con una combinación de cámaras NIR (infrarrojo cercano), RGB y de altura, todo impulsado por inteligencia artificial (IA). Esto permite la clasificación precisa de materiales reciclables a través del reconocimiento de la composición del material y la detección 3D para lograr tasas más altas de pureza y una calidad de separación inigualable (Bollegraaf. RoBB – AQC, s. f.).

Características del RoBB - AQC

Tabla 4.16: Características técnicas de Robb - AQC (Bollegraaf. RoBB – AQC, s. f.)

Modelo	RoBB - AQC
Brazo Robótico (Brazos)	1
Picking – Selección (selecciones/h)	5400
Número máximo de tolvas	4
Peso máximo del objeto seleccionado (kg)	2
Tamaño máximo del objeto seleccionado (m)	0.25
Velocidad de la cinta (m/s)	0.5 - 1
Consumo de Aire (m ³ /min)	1
Eficiencia (%)	> 95

4.2.5 Max AI - Bulk Handling Systems (BHS)

La tecnología Max-AI está dando paso a una nueva era de automatización e inteligencia en plantas selección, clasificación y de reciclaje de materiales. Desde la clasificación robotizada a la identificación de materiales en tiempo real, esta tecnología está impulsando soluciones reales que proporcionan unos potentes resultados. Max-AI puede ver, pensar y actuar (Bulk Handling Systems, 2019).

Mediante un aprendizaje profundo emplea tanto redes neuronales multicapas como un sistema de visión para ver e identificar objetos de forma similar a como lo hace una persona. Max-AI puede identificar prácticamente cualquier material de una cinta transportadora en tiempo real. Es un increíble salto hacia delante para una industria que ha dependido de caros sensores para identificar materiales de una forma que es mucho más limitada que las capacidades de identificación y decisión de este equipo (Bulk Handling Systems, 2019).

Este clasificador robótico utiliza su sistema de visión para ver el material, su inteligencia artificial para pensar e identificar cada elemento y un robot para seleccionar elementos específicos. Este sistema es capaz de tomar múltiples decisiones de clasificación de forma autónoma, por ejemplo, separando varios materiales como bandejas de termoformado, aluminio y fibra mientras elimina los residuos de un flujo de botellas de PET. Todo esto se hace a un ritmo que excede las capacidades humanas (Bulk Handling Systems, 2017).

Tecnología utilizada por Max – AI

Max – AI puede identificar materiales procesando rápidamente imágenes de video a través de una canalización de detección y redes neuronales de aprendizaje profundo las cuales son modelos de aprendizaje automático computacional basados en la representación distribuida que se inspiran en la arquitectura del cerebro humano. Estos sistemas, en lugar de estar programados explícitamente, utilizan enfoques de aprendizaje automático y se destacan en áreas donde la detección de soluciones o características es difícil de expresar en un programa informático tradicional. En lugar de depender de la toma de decisiones determinista, utilizando valores discretos y comparaciones para llegar a una decisión, la tecnología Max-AI utiliza el comportamiento de autoaprendizaje, tomando una decisión basada en la inferencia de la red neuronal (Bulk Handling Systems, 2020).

La red neuronal resuelve problemas de la misma manera que lo haría el cerebro humano. Desde que nacemos, los humanos hemos procesado imágenes con nuestros ojos, aprendiendo a identificar objetos. Max aprende de la misma manera a través de técnicas de aprendizaje profundo. Max está entrenado con millones de imágenes con diferentes materiales ya identificados. Una y otra vez, Max descubre el mejor camino a seguir a través de su cerebro artificial para llegar a la respuesta correcta. A través de millones de iteraciones, Max aprende a identificar nuevas imágenes, clasificando correctamente objetos nunca antes vistos. Max ha visto cientos de miles de elementos similares, por lo que cuando se ve un elemento nuevo, el robot ya ha elaborado el proceso

de pensamiento correcto para reconocerlo de inmediato (Bulk Handling Systems, 2020).

Aplicaciones de Max – AI

Max – AI es utilizado en procesos de control de calidad VIS (Sistema de Identificación Visual) como también en procesos selección y clasificación de residuos AQC (Control de Calidad Autónomo).

Max-AI VIS identifica los materiales reciclables en tiempo real y es una forma económica de controlar la composición del material a lo largo de todo un sistema. Se puede utilizar para verificar la calidad de los productos finales o para analizar residuos cuando salen del sistema. Los operarios pueden ver estos datos a través de la Plataforma de Inteligencia Total BHS, en tiempo real y como tendencia. Un operario podrá comparar la composición para un día, semana, mes o cualquier otro periodo con el fin de seguir los indicadores de rendimiento clave (IRC). La Plataforma de Inteligencia Total BHS proporciona información para seguir todo el proceso de reciclaje en una interfaz visual y fácil de usar. La plataforma, intuitiva y flexible, controla y hace un seguimiento de la producción, tiempo de funcionamiento, eventos, composición de materiales, amperaje del motor, objetos y datos de rendimiento de clasificadoras ópticas y equipos accionados por Max-AI, estado real del silo y operaciones de empacado, y mucho más.

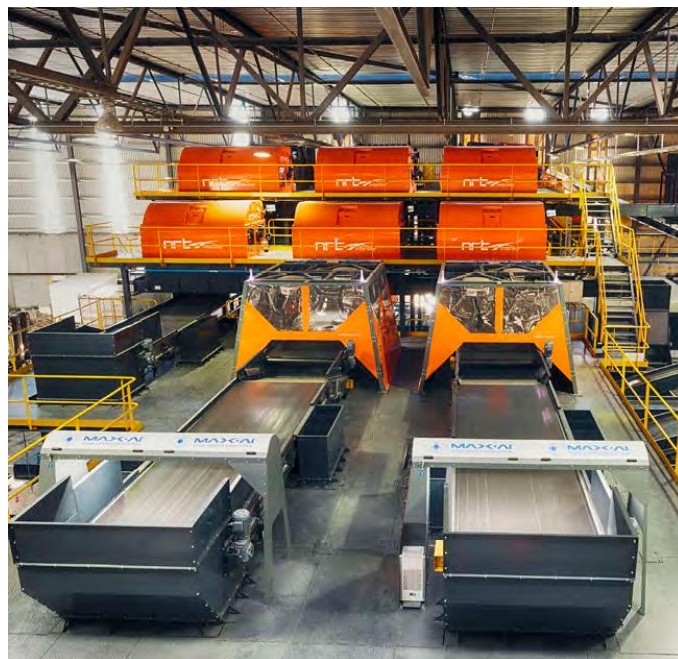


Figura 4.7: Robot MaxAI en planta (Bulk Handling Systems, 2019).

Las clasificadoras Max-AI AQC son las máquinas definitivas en cuanto a la automatización de la clasificación posterior. Cuando se combinan con las clasificadoras ópticas, el proceso de clasificación de recipientes es 100% autónomo y se elimina la necesidad de que haya contacto humano con los residuos. Las unidades AQC superan las prestaciones humanas en todos los aspectos: velocidad, precisión, consistencia, seguridad y costes para una rápida rentabilidad de la inversión.

La AQC toma de forma autónoma múltiples decisiones de clasificación; por ejemplo, separa bandejas de plástico termoformado, aluminio, fibra en 3D y residuos de un flujo de botellas PET clasificadas ópticamente esto con su versión de AQC-1, mientras que para su versión de AQC-2 toma múltiples decisiones de clasificación autónomamente; por ejemplo, separa plástico film, cartón, envases y residuos de una corriente de papel periódico. Todo eso se hace a velocidades que superan las capacidades humanas y cada selección se prioriza según su rentabilidad, proporcionando a los operarios de las plantas de reciclaje de materiales una prestaciones de clasificación continuas y consistentes al tiempo que mejoran la seguridad de la planta, la recuperación, la calidad de los productos y los gastos de explotación.

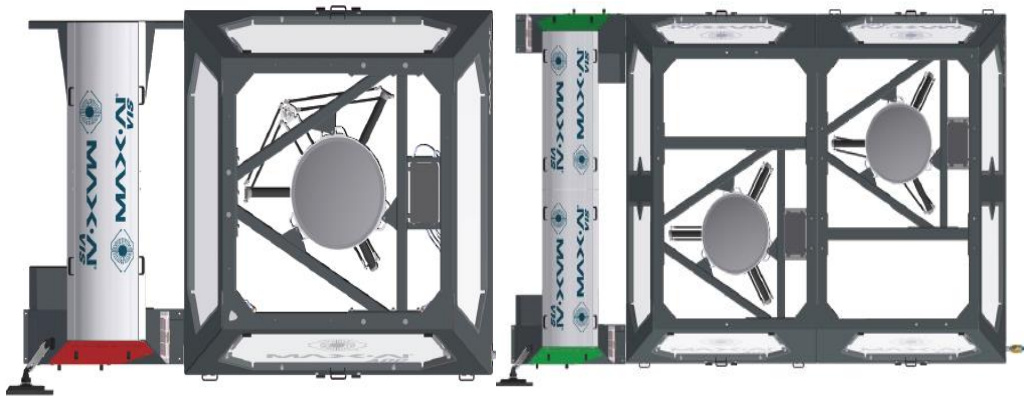


Figura 4.8: Vista desde arriba del AQC-1 (izquierda) y AQC-2 (Derecha). (Bulk Handling Systems, 2019).

También existe un tercer modelo *AQC-C* el cual es una solución que se compone de Max-AI VIS (para Sistema de Identificación Visual) y al menos un brazo robot (CoBot). Los CoBots pueden trabajar junto a las personas, minimizando los requisitos estructurales y mejorando el acceso de mantenimiento. El AQC-C puede y se coloca fácilmente en las instalaciones de recuperación de materiales existentes sin tiempo de inactividad este modelo del equipo de Max AI es capaz de separar y clasificar una gran cantidad de materiales entre los que se encuentran todo los tipos envases de plástico y metal, papel, cartón, cartones, residuos. Para este proyecto este modelo es el más recomendado ya que cumple las funciones preestablecidas en los objetivos del mismo.



Figura 4.9: Equipo AQC-C. (Bulk Handling Systems, 2019).

Características técnicas de MaxAI AQC - C

Tabla 4.17 Características técnicas de AQC – C (Bulk Handling Systems, 2019).

Modelo	AQC -C
Brazo Robótico (Brazos)	2
Picking – Selección (selecciones/h)	2400
Número máximo de tolvas	4
Peso máximo del objeto seleccionado (kg)	0.250
Tamaño máximo del objeto seleccionado (m)	0.25 x 0.15
Velocidad de la cinta (m/s)	0.5 - 1
Consumo de Aire (m ³ /min)	2.3
Eficiencia (%)	> 95

4.2.6 Cortex – AMP Robotics

AMP Cortex es un sistema robótico inteligente de alta velocidad diseñado para satisfacer las exigentes necesidades de las operaciones de reciclaje actuales. Guiados por la innovadora tecnología de inteligencia artificial (IA) de AMP, estos robots realizan de manera inteligente tareas físicas de clasificación, recolección y colocación de material para lograr un 99% de precisión y con la capacidad de recoger 80 piezas de material por minuto (4800 piezas por hora). Cortex aplica tres tecnologías clave que sirven como cerebro, ojos y manos para realizar tareas de recuperación de material a velocidades extraordinarias con alta precisión. Y la mejor parte es que Cortex está aprendiendo continuamente de la experiencia mejorando todo el tiempo (AMP. Cortex, s. f.).

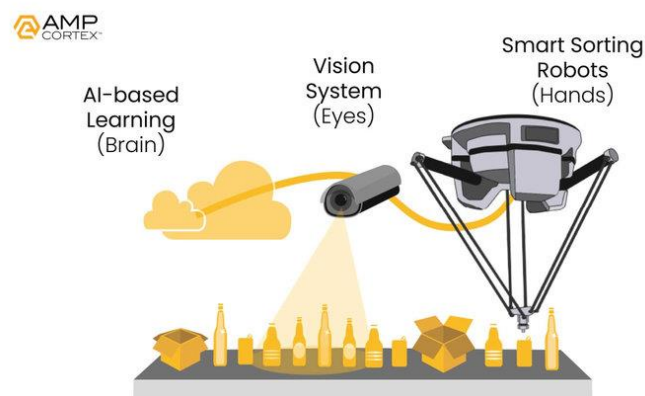


Figura 4.10: Modelo de trabajo de Cortex (AMP. Cortex, s. f.)

La plataforma de inteligencia artificial (IA) AMP Neuron impulsa a Cortex, como los "ojos" y el "cerebro" del sistema. Neuron aplica tecnologías de visión artificial y aprendizaje profundo para el reconocimiento de patrones en tiempo real para identificar materiales (AMP. Cortex, s. f.).

Tabla 4.18 Características técnicas de AMP Cortex (AMP. Cortex, s. f.)

Nombre de la Empresa	AMP Robotics
Modelo del Equipo	Cortex
Nº de Brazo (s) Robótico (s)	1
Picking - Selección (selecciones/h)	4800
Dimensiones del equipo (m)	1 x 0.5 x 2
Tamaño del objeto seleccionado (m)	0.35 X 0.35 X 0,1
Peso máximo del objeto seleccionado (kg)	4.5
Velocidad de la cinta (m/s)	1,5
Eficiencia (%)	99
Consumo de Aire (m3/min)	2,2

4.3 TAREA III: EVALUAR EN TÉRMINOS DE PRODUCCIÓN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA IOT PRE-ESTABLECIDAS

En esta tarea del proyecto se evalúa en términos de producción la implementación de los equipos (robots) que utilizan la tecnología del Internet de las Cosas (IoT) establecidas en el objetivo anterior, para esto se plantea el balance de materia con esta nueva tecnología, aplicada al proceso de selección y clasificación de envases plásticos procedentes del contenedor amarillo de la planta en estudio. En el proceso de selección y clasificación los robots sustituirán a los ópticos; para hacer el balance de materia con estos nuevos equipos es necesario saber el peso de cada uno de los valorizables, se realiza un cálculo para establecer el peso promedio de cada tipo de valorizable (PET, PEAD, FILM, Brik y Plástico mezcla).

4.3.1 Pesos Promedios de cada tipo de Valorizable

Para calcular el promedio se asumirá un porcentaje de cada subtipo de plásticos para cada valorizable.

4.3.1.1 *Peso promedio de Plásticos PET*

En la siguiente tabla se representa los tipos de plásticos de Tereftalato de Polietileno (PET) más utilizados la cual servirá de muestra para el cálculo del peso promedio de este tipo de valorizable, se asumirá un porcentaje representativo de cada uno de los tipos de este plástico desechados en el contenedor amarillo.

Tabla 4.19 Peso promedio plásticos PET (fuente propia)

Plásticos PET	Porcentaje	Peso (g)	Peso total (g)
Botella 0.25 L	5%	20	1
Botella 0.5 L	10%	24	2,4
Botella 1 L	20%	30	6
Botella 1.5 L	20%	45	9
Botella 2 L	20%	50	10
Botella 5 L	15%	75	11,25
Botella Aceite 0.5 L	5%	43	2,15
Botella Aceite 0.75 L	5%	50	2,5
Peso total de cada unidad (g)			44,3

Observando la tabla anterior tenemos que en promedio cada uno de los envases PET pesa alrededor de 44,3 g o lo que es igual a 0,0443 kg.

4.3.1.2 *Peso promedio de Plásticos PEAD*

En la siguiente tabla se representa los tipos de plásticos de Polietileno de alta densidad (PEAD) más utilizados la cual servirá de muestra para el cálculo del peso promedio de este tipo de valorizable, se asumirá un porcentaje representativo de cada uno de los tipos de este plástico desechados en el contenedor amarillo.

Tabla 4.20 Peso promedio plásticos PEAD (fuente propia)

Plásticos PEAD	Porcentaje	Peso (g)	Peso total (g)
Botella 0.25 L	5%	25	1,25
Botella 0.5 L	7%	35	2,45
Botella 1 L	20%	65	13
Botella 1.5 L	25%	75	18,75
Botella 2 L	20%	82	16,4
Botella 5 L	20%	131	26,2
Tapas	3%	2	0,06
Peso total de cada unidad			78,11

Observando la tabla anterior tenemos que en promedio cada uno de los envases de Polietileno de Alta densidad (PEAD) pesa alrededor de 78,11 g o lo que es igual a 0,07811 kg.

4.3.1.3 Peso promedio de Plásticos PEBD

En la siguiente tabla se representa los tipos de plásticos de Polietileno de baja densidad (PEBD) más utilizados la cual servirá de muestra para el cálculo del peso promedio de este tipo de valorizable, se asumirá un porcentaje representativo de cada uno de los tipos de este plástico desechados en el contenedor amarillo.

Tabla 4.21 Peso promedio plásticos PEBD (fuente propia)

Plásticos PEBD	Porcentaje	Peso (g)	Peso total (g)
Film Envoltura	3%	0,9	0,027
Film Retráctil	17%	50	8,5
Film (bolsa 30 x 40)	50%	10	5
Bolsa de basura (30 L)	15%	6	0,9
Bolsa de basura (120 L)	15%	19	2,85
Peso total de cada unidad			17,277

Observando la tabla anterior tenemos que en promedio cada uno de los envases de Polietileno de baja densidad (PEBD) pesa alrededor de 17,277 g o lo que es igual a 0,017277 kg.

4.3.1.4 Peso promedio de Plásticos PM

En la siguiente tabla se representa los tipos de plásticos Mezcla (PM) más utilizados la cual servirá de muestra para el cálculo del peso promedio de este tipo de valorizable, se asumirá un porcentaje representativo de cada uno de los tipos de este plástico desechados en el contenedor amarillo.

Tabla 4.22 Peso promedio plásticos mezcla PM (fuente propia)

Plásticos PM	Porcentaje	Peso (g)	Peso total (g)
Bolsa Doypack (250mm x 180mm)	1%	10	0,1
Envase de Yogurt	10%	8	0,8
Bandeja 0.25 L	25%	10	2,5
Bandeja 0.5 L	33%	14	4,62
Bandeja 1 L	31%	23	7,13
Peso total de cada unidad			15,15

Observando la tabla anterior tenemos que en promedio cada uno de los envases de Plásticos Mezcla (PM) pesa alrededor de 15,15 g o lo que es igual a 0,01515 kg.

4.3.1.5 Peso promedio de Plásticos Brik

En la siguiente tabla se representa los tipos de plásticos Brik más utilizados la cual servirá de muestra para el cálculo del peso promedio de este tipo de valorizable, se asumirá un porcentaje representativo de cada uno de los tipos de este plástico desechados en el contenedor amarillo.

Tabla 4.23 Peso promedio plásticos Brik (fuente propia)

Plásticos Brik	Porcentaje en las Balas	Peso (g)	Peso total (g)
Envases 330 ml	10%	10,1	1,01
Envases 1 L	50%	28	14
Envases 2 L	40%	50	20
Peso total de cada unidad			35,01

Observando la tabla anterior tenemos que en promedio cada uno de los envases de Plásticos Brik pesa alrededor de 35,01 g o lo que es igual a 0,03501 kg.

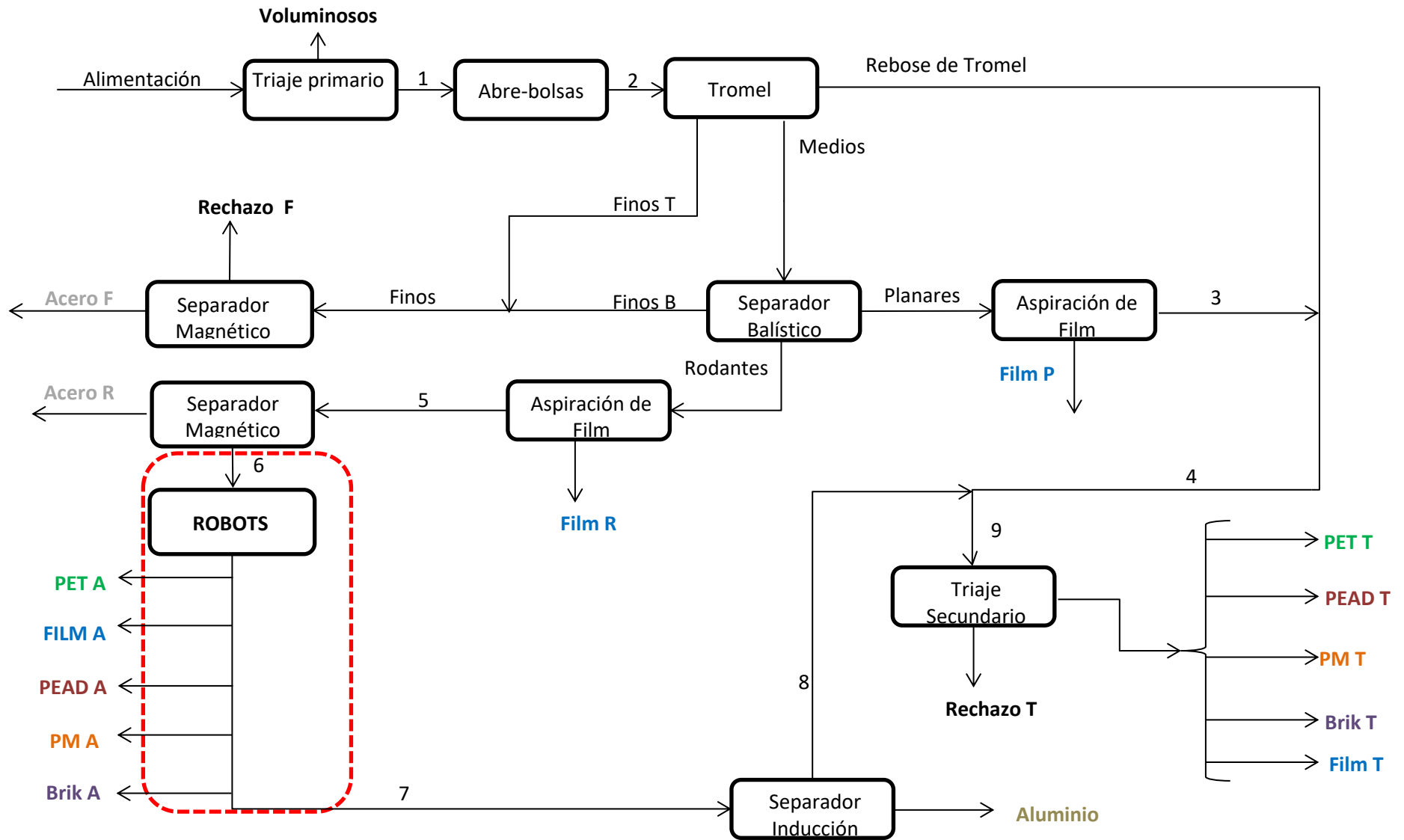
A continuación se resume los pesos promedios de cada tipo de plástico (valorizable) que se tomara como referencia para calcular el número de robots necesarios en la planta ya que el parámetro a considerar para esto son los números de recogidas que hace el robot (picking).

Tabla 4.24 Peso de cada unidad por valorizable (fuente propia)

Tipo de Plástico	Peso (g)	Peso (kg)
Plásticos PET	44,3	0,0443
Plásticos PEAD	78,11	0,07811
Plásticos PEBD	17,277	0,017277
Plásticos PM	15,15	0,01515
Plásticos Brik	35,01	0,03501

Como se explica anteriormente los robots que utilizan IoT (Internet of Things), en este proyecto sustituirán los ópticos del proceso los cuales se encargan de separar los valorizables (PET, PEAD, PEBD, PM y Brik), a continuación se muestra el nuevo diagrama de flujo con estas mejoras al proceso (figura 4.11).

Figura 4.11 Diagrama de Flujo de Proceso de la planta de selección de envases Modificada



4.3.2 Bases de Cálculos utilizados en el balance de materia

Como base de cálculo en este balance de materia se asumirá que:

- Los robots operaran con un 80% de eficiencia.
- Para el balance de materia se tendrá en cuenta solo las recogidas de los robots (pickings).
- Solo se trabajará en la unidad del proceso donde estarán los robots (zona bordeada de color rojo del DFP de la figura 4.11), asumiendo que las demás unidades del proceso tendrán el mismo rendimiento.
- Se asumirá la misma alimentación que en el balance de materia presentado en el objetivo I.

4.3.3 Balance de materia

Como se explicó anteriormente se trabajará sobre la unidad de proceso donde se situarán los robots (equipos de Inteligencia artificial), a continuación se muestra esta unidad:

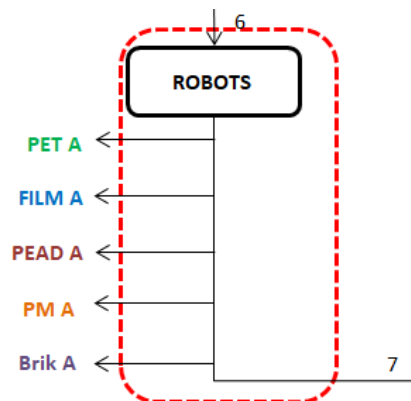


Figura 4.12: DFP de la unidad de los robots (fuente propia)

Observando el DFP de la figura 4.11 tenemos que a la unidad de Robots entra la alimentación del proceso excepto el acero y el plástico film que se aspiró en unidades aguas arriba, y que a diferencia de los ópticos en esta unidad también se recupera plástico de polietileno de baja densidad (PEBD-Film), por lo tanto tenemos que la alimentación a esta unidad del proceso es la corriente 6 y tiene una caracterización como se muestra en la siguiente tabla:

$$\text{Corriente 6} = 1.937,56 \text{ kg/h}$$

A continuación se muestra una tabla en la cual se observa la cantidad de valorizables de esta alimentación a la unidad del proceso de Robots en la cual se asume que a esta unidad del proceso ingresan el 65% de los valorizables (PET, PEAD, PM y Brik) alimentados a la planta, mientras que el porcentaje de film es de 15% (datos aportados por la empresa).

Tabla 4.25 Alimentación a la unidad de robots (fuente propia)

Valorizable	Composición	kg/h
Corriente 6	-	2.001,12
PET	29,23%	584,91
PEAD	12,99%	259,96
PEBD	6,37%	127,48
PM	16,73%	334,70
Brik	17,86%	357,45
Impropios	16,82%	336,62

En las bases de diseño se estipula que los robots tendrán una eficiencia del 80%, tomando esto en cuenta tenemos los siguientes datos:

Tabla 4.26 Pickings reales de los robots (fuente propia)

Robots	Picking	Picking (80 % Eficiencia)
PICVISA - Ecopick	3600	2880
Machinex - SamurAI	4200	3360
ZenRobotics - Fast Picker	4000	3200
Bollegraaf - Robb AQC	5400	4320
BHS - Max AI	2400	1920
AMP Robotics - Cortex	4800	3840

- Cálculo del número de robots

Como ejemplo representativo e ilustrativo tenemos el robot de PICVISA – Ecopick, este robot es capaz de hacer 2880 recogidas por hora y separar 8 materiales distintos al tiempo, con estos datos se procede a realizar el balance de materia en esta unidad de proceso con este equipo.

Para calcular el número de robots necesarios, primero se debe calcular la cantidad de selecciones (Pickings) que debe hacer el robot, para realizar este cálculo, utilizando la cantidad de kilos cada hora de material (flujo) y el peso promedio tenemos:

$$\text{Número de selecciones} = \frac{\text{kg de plástico}}{\text{peso promedio del plástico}}$$

$$\text{Selecciones para PET} = \frac{\text{kg de PET}}{\text{Peso promedio del PET}}$$

$$\text{Selecciones para PET} = \frac{584,91 \text{ kg/h}}{0,0443 \text{ kg}} = 13.203 \text{ selecciones/h}$$

$$\text{Selecciones para PEAD} = \frac{\text{kg de PEAD}}{\text{Peso promedio del PEAD}}$$

$$\text{Selecciones para PEAD} = \frac{259,96 \text{ kg/h}}{0,07811 \text{ kg}} = 3.328 \text{ selecciones/h}$$

$$\text{Selecciones para PEBD} = \frac{\text{kg de PEBD}}{\text{Peso promedio del PEBD}}$$

$$\text{Selecciones para PEBD} = \frac{127,48 \text{ kg/h}}{0,017277 \text{ kg}} = 7.379 \text{ selecciones/h}$$

$$\text{Selecciones para PM} = \frac{\text{kg de PM}}{\text{Peso promedio del PM}}$$

$$\text{Selecciones para PM} = \frac{334,70 \text{ kg/h}}{0,01515 \text{ kg}} = 22.092 \text{ selecciones/h}$$

$$\text{Selecciones para Brik} = \frac{\text{kg de Brik}}{\text{Peso promedio del Brik}}$$

$$\text{Selecciones para Brik} = \frac{357,45 \text{ kg/h}}{0,03501 \text{ kg}} = 10.210 \text{ selecciones/h}$$

$$\text{Selecciones totales} = 56.212 \text{ selecciones/h}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de Robot PICVISA} = \frac{56.212}{2880} = 19,52 \approx 20 \text{ Robots}$$

Se observa que para el robots PICVISA – Ecopick son necesarios 20 robots para separar la cantidad de valorizables que se alimenta a esta unidad del proceso, cabe destacar que con este robot tiene una eficiencia mayor a 95%.

Siguiendo la misma metodología de cálculo, procedemos a realizar el mismo procedimiento para los demás robots, los resultados se presentan en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 4.27 Número de robots (fuente propia)

Robot	Número de robots	Eficiencia
PICVISA - Ecopick	20	> 95
Machinex - SamurAI	17	> 95
ZenRobotics - Fast Picker	18	> 90
Bollegraaf - Robb AQC	13	> 95
BHS - Max AI	29	> 95
AMP Robotics - Cortex	15	≥ 99

En la tabla anterior se refleja el número de robots necesarios para la separación deseada en cada uno de los equipos preseleccionados en el objetivo anterior (objetivo II), enfocándonos en el número de

robots necesarios en el proceso, el más adecuado sería el equipo Robb AQC fabricado por la empresa Bollegraaf ya que es el que menos equipos (robots) son necesarios en el proceso dando como resultado 13 unidades para la selección y clasificación deseada, este tiene una eficiencia mayor al 95%.

Por otro lado, es importante resaltar que el robot Cortex de la empresa AMP Robotics tiene una eficiencia mayor, alrededor del 99% y solo son necesarios 2 robots adicionales (15 equipos) en comparación con el modelo anterior (robot de Bollegraaf), con esta eficiencia se lograría un producto terminado con mucha pureza, lo que permitirá tener una mayor holgura con las especificaciones establecidas por la empresa gestora de los residuos valorizados (Ecoembes).

- Cálculo de la producción con la tecnología implementada

Analizando los datos obtenidos anteriormente se decanta la selección a los equipos (robots) más eficientes en el proceso en estudio, el **Robb AQC de Bollegraaf y el Cortex de AMP**, ya que son los casos en los que se necesitarían menos equipos en el proceso, de aquí en adelante los llamaremos alternativa 1 y alternativa 2 respectivamente.

En este apartado se calcula la producción que se tendría con la implementación de estos nuevos equipos al proceso, se tiene en cuenta la eficiencia de cada uno de estos robots, para la alternativa 1 un 96% mientras que para la alternativa 2 un 99% respectivamente.

Con estos equipos en funcionamiento se obtienen los siguientes valorizables a la salida de esta unidad, los datos se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 4.28 Salida de la unidad de robots (fuente propia)

Producción con los Robots	Composición Requerida	Alternativa 1	Alternativa 2
Plásticos PET (kg/h)	95,50%	587,97	606,35
Plásticos PEAD (kg/h)	90%	277,29	285,96
Plásticos PEBD (kg/h)	82%	149,25	153,91
Plásticos PM (kg/h)	80%	401,64	414,19
Plásticos Brik (kg/h)	95%	361,21	372,50
		1.777,36	1.832,90

En la tabla anterior se muestra la cantidad de valorizables que se seleccionan y clasifican en la unidad de proceso de los robots, con la implementación de estas alternativas en el proceso se tiene un aumento del porcentaje de recuperación de 42,11% para la alternativa 1, mientras que para la

alternativa 2 el aumento del porcentaje de recuperación es de 46,55%, estos porcentajes de recuperación son con respecto a la misma unidad del proceso utilizando ópticos.

Siguiendo con el proceso de la planta aguas abajo se extrae el aluminio el cual será la misma cantidad que en el balance de materia anterior el cual es **64,54 kg/h** o lo que es igual a **159,19 toneladas**. Por consiguiente, en el triaje secundario se recupera los valorizables que acompañan a la línea del rebose del Tromel, la línea de rechazo de aspiración de film (corriente 3) y el rechazo de reparación de aluminio (corriente 8), en esta unidad se toma en cuenta el mismo porcentaje de recuperación que en el balance de materia presentado en el objetivo I, teniendo como resultado:

Tabla 4.29 Triaje secundario (fuente propia)

Corrientes	Recuperaciones	Alternativa 1		Alternativa 2	
		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
Corriente 9	-	1.723,79		1.668,25	
PET_T	4,00%	68,95		66,73	
PEAD_T	1,50%	25,86		25,02	
PM_T	9,00%	155,14		150,14	
BRICK_T	3,50%	60,33		58,39	
FILM_T	8,00%	137,90		133,46	
Rechazo_T	74,00%	1.275,61		1.234,51	

Con los datos mostrados en la tabla anterior (selección en el triaje secundario), como con los valorizables seleccionados y clasificados de la unidad de robot se procede a calcular la producción y eficiencia de la planta con la implementación de estos equipos, estos datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.30 Producción con la implementación de las alternativas (fuente propia)

	Alternativa 1		Alternativa 2	
	kg/h	t/año	kg/h	t/año
Plástico PET	656,92	1548,36	673,08	1586,45
Plástico PEAD Color	269,50	635,21	276,46	651,62
Plástico PEAD Natural	33,65	79,31	34,52	81,36
Plástico FILM	828,55	1952,89	828,77	1953,41
Plástico PM	556,78	1312,33	564,33	1330,13
Plástico Brik	421,54	993,57	430,88	1015,58
Acero	327,96	773,00	327,96	773,00
Aluminio	67,54	159,19	67,54	159,19
Total	3.162,44	7453,87	3.203,54	7550,74
% Eficiencia global	63,25%		64,07%	

En la tabla anterior se muestra la cantidad de valorizables que se puede llegar a producir con estos equipos en el proceso de selección y clasificación de plásticos de envases ligeros con la alimentación propuesta inicialmente en este proyecto, obteniéndose una recuperación del 63,25% con la implementación del robot de Bollegraaf (alternativa 1), mientras que para el robot de AMP (alternativa 2) se tiene una recuperación del 64,07%, en la siguiente tabla se detalla la producción inicial (sin la implementación de esta tecnología) y la producción con la implementación de estos equipos, es importante resaltar que para el plástico PEAD se ha tomado el mismo criterio de que el 11% del PEAD total seleccionado es PEAD Natural.

Tabla 4.31 Comparación de la producción Alternativas VS Ópticos (fuente propia)

	Alternativa 1	Alternativa 2	Ópticos
	kg/h	kg/h	kg/h
Plástico PET	656,92	673,08	627,62
Plástico PEAD Color	269,5	276,46	278,17
Plástico PEAD Natural	33,65	34,52	34,73
Plástico FILM	828,55	828,77	716,03
Plástico PM	556,78	564,33	296,53
Plástico Brik	421,54	430,88	327,96
Acero	327,96	327,96	67,54
Aluminio	67,54	67,54	406,58
Total	3.162,44	3.203,54	2.755,16

Se observa que con la implementación de esta tecnología se obtiene una eficiencia global mayor en la planta con la misma alimentación, en términos de producción la alternativa 2 es la que mejores resultados arroja ya que se logra un aumento en la producción de 16,27%, mientras que para la alternativa 1 se tiene un aumento de 14,78%, logrando una eficiencia de. No obstante, se debe realizar un estudio económico para sustentar esta selección de la alternativa a implementar en el proceso.

Es importante resaltar que estos equipos seleccionados son capaz de aumentar la pureza del producto terminado (balas), el equipo de la alternativa 2 es capaz de obtener una pureza del 99%, mientras que con la alternativa 1 esta pureza es mayor al 96%, esto hace que estos equipos sean una buena opción y son recomendados a este tipo de plantas, ya sea para una mayor eficiencia de la producción o por implementación de leyes y/o convenios más restrictivos establecidos por la Unión Europea para este sector, lo cual le permite a la empresa tener mayor holgura en cuanto a la pureza del mismo.

4.4 TAREA IV: EVALUAR ECONÓMICAMENTE LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTAS MEJORAS TECNOLÓGICAS

En esta última etapa del proyecto en la cual se realiza una propuesta de implementación de equipos (robots) que utilizan la tecnología IoT (Internet of Things), se presenta la evaluación económica de esta implementación al proceso de selección y clasificación de envases ligeros procedentes del contenedor amarillo de la ciudad de Sevilla.

En objetivos anteriores se realizó el cálculo de la producción actual de la planta en estudio, por otro lado, también se calculó el aumento de la producción y el número de equipos necesarios en el proceso para la misma planta de selección y clasificación.

En el objetivo anterior se han seleccionado dos robots los cuales han sido los que mejor se ajustan al proceso en estudio, obteniendo aumento de la producción y la posibilidad de aumentar la pureza del producto terminado cuando sea necesario, estos equipos son, Robb AQC (alternativa 1) fabricado por la empresa Bollegraaf y el Cortex de la empresa AMP Robotics (alternativa 2).

A continuación para la evaluación económica solo se tendrá en cuenta el coste del equipo y la producción que se tiene con la implementación de los mismos.

4.4.1 Estimación económica con la configuración actual

Como se explicó anteriormente este proyecto tiene como modelo la planta de clasificación y selección de envases ligeros de Alcalá de Guadaíra de la Ciudad de Sevilla, la cual en el año 2018 tuvo una producción de 6.721,52 toneladas, distribuidas entre los diferentes valorizables (tabla 2.3). Teniendo en cuenta la cantidad para cada valorizable se procede a calcular el beneficio que se obtuvo con los mismos.

Para calcular el benéfico obtenido en el año 2.018, los ingresos son calculados según la colaboración económica de envases ligeros presentados en el Convenio entre la Federación Andaluza de Municipios y Provincias (FAMP) y Ecoembes (FAMP, 2.015), en el cual se especifica que el pago se compone de dos partidas: Pago por precio Base el cual para una planta Automática de 5 t/h es 0,23099 €/kg, y el Pago por precio Unitario de cada material.

$$\text{Ingreso por precio base} = 0,23099 \frac{\text{€}}{\text{kg}} * 6.721.520 \text{ kg} = 1.552.603,9 \text{ €}$$

Tabla 4.32 Precio de cada valorizable (FAMP, 2.015)

Tipo de Valorizable	Precio €/kg
PET	0,08886
PEAD	0,0859
PEAD Natural	0,11941
FILM	0,09619
Brik	0,07865
Acero	0,02151
Aluminio	0,82318
PM	0,11524

Con el pago por precio base y el precio presentado para cada valorizable (tabla 2.30) se procede a calcular el beneficio obtenido por la empresa en estudio antes de la implementación de los equipos de tecnología IoT.

Tabla 4.33 Ingresos por precio unitario en 2.018 (Fuente propia)

Ingresos por Precio Unitario		
Datos de Ecoembes 2018 (kg/año)		Ingresos (€/año)
PET	1.546.400	137.413,10
PEAD	686.220	58.946,30
PEAD Natural	85.660	10.228,66
FILM	1.761.260	169.415,60
Brik	714.060	56.160,82
Acero	777.740	16.729,19
Aluminio	154.680	127.329,48
PM	995.500	114.721,42
Total Ingresos por precio unitario de valorizable (€/año)		690.944,57

$$\text{Ingresos Totales}_{2.018} = \text{Pago por precio base} + \text{Pago por precio unitario}$$

$$\text{Ingresos Totales}_{2.018} = (1.552.603,9 + 690.944,57) \text{ €} = 2.243.548,48 \text{ €}$$

4.4.2 Análisis económico de la planta con la incorporación de IoT

Con la implementación de los equipos se tiene una producción total de 7.453.860 kg para la alternativa 1, mientras que para la alternativa 2 esta se incrementa hasta 7.550.740 kg respectivamente, con estos se calcula el beneficio por precio base:

$$\text{Ingreso por precio base}_{A1} = 0,23099 \frac{\text{€}}{\text{kg}} * 7.453.860 \text{ kg} = 1.721.767,12 \text{ €}$$

$$\text{Ingreso por precio base}_{A2} = 0,23099 \frac{\text{€}}{\text{kg}} * 7.550.740 \text{ kg} = 1.744.145,43 \text{ €}$$

Mientras que para el beneficio por material se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4.34 Ingresos por precio unitario con los robots implementados (Fuente propia)

	Alternativa 1		Alternativa 2	
	kg/año	Ingreso €		Ingresos €
Plásticos PET	1.548.360	137.587,27	1.586.450	140.971,95
Plásticos PEAD Color	635.210	54.564,54	651.620	55.974,16
Plástico PEAD Natural	79.310	9.470,41	81.360	9.715,20
Plásticos FILM	1.952.890	187.848,49	1.953.410	187.898,51
Plásticos PM	1.312.330	151.232,91	1.330.130	153.284,18
Plásticos Brik	993.570	78.144,28	1.015.580	79.875,37
Acero	773.000	16.627,23	773.000	16.627,23
Aluminio	159.190	131.042,02	159.190	131.042,02
Total de Ingresos por precio unitario		766.517,15		775.388,61

Después de calcular los ingresos por precio unitarios y precio base, se tiene que el beneficio en la planta con estos robots en funcionamiento es:

$$\text{Ingresos Totales}_{A1} = (1.721.767,12 + 766.517,15) \text{ €} = 2.488.284,27 \text{ €}$$

$$\text{Ingresos Totales}_{A2} = (1.552.603,9 + 690.944,57) \text{ €} = 2.519.534,05 \text{ €}$$

Con la implementación de los estos equipos tenemos un beneficio mayor que aquellos obtenidos en la planta en la actualidad, para la alternativa 1 el beneficio se incrementa 244.735,79 € y con la alternativa 2 el incremento es de 275.985,57 €, lo que equivale a 10,91 % y 12,30% respectivamente.

4.4.3 Coste de los equipos

En el objetivo anterior se han seleccionado dos equipos diferentes para este proceso, como también el número de los mismos que se necesitan en el proceso para la selección y clasificación deseada.

Según entrevistas con los responsables y comerciales de la empresa Bollegraaf la implementación de la alternativa 1 tiene un coste aproximado de 285.000 \$ por equipo, mientras que para la

alternativa 2 el coste aproximado es de 300.000\$ por equipo (Cai,2020).

En la siguiente tabla se muestra el coste de los equipos en euros para el cambio de divisas el día 08/06/21 el cual es 1 \$ equivale a 0,82 €, con esta tasa de cambio de divisas:

Tabla 4.35 Coste unitario de los equipos (fuente propia)

Equipo	Dólares (\$)	Euros (€)
Alternativa 2	300.000	246.000
Alternativa 1	285.000	233.700

Teniendo en cuenta que en el objetivo anterior se ha calculado la cantidad de equipos que se necesitan, se tiene que:

Tabla 4.36 Coste total de los equipos (fuente propia)

Equipo	Número de Equipos	Total (€)
Alternativa 2	15	3.591.600
Alternativa 1	13	3.038.100

Observando la tabla anterior de destaca que hay una diferencia de 606.800 euros entre la opción de un robot y otro, pero es importante tener en cuenta que el robot más costoso (alternativa 2) es capaz de producir balas (producto terminado) con una mayor pureza (alrededor del 99%) lo cual es importante de cara a nuevas exigencias de criterio de pureza planteadas por el SIG Ecoembes.

Para calcular el periodo de retorno de la inversión necesaria para estos equipos se divide el coste total la implementación de la Alternativa X (A_X) en el proceso entre el beneficio total que se obtiene de esta implementación:

$$\text{Periodo de retorno}_{AX} = \frac{\text{Coste}_{\text{equipo } X}}{\text{Beneficio}_{\text{Equipo } X}}$$

$$\text{Periodo de retorno}_{A1} = \frac{3.038.100 \text{ €}}{244.735,79 \text{ €/año}} = 12,4 \text{ años}$$

$$\text{Periodo de retorno}_{A2} = \frac{3.591.600 \text{ €}}{275.985,57 \text{ €/año}} = 13 \text{ años}$$

Según el tiempo de retorno de la inversión para implementar estos equipos, actualmente estos no son rentables, debido a que la inversión necesaria para realizar esta mejora en el proceso es muy alta y tendrían que transcurrir por lo menos 12 años para amortizar los mismos.

Razonando los resultados económicos se concluye que estos equipos dan mejores resultados en la unidad del proceso de control de calidad, ya que en esta corriente el flujo de material es menor, por ende se necesitan menos unidades de estos equipos en el proceso, y así, estos aumentan la pureza del

producto terminado (balas), pero no serían capaces de aumentar la eficiencia global de la planta.

5. CONCLUSIONES

En este proyecto se llevó a cabo el prediseño del proceso de selección y clasificación de envases ligeros, implementando equipos que utilizan tecnología IoT, escogiendo como modelo la planta Montemarta Cónica Aborgase. Derivando las siguientes conclusiones:

- La planta de clasificación de envases ligeros en estudio tuvo una alimentación de 11.783,20 toneladas de materia prima procedentes del contenedor amarillo de la ciudad de Sevilla, de las cuales se valorizaron 6.493,89 toneladas, alcanzando así una eficiencia de 55,10%.
- En la actualidad la tecnología IoT está avanzando considerablemente, en este sector existen diferentes equipos que implementan esta tecnología, entre los que destacan los equipos: Ecopick - Picvisa, SamurAI - Machinex, Fast Picker - ZenRobotics, Robb AQC - Bollegraaf, Max AI - BHS y Cortex – AMP Robotics, estos fueron preseleccionados ya que se ajustan correctamente a la selección y clasificación de envases plásticos ligeros.
- Evaluando los equipos preseleccionados en el proceso, se eligen las siguientes alternativas: Alternativa 1 (Robb AQC), esta necesita menos unidades para la selección y clasificación deseada necesitándose 13 unidades en el proceso y con una eficiencia superior al 96%. Por otro lado, se analiza el proceso implementado la alternativa 2 (Cortex) ya que este tiene una eficiencia del 99%, en este caso se necesitan 15 unidades para la selección y clasificación deseada.
- Con estas implementaciones en el proceso de selección y clasificación de la planta modelo alcanza una eficiencia global de 63,25% con la alternativa 1, mientras que con la alternativa 2 este aumento es de 64,07%.
- La producción de la unidad de Selección de valorizables alcanza un aumento de 42,11% para la alternativa 1 y un aumento del 46,55% para la alternativa 2.
- En términos económicos con la implementación de estas alternativas el resultado de explotación se incrementaría en 244.735,79 €/año con la alternativa 1, mientras que con la alternativa 2 el incremento es de 275.985,57 €/año.
- Se necesitaría una inversión por el coste de los equipos de 3.038.100 € para la alternativa 1 y 3.591.600 € para la alternativa 2, siendo el periodo de retorno de la inversión

12,4 años y 13 años respectivamente, concluyendo que no son económicamente viables en la actualidad.

- Estas alternativas darían mejores resultados económicos colocándolas en la unidad del proceso de control de calidad ya que aumentarían la pureza del producto terminado, pero no son capaces de aumentar la eficiencia global de la planta.
- Es interesante tener en cuenta la implementación de estos equipos, cuando por cuestiones de convenios, restricciones o de objetivos marcados por la Unión Europea en cuanto al reciclaje o de Economía Circular la pureza de los productos terminados por estas empresas deba aumentar, ya que estos son capaces de producir las balas de envases con un 96% con la alternativa 1 y un 99% para la alternativa 2.

REFERENCIAS

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2020). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Boletín Oficial Del Estado*. Recurso electrónico en línea disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-4292

AGQ Labs, Ecoparque de Navalmoral de la Mata. (s. f.). *Estudio de la composición de la fracción de envases ligeros en el ecoparque de navalmoral de la mata gestionado por Gespesa s.a.u.* AGQ. Recurso electrónico en línea recuperado el 18 de mayo de 2021, disponible en: <https://bittylink.com/7dl>

AGQ Labs, Ecoparque Mirabel. (s. f.). *Estudio de la composición de la fracción de envases ligeros en el ecoparque de mirabel gestionado por gespesa s.a.u.* Recurso electrónico en línea recuperado el 18 de mayo de 2021, disponible en: <https://bittylink.com/v0x>

AMP Cortex. (s. f.). *AMP Robotics*. Recurso electrónico en línea recuperado el 25 de junio de 2021, disponible en: <https://www.amprobotics.com/amp-cortex>

Artesplasticas. (2018). *El plástico PET ¿Para que se usa?*. Recurso electrónico en línea recuperado el 10 Febrero de 2021, disponible en: <https://bittylink.com/lub>

Bulk Handling Systems. (2017). *BHS y NRT presentan la tecnología MaxAI*. Recurso electrónico en línea recuperado el 25 de Abril de 2021, disponible en: <https://www.max-ai.com/autonomous-qc/>

Bulk Handling Systems. (2019). *Yo soy Max*. Recurso electrónico en línea recuperado el 25 de Abril de 2021, disponible en: <https://www.max-ai.com/>

Bulk Handling Systems. (2020). *Tecnología MaxAI*. Recurso electrónico en línea recuperado el 25 de Abril de 2021, disponible en: <https://www.max-ai.com/technology/>

Bolligraaf (s. f.). *RoBB - AQC*. Recurso electrónico en línea recuperado el 25 de Abril de 2021 disponible en:

<https://www.bollegraaf.com/technologies/robotic-sorting>

Brandan Campanera, Luciana. (2020). *Análisis de la situación actual del tratamiento de envases plásticos en la ciudad de Sevilla y propuesta de mejoras al sistema actual*. Disponible en:

<https://bittylink.com/3o5>

Cai, K. (17 de Noviembre de 2020). *Rise Of The Recycling Robots*. Forbes. Recurso electrónico en línea, disponible en:

<https://bittylink.com/053>

Del Val, Alfonso. (2011). *El problema de los residuos en la sociedad del bienestar*. Recurso electrónico en línea, disponible en:

<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n50/aaval.html>

Ecoembes. (2016). *Envases de plástico: Diseña para reciclar*. Recurso electrónico en línea, disponible en:

<https://bittylink.com/xis>

Ecoembes. (2018). *Información a las Comunidades Autónomas del año 2018*. Recurso electrónico en línea, disponible en:

<https://bittylink.com/gcn>

Ecoembes. (2019). *Hacia la Revolución Circular Resumen Somos circular*. Recurso electrónico en línea, disponible en:

https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_estudios_idi/plantas-de-seleccion-de-envases-ligeros.pdf

Ecoembes (s. f.). *Plantas de Selección de Envases*. Recurso electrónico en línea recuperado el 10 de Marzo de 2021 disponible en:

<https://bittylink.com/5g9>

España. (1997). *Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. Boletín Oficial Del Estado*.

<https://www.boe.es/boe/dias/1997/04/25/pdfs/A13270-13277.pdf>

España. (2011). *Ley Orgánica 22/2011, de 28 de julio, Residuos y suelos contaminados. Boletín Oficial Del Estado.*

<https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-13046-consolidado.pdf>

Federación Andaluza de Municipios y Provincias (FAMP). (2015). *Convenio Marco de colaboración entre la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, la Federación Andaluza de Municipios y Provincias y Ecoembalajes España S.A. para establecer las condiciones generales a aplicar en los gobiernos locales de Andalucía que participen en el Sistema Colectivo de Gestión de Residuos de Envases usados Autorizados en la Comunidad Autónoma de Andalucía.* Recurso electrónico en línea disponible en:

http://documentos.famp.es/documentacion/convenios/2015_03_17_Convenio_Marco_CMAOT-FAMP-ECOEMBES.pdf

Issn, L. A. (2015). *Caracterización De Los Residuos Sólidos Ordinarios Presentes En El Área De Interés Paisajístico Alonso Vera (Girardot, Cundinamarca) Y Sus Posibles Implicaciones Ambientales. Luna Azul, 40,* Recurso electrónico en línea disponible en: <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.14>

José, A., & Soto, L. (2014). *Tratamiento y eliminación de residuos sólidos urbanos.* Recurso electrónico en línea disponible en:

https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/39869/01_MEMORIA.pdf?sequence=1

Junta de Extremadura. (2016). *Composición media de la fracción de residuos de envases ligeros en Extremadura. Datos octubre 2015 – marzo 2016.* Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio Dirección General de Medio Ambiente. Recurso electrónico en línea disponible en:

<https://bittylink.com/dmy>

Junta de Extremadura. (2017). *Composición media de la fracción de residuos de envases ligeros en Extremadura. Datos 2017.* Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio Dirección General de Medio Ambiente. Recurso electrónico en línea disponible en:

<https://bittylink.com/b6n>

Junta de Extremadura. (2019). *Informe sobre la composición media de la fracción de residuos de envases ligeros en Extremadura en 2019.* Consejería para la Transición Ecológica y Sostenibilidad Dirección General de Sostenibilidad. Recurso electrónico en línea disponible en:

<https://bittylink.com/x9c>

Legazpi, (2020). *Explotación de la planta de selección de envases ligeros en el término municipal de legazpi*. Recurso electrónico en línea disponible en:

<https://bittylink.com/69°>

LIPASAM. (2021). *Cuida de Sevilla, separa los residuos en tu hogar*. 1–3. Recurso electrónico en línea disponible en:

<https://bittylink.com/0od>

MACHINEX (s. f.). *SAMURAI - Experience Results*. Recurso electrónico en línea recuperado el 22 de Abril de 2021, disponible en:

https://www.machinexrecycling.com/wp-content/uploads/2021/03/SPEC_Samurai_EN.pdf

MACHINEX. *SAMURAI - Recycling Sorting Robots*. Recurso electrónico en línea recuperado el 22 de Abril de 2021, disponible en:

<https://www.machinexrecycling.com/products/samurai-sorting-robot/>

MITECO. (2018). *MEMORIA ANUAL DE GENERACIÓN Y GESTIÓN DE RESIDUOS RESIDUOS DE COMPETENCIA MUNICIPAL*. Recurso electrónico en línea disponible en:

<https://bittylink.com/i2b>

Plastics Europe. (2021). *Contribución del plástico a la Economía Circular*. Recurso electrónico en línea disponible en:

<https://bittylink.com/mes>

PICVISA (s. f.). *ECOPICK*. Recurso electrónico en línea recuperado el 19 de Abril de 2021 disponible en:

<https://picvisa.com/ecopick-robot-inteligencia-artificial-clasificacion-materiales-residuos/>

PICVISA (s. f.). *ECOPICK, Diptico*. Recurso electrónico en línea recuperado el 21 de Abril de 2021 disponible en

<https://bittylink.com/7zf>

Regulator Cetrisa. (2021). *Separacion de metales por Corrientes de Foucault con Tambor Inductor Excentrico (R-SPM/E)*. Recurso electrónico en línea disponible en:

<http://www.regulator-cetrisa.com/separador-por-corrientes-de-foucault-excentrico-r-spm-e/>

REPSOL. (2021). *Numerosas para todos los segmentos*. Recurso electrónico en línea disponible en:

<https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/polietileno/index.cshtml>

Robson, Neil. (2000). Principales materiales plasticos para la manufactura de envases y embalajes. *Sena CDT-ASTIN*, 40–47. Recurso electrónico en línea disponible en:
http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/download/998/1090

Rodríguez Olivarez, Alberto. (2016). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial Diseño de un vertedero de residuos sólidos: Separador de materiales por corrientes de Foucault*. Recurso electrónico en línea disponible en:
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6626/tfg-rod-dis.pdf?sequence=1>

Salazar, J., & Silvestre, S. (2017). *Internet de las cosas (IoT) - Cisco*. Recurso electrónico en línea disponible en:
<https://core.ac.uk/download/pdf/81581111.pdf>

Sarc, R., Curtis, A., Kandlbauer, L., Khodier, K., Lorber, K. E., & Pomberger, R. (2019). *Digitalisation and intelligent robotics in value chain of circular economy oriented waste management – A review*. *Waste Management*, Recurso electrónico en línea disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.035>

Suárez, L. Y., & Torres, D. S. (2018). *Desarrollo de un prototipo funcional de clasificación y separación automática de residuos tecnológicos implementado con el Internet de las Cosas (IoT)*. Recurso electrónico en línea disponible en:
<https://bittylink.com/8k1>

ZenRobotics (s. f.). *Fast Picker*. Recurso electrónico en línea recuperado el 22 de Abril de 2021 disponible en:
<https://zenrobotics.com/solutions/fast-picker/>

ZenRobotics (s. f.). *Technical Data*. Recurso electrónico en línea recuperado el 22 de Abril de 2021 disponible en:
https://zenrobotics.com/wp-content/uploads/2019/05/zenrobotics_fact_sheet_fast_picker_2019.pdf