

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA LA
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA
PLANTA DE CLASIFICACIÓN DE ENVASES A
PARTIR DEL RECHAZO GENERADO EN LA
MISMA.**

- **AUTORA: BELÉN MARTÍNEZ LAOSA**
- **TUTORA: MARIA TERESA MONTAÑÉS SANJUAN**
- **COTUTORA: RITA SÁNCHEZ TOVAR**

CURSO ACADÉMICO 2016/2017

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

RESUMEN

El objetivo principal es dar una solución alternativa al rechazo generado en una planta de clasificación de envases ligeros (residuos del contenedor amarillo), los cuales actualmente se llevan a vertedero controlado en la mayoría de los casos.

El diseño se realizará para una planta real de la Comunidad Valenciana. Específicamente, la empresa donde se va a realizar el estudio y la implantación de la medida energética es la planta de clasificación de envases situada en Alzira (Valencia).

En primer lugar se planteará el balance de materia de la planta para determinar la cantidad y composición del rechazo. Con estos datos se podrá estimar su poder calorífico y calcular la energía que podría obtenerse.

Además, también se determinará la fórmula empírica que represente al rechazo para plantear la reacción de combustión correspondiente y así obtener la cantidad y composición de los gases de combustión.

Con toda esta información se diseñará la instalación para la producción de energía eléctrica destinada a autoconsumo de la planta, así como los sistemas de depuración de los gases de combustión necesarios para cumplir con la legislación.

Además de realizar los cálculos pertinentes, se elaborarán los planos de la instalación y el presupuesto.

Palabras clave: cogeneración, envases

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

ABSTRACT

The main objective is to provide an alternative solution to the rejection generated in a classification plant of light containers (yellow container waste), which are currently taken to controlled landfill in most cases.

The design will be made for a real plant in the Valencian Community. Specifically the company where the study is going to be carried out, and the implementation of the energy measure, is the light packaging treatment plant located in Alzira (Valencia).

Firstly, the material balance of the plant will be considered to determine the amount and composition of the rejection. With this data you can estimate its calorific value and calculate the energy that could be obtained.

In addition, it will also determine the empirical equation that represents the rejection to raise the corresponding combustion reaction and thus obtain the quantity and composition of the flue gases.

With all this information it will be designed for the production of electric energy destined to self-consumption of the plant, as well as the systems of purification of the flue gases necessary to comply with the legislation.

In addition to making the relevant calculations, the plans of the installation and the budget will be drawn up.

Keywords: cogeneration, package

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

RESUM

L'objectiu principal és donar una solució alternativa al rebuig generat en una planta de classificació d'envasos lleugers (residus del contenidor groc), els quals actualment es duen a abocador controlat en la majoria dels casos.

El disseny es realitzarà per a una planta real de la Comunitat Valenciana. Específicament, l'empresa on es realitzarà l'estudi i la implantació de la mesura energètica, és la planta de tractament d'envasos lleugers situada a Alzira (València).

En primer lloc es plantejarà el balanç de matèria de la planta per determinar la quantitat i composició del rebuig. Amb aquestes dades es pot estimar el seu poder calorífic i calcular l'energia que podria obtenir-se.

A més, també es determinarà la fórmula empírica que representi al rebuig per plantejar la reacció de combustió corresponent i així obtenir la quantitat i composició dels gasos de combustió.

Amb tota aquesta informació es dissenyarà la instal·lació per a la producció d'energia elèctrica destinada a autoconsum de la planta, així com els sistemes de depuració dels gasos de combustió necessaris per complir amb la legislació.

A més de realitzar els càlculs pertinents, s'elaboraran els plànols de la instal·lació i el pressupost.

Paraules clau: cogeneració, envasos.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Documentos contenidos en el TFG

- Documento I: Memoria
- Documento II: Presupuesto
- Documento III: Apéndice

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. Objeto y justificación.....	10
2. Introducción.....	11
2.1 Antecedentes.....	11
2.2 Economía circular	12
2.3 Los residuos y su gestión	14
2.4 La gestión de residuos de envases	15
3. Legislación	20
3.1 Acuerdos mundiales	20
3.2 Legislación europea.....	21
3.3 Legislación española	22
3.4 Legislación autonómica.....	24
4. Aspectos generales de una planta de clasificación de envases.....	25
4.1 Descripción básica del proceso	25
4.2 Control de la producción.....	29
4.3 Estándares de las plantas de selección	29
4.4 Equipos utilizados	30
4.5 Principales materiales recuperados.....	32
5. Localización del estudio.....	34
5.1 Características generales de la planta.....	34
5.2 Áreas de la planta	35
5.3 Diagrama de flujo	38
5.4 Rendimientos de los procesos de separación.....	39
5.5 Composición de los residuos de entrada.....	43
5.6 Cálculo de la cantidad y composición del rechazo	44
5.6.1 Balances de materia.....	44
5.6.2 Tasas de recuperación de los materiales.....	47
5.6.3 Composición del rechazo.....	47
5.7 Conclusiones	49
6. Alternativas frente a la eliminación del rechazo en vertedero	49
7. El proceso de cogeneración	50
7.1 Introducción.....	50
7.2 Funcionamiento y regulación.....	52
7.3 Parámetros característicos	53
7.4 Sistemas de cogeneración.....	54
8. Estudio de la implantación del sistema de cogeneración.....	56
8.1 Parámetros físicos.....	57
8.1.1 Poder Calorífico Inferior (PCI)	57
8.1.2 Humedad	58
8.1.3 Densidad	59
8.1.4 Granulometría de los residuos.....	59
8.2 Emisiones en el sistema de cogeneración	59
8.2.1 Legislación	60
8.2.2 Cálculo de las emisiones de gases.....	60
8.2.3 Cálculo de las emisiones de CO ₂	65
8.2.4 Cálculo de las emisiones de partículas	69

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

8.3 Análisis del sistema de producción de energía en la planta de clasificación de envases.....	70
8.3.1 Ubicación.....	70
8.3.2 Descripción de la instalación y maquinaria.....	71
8.3.3 Control y regulación.....	73
8.3.4 Producción de electricidad.....	74
8.4 Estudio comparativo con la instalación de un ciclo combinado.....	75
8.4.1 Descripción de la instalación y maquinaria.....	75
8.4.2 Producción de energía eléctrica en el ciclo combinado.....	77
8.4.3 Aprovechamiento de la energía térmica contenida en los gases a la salida de la caldera de recuperación.....	79
9. Conclusiones.....	80
10. Referencias bibliográficas.....	82

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO DE LA IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO.....	88
1.1 Costes de ingeniería.....	88
1.2 Costes de maquinaria y terreno.....	89
1.3 Costes de formación de empleados.....	90
1.4 Presupuesto de implantación total.....	91
2. Presupuesto total.....	91
3. Ahorro anual y periodo de amortización.....	92
4. Referencias.....	94

ÍNDICE DEL APÉNDICE

1. Información adicional de la ubicación de la planta.....	97
2. Esquema de la disposición de los elementos de los sistemas propuestos..	99
2.1 Turbina de gas.....	99
2.2 Ciclo combinado.....	100

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

DOCUMENTO I

MEMORIA

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

1. Objeto y justificación

Actualmente vivimos en una sociedad basada en el consumo de bienes y servicios tratado como una necesidad cotidiana. La denominada tendencia “usar y tirar” es hoy en día uno de los mayores problemas que sostienen las sociedades actuales, en particular, las más avanzadas e industrializadas.

La producción de los diferentes bienes ha aumentado progresivamente desde la época de la revolución industrial gracias a la mejora de la maquinaria y al aumento en la eficiencia de los procesos productivos con el auge de nuevas tecnologías y materiales. No obstante, el factor que más ha influenciado en este continuo incremento ha sido la mayor demanda de bienes que hay en cualquier sociedad actual perteneciente a un país desarrollado.

Esta mayor demanda, ya no solo de los elementos básicos para la subsistencia sino también de deseos ajenos a las propias necesidades, comenzó en el siglo XIX desarrollada por las clases más altas de la sociedad europea y estadounidense. No fue hasta mediados del siglo XX cuando el consumo masivo se extendió al resto de las clases sociales [1].

Pese a que dicha forma de vida ha supuesto una comodidad de la que no pudieron gozar nuestros ancestros, también cabe destacar lo que supone este modelo de sociedad: la producción va directamente ligada, como inconvenientes fundamentales, a la generación de residuos y emisión de gases de efecto invernadero que se pueden considerar de una gravedad considerable a la humanidad.

Dichos problemas han llegado a cifras desmesuradas para un desarrollo sostenible del planeta; por ello, se deben crear métodos para disminuir tanto la cantidad de residuos generados como la emisión de gases perjudiciales.

Con este fin, este trabajo final de grado aborda la problemática del rechazo generado en una planta de clasificación de envases y proporciona una solución práctica y eficiente para reducir la cantidad del mismo destinada actualmente a vertedero. De esta manera, se pretende contribuir al objetivo de estabilidad ecológica proponiendo un equilibrio adecuado entre consumo de bienes y producción de residuos que permita obtener los mismos beneficios sin ocasionar daños irremediables para el planeta.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

2. Introducción

2.1 Antecedentes

Desde los inicios de la especie humana, ésta ha utilizado los recursos naturales disponibles para satisfacer sus propias necesidades.

Hasta el periodo del neolítico, la principal actividad humana era la de cazador-recolector; por ello, la influencia negativa de la misma sobre la naturaleza era mínima [2].

Con posterioridad a la época anteriormente mencionada, se desarrolló la agricultura mediante la explotación de tierras de cultivo, lo cual conllevó un continuo crecimiento demográfico, ya que los propios seres humanos eran capaces de obtener su alimento de una forma fácil y segura sin grandes desplazamientos.

Los residuos generados durante esa época formaban parte de un ciclo natural que los ecosistemas eran capaces de absorber y regenerar sin ningún tipo de problema, ya que las cantidades de los mismos no eran comparables a las generadas actualmente, siendo éstas un porcentaje muy pequeño de las generadas hoy en día.

Los residuos iban aumentando progresivamente como consecuencia de un masivo crecimiento demográfico y una concentración cada vez mayor de la población en los núcleos urbanos. De esta manera, surgieron las primeras epidemias y enfermedades causadas por los residuos que se encontraban vertidos al aire libre, lo que dio lugar a una primera toma de contacto con la concienciación de la necesidad de una correcta gestión de los mismos.

Además, con la aparición de las nuevas maquinarias durante la revolución industrial la cuantía de basura llegó a unos niveles muy superiores a los que se había alcanzado anteriormente; por ello, fue durante este periodo (finales del siglo XVIII) cuando la población se alertó de la necesidad de adoptar unas medidas para solucionar dicha cuestión.

No obstante, no fue hasta principios del siglo XX en los Estados Unidos cuando se comenzó a plantear un vertido controlado con metodologías como modulaciones de vertederos según cantidad de población.

Actualmente, y en mayor medida desde el segundo tercio del siglo XX, se ha desarrollado una conciencia medioambiental ligada a la criticidad a la cual se ha llegado debido a las cantidades de residuos generadas y la insostenibilidad del planeta en un futuro si continua dicha tasa de producción de desechos.

La Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) es una de las propuestas llevadas a cabo en los años 90 que establece medidas como la utilización de tecnologías de tratamiento y disposición final limpias, y la importancia de la reutilización y el reciclaje.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

2.2 Economía circular

*“La **economía circular** (en inglés Circular economy, CE) es una estrategia que tiene por objetivo reducir tanto la entrada de los materiales como la producción de desechos vírgenes, cerrando los «bucles» o flujos económicos y ecológicos de los recursos. El análisis de los flujos físicos de recursos proviene de la escuela de pensamiento de la ecología industrial en la cual los flujos materiales son de dos tipos: nutrientes biológicos, diseñados para reintroducirse en la biosfera sin incidentes, y nutrientes técnicos, los cuales están diseñados para circular con alta calidad en el sistema de producción pero no vuelven a la biosfera.*

El término abarca más que la producción y consumo de bienes y servicios, incluyendo un cambio de combustibles fósiles al uso de energía renovable, y la función de diversidad como característica de resiliencia y sistemas productivos. Incluye la discusión de la función de dinero y las finanzas como parte del debate, y algunos de sus pioneros han pedido renovar las herramientas de medida de rendimiento económicas.”[3].

El término de economía circular comenzó a mencionarse en la literatura occidental como concepto para establecer una relación entre economía y medio ambiente. El término engloba tanto el proceso de diseño como la fase de producción del producto, ambos relacionados directamente con la generación de residuos.

Su aparición se vio ligada a los problemas ocasionados por el modelo de economía actual, un modelo que sigue una tendencia lineal, en la que los productos son utilizados y eliminados a un ritmo incontrolable, generando así el incesante agotamiento de recursos naturales y una producción desmesurada de residuos.

Actualmente, es una metodología que tiene como objetivos fundamentales, por un lado, la reducción en la generación de residuos (objetivo medio ambiental) y, por otro, que los diferentes recursos disponibles (agua, energía solar, viento...), así como los materiales utilizados y los productos fabricados, mantengan su utilidad y coste el mayor tiempo posible. Por esto, se entiende la economía circular como un conjunto de iniciativas y aspectos que consiguen una intersección entre economía y medio ambiente, logrando un equilibrio capaz de amortiguar el problema actual referente a las toneladas de residuos generadas y la contaminación producida.

La implantación de la misma es, por ello, un arma esencial en la lucha contra el cambio climático y la evolución de las sociedades actuales para convertirse en sociedades más “limpias”.

Algunos de los aspectos que fundamentan la economía circular son:

- El aprovechamiento energético de los residuos
- El reciclaje
- La reutilización
- La gestión óptima de los stocks y flujos de materiales
- La concienciación sobre los impactos que suponen los materiales empleados y las posibles soluciones para la reducción de los mismos.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

En la figura 1 se pueden observar las diferentes etapas que forman el esquema fundamental de la economía circular.

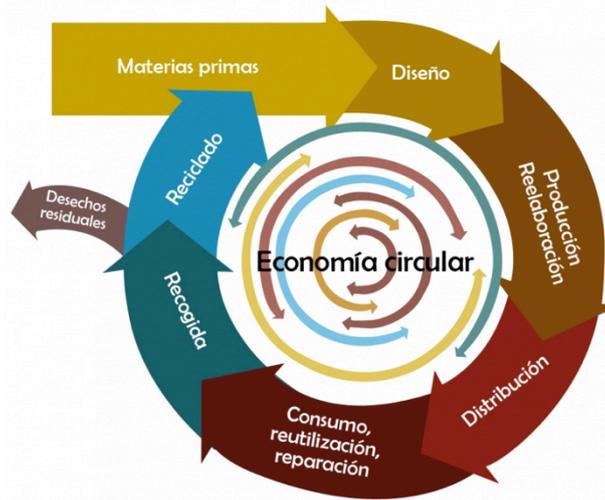


Figura 1. Diagrama economía circular.

Fuente: "Biomasa y economía circular en España"[4]

Además, la economía circular aboga por la utilización de energías renovables como fuente sustituta de los combustibles fósiles atendiendo no solo al criterio medioambiental sino a los beneficios económicos que se alcanzarían.

Por otro lado, la Comisión Europea, órgano ejecutivo y legislativo de la Unión Europea, ha establecido como primordial para la modelación de la estructura económica "Europa 2020" la gestión eficiente de los residuos [5].

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

2.3 Los residuos y su gestión

La Ley 22/2011, de Residuos establece que "un residuo es cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar" [6].

Los residuos se pueden clasificar según diferentes aspectos, tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los residuos

Fuente: Ley 22/2011 [6]

Estado físico	Procedencia	Peligrosidad	Marco legal
<ul style="list-style-type: none">• Sólidos• Líquidos• Gaseosos	<ul style="list-style-type: none">• Industriales• Agrícolas• Sanitarios• Residuos urbanos	<ul style="list-style-type: none">• Inertes• No peligrosos• Peligrosos	<ul style="list-style-type: none">• Residuos urbanos o asimilables a urbanos• Residuos peligrosos

La vida cotidiana es una fuente de generación de residuos constante; por ello, ha surgido la denominada "Gestión Integral de Residuos" (GIR), un término que hace referencia a la utilización de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos para fines específicos.

Recientemente se ha abordado este proceso como una forma de poder aprovechar los residuos para usos ajenos a su principal aplicación, dejando atrás la idea de que la única solución para disminuir este problema era la mínima generación de los mismos, en lugar de una posible utilización posterior.

Algunos de los procesos que abarca la gestión integral de residuos son la generación, separación, tratamiento, recolección, transferencia, transporte, reciclaje y uso final.

En la figura 2 se puede observar la jerarquía en la gestión de los residuos donde la prevención es la actividad prioritaria, seguida de la minimización, reutilización, reciclaje, recuperación energética y, por último, la disposición en vertedero.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

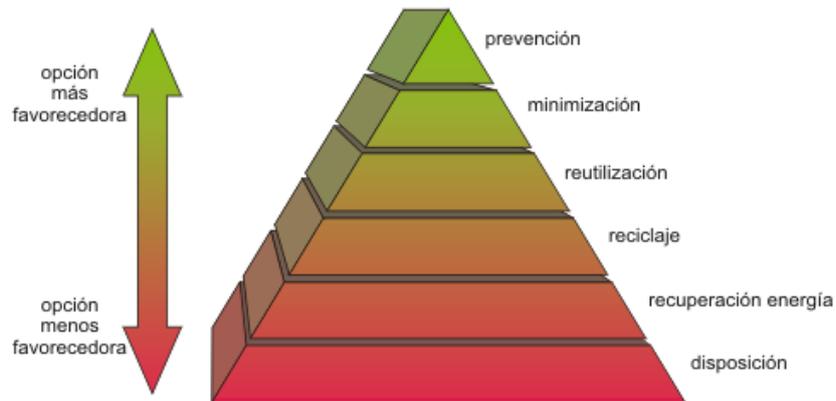


Figura 2. La jerarquía en la gestión de los residuos

Fuente:Recytrans [7]

La gestión de residuos es una de las herramientas básicas que utiliza la economía circular para lograr su fin principal, ya que una gestión óptima de los recursos da lugar a un sistema eficiente en el cual la mayor parte de los residuos pueden ser reciclados y no acabar en un vertedero, lo que conlleva una disminución en la contaminación.

En el año 2015, sólo se reciclaba un 40% de los residuos que se generaban en las viviendas de la Unión Europea, observándose desigualdades por regiones, desde un 80% de reciclaje en algunas zonas hasta sólo un 5% en otras.

Por otro lado, se recalca el hecho de que hay que reducir al máximo el depósito en vertederos de los residuos y una de las formas de conseguirlo es la recuperación de su contenido energético, es decir, “la transformación de residuos en energía”.

2.4 La gestión de residuos de envases

Según la normativa (Ley 11/1997, de envases y residuos de envases), los responsables de los productos envasados tienen dos métodos para gestionar los residuos de envases:

a) Sistema Integrado de Gestión (SIG):

Este es el sistema que han adoptado la gran mayoría de países.

Los envasadores pagan una determinada cuantía por los envases producidos para que se garantice su recogida selectiva y el cumplimiento de los objetivos de reciclado fijados. [8].

Algunos de los SIG que se pueden encontrar en España son los siguientes:

- AMBILAMP: Asociación privada que tiene como objetivo la creación de un sistema integrado de gestión de residuos de lámparas.
- ECOPILAS: Asociación de ámbito nacional cuya función es la recogida de pilas y baterías portátiles con la posterior correcta gestión de las mismas.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

- ECOFIMÁTICA: Asociación encargada de recoger las impresoras, faxes y copiatoras ya usadas para su gestión y reciclado.
- ECOEMBES: Entidad encargada de la recogida selectiva de los envases para realizar un tratamiento con los mismos que permita su reciclado y posterior valorización.

En la figura 3 se muestra el proceso del sistema Integrado de Gestión referente a Ecoembes.

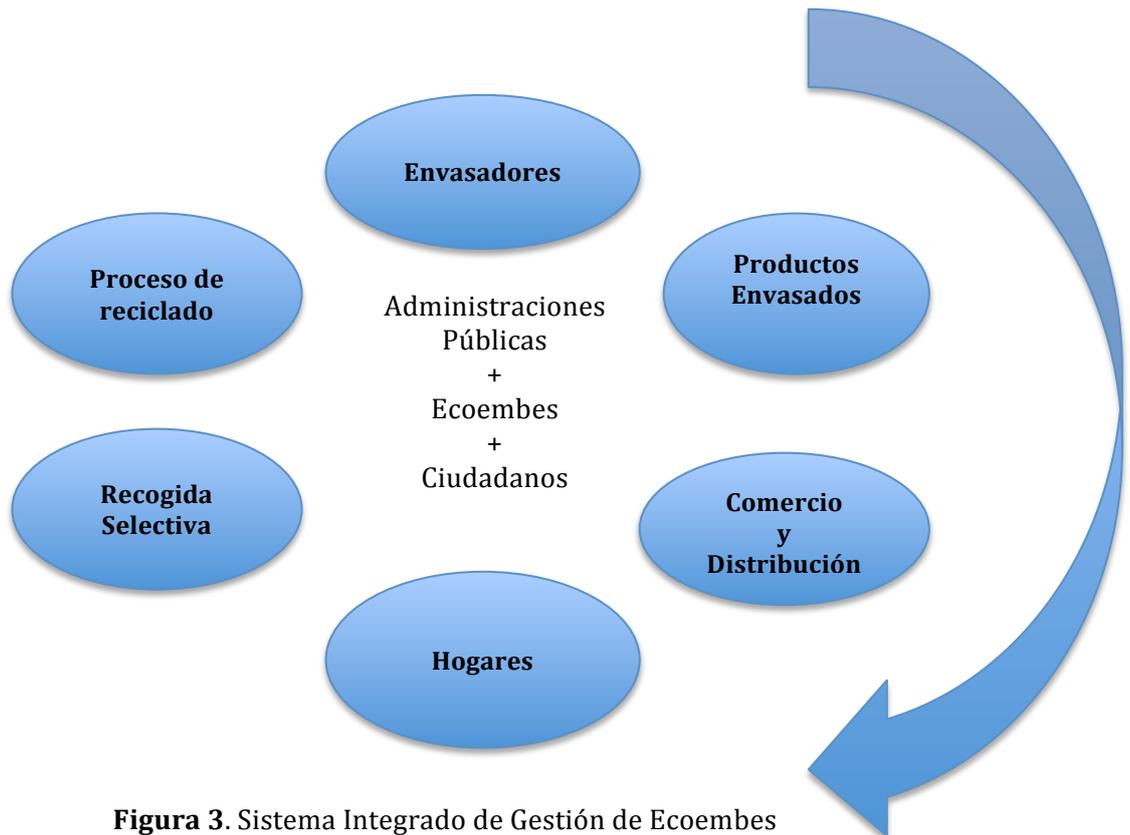


Figura 3. Sistema Integrado de Gestión de Ecoembes

b) Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR):

Se trata de una alternativa complementaria a los SIG también tratada como un sistema de gestión de residuos en el que los consumidores devuelven los envases una vez usados y se les entrega un reembolso económico. De esta manera no se crean residuos, sino que los propios productos ya utilizados se convierten en una materia prima para la posterior creación de otros diferentes (véase figura 4). [9]

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

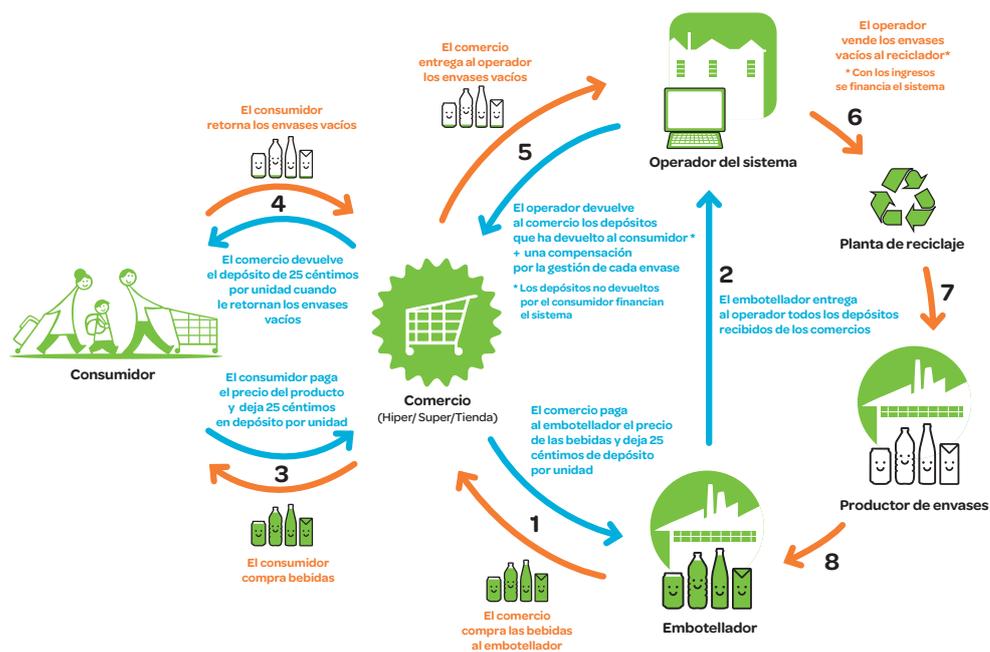


Figura 4. Sistema de Depósito, Devolución y Retorno
Fuente: “El sistema de retorno de envases” [10]

En España, el método más utilizado para gestionar los residuos de envases es el SIG. Por ello, las plantas de clasificación de envases juegan un papel muy importante para lograr el reciclaje de los mismos.

En la tabla 2 se muestran los datos de recogida selectiva de envases en España en el año 2014.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Tabla 2. Recogida selectiva de envases por Comunidad Autónoma en el año 2014

Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente [11]

CCAA	Papel/ Cartón (t)	Envases Mezclados (t)	Envases de vidrio (t)	TOTAL
Andalucía	95.866	76.354	82.208	254.428
Aragón	22.514	14.560	16.263	53.337
Asturias	49.754	9.984	32.687	92.425
Islas Baleares	39.564	14.643	31.616	85.823
Canarias	30.659	16.225	31.075	77.959
Castilla-la Mancha	26.218	17.502	20.690	64.410
Castilla y León	43.432	20.882	40.857	105.171
Cataluña	271.427	120.590	154.751	546.768
Extremadura	39.097	10.604	7.156	56.857
Galicia	31.674	22.255	39.045	92.974
La Rioja	7.409	4.659	6.737	18.805
Madrid	89.463	122.723	77.215	289.401
Murcia	12.864	12.795	21.954	47.613
Navarra	22.981	20.298	16.697	59.976
País Vasco	122.104	36.020	55.813	213.937
C.Valenciana	57.928	40.546	78.604	177.078
Ceuta	2.321	0	164	2.485
Melilla	1.743	0	339	2.082
Cantabria	9.878	5.097	10.148	25.123
Total	976.896	565.737	724.019	2.266.652

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

En cuanto a la Comunidad Valenciana, en la tabla 3 se muestran los datos sobre el reciclaje de envases en el año 2016.

Tabla 3. Reciclaje de envases en la C.Valenciana en el año 2016.

Fuente: Ecoembes "Barómetro de reciclaje de envases" [12]

Población con acceso a recogida selectiva	4.980.689 ciudadanos
Plantas de selección de envases ligeros	4 plantas de selección
Toneladas recicladas	154.785
Plástico	58.241
Metales (acero y aluminio)	31.961
Papel y cartón (incluye brik)	64.581
Madera	0

Además, en la tabla 4 se presentan datos sobre la recogida selectiva de envases relativos al contenedor amarillo en la Comunidad Valenciana en el año 2016.

Tabla 4. Datos de recogida selectiva de envases en la C.Valenciana en el año 2016.

Fuente: Ecoembes "Barómetro de recogida selectiva" [12]

Contenedor amarillo	
Población con acceso a recogida selectiva(%)	99,7
Contenedores	18.760
Cantidad de envases ligeros recogidos (envases de plástico, envases de metal y brick)	8,8 kg/hab/año
% impropios (residuos depositados erróneamente en el contenedor amarillo)	23,6

En la Comunidad Valenciana hay un total de cuatro plantas de clasificación de envases, las cuales están ubicadas en Elche (Alicante), Castellón de la Plana, Picassent (Valencia) y Alzira (Valencia).

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

En la tabla 5 se muestran datos de interés relativos a estas plantas

Tabla 5. Plantas de clasificación de envases de la Comunidad Valenciana (año 2014)
Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente [11]

Planta	Toneladas tratadas de entrada (t/año)	Toneladas rechazadas (t/año)	Porcentaje de rechazo (%)
Elche	3.546	1.162	33
Castellón de la Plana	5.261	1.066	20
Picassent	21.586	5.441	25
Alzira	10.153	2.605	26
TOTAL	40.546	10.274	25

La planta que trata una mayor cantidad de envases es la de Picassent), seguida de la planta de clasificación de envases de Alzira, la planta de clasificación de envases de Castellón y, en último lugar, la de Elche.

Como puede verse en la tabla 5, el rechazo de las plantas de clasificación de envases representa un 25%. Se trata de un valor relativamente elevado que actualmente va destinado a vertedero.

De acuerdo con la jerarquía de residuos comentada anteriormente y con el concepto de economía circular, se debería intentar aprovechar este rechazo de algún modo, en lugar de llevarlo a vertedero.

En este Trabajo Final de Grado se plantea una opción alternativa para dicho rechazo.

3 Legislación

3.1 Acuerdos mundiales

En el ámbito internacional, el 25 de Septiembre de 2015 se pusieron en marcha los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales [13].

Éstos tienen el objetivo de conseguir una cooperación entre los diversos agentes internacionales para llevar a cabo medidas con el fin de reducir la pobreza y la desigualdad y lograr una mejor sostenibilidad, además de incidir favorablemente en el problema del cambio climático.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

El acuerdo fue adoptado por 193 líderes mundiales con propósito de alcanzar unas metas específicas en los próximos 15 años en los ámbitos anteriormente mencionados.

Se plantean un total de 17 objetivos, entre los que se pueden destacar los siguientes por estar relacionados con el ámbito energético y la sostenibilidad:

- Acción por el clima: adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
- Producción y consumo responsable: garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
- Ciudades y comunidades sostenibles: lograr que las ciudades y asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
- Energía asequible y no contaminante: garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

3.2 Legislación europea

En el ámbito europeo, ya desde 1993, con la entrada en vigor del Tratado de la Unión Europea, comenzó a tenerse conciencia sobre la necesidad de establecer unas medidas con objetivos claros como la conservación, protección y mejora de la calidad del medio ambiente, así como la utilización racional de los recursos naturales o el fomento de medidas a escala internacional destinadas a hacer frente a los problemas regionales o mundiales en cuanto al medio ambiente, entre otros.

El órgano encargado de establecer unos objetivos concisos para alcanzar metas medioambientales es la Comisión Europea (CE).

En 2008, se aprobó la Directiva Europea sobre los residuos (Directiva 2008/98/CE) cuyo objetivo era: *“Establecer medidas destinadas a proteger el medio ambiente como la prevención o reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos, la reducción de los impactos globales del uso de los recursos y la mejora de la eficacia de dicho uso”*. Además, esta directiva establece nuevos objetivos de reciclado y reutilización para el año 2020, objetivos difíciles de cumplir para algunos miembros de la UE: *“Antes del 2020, deberá aumentarse como mínimo hasta un 50% global de su peso la preparación para la reutilización y el reciclado de residuos de materiales tales como, al menos, el papel, los metales, el plástico y el vidrio de los residuos domésticos y posiblemente de otros orígenes en la medida en que estos flujos de residuos sean similares a los residuos domésticos”*[14].

Por otro lado, en el año 2015, la CE desarrolló un plan de acción de la UE para la economía circular denominado *“Cerrar el círculo”*. Su objetivo es el establecimiento de un marco normativo para conseguir transformar la economía actual en una economía más circular: *“La transición a una economía más circular, en la cual el valor de los productos, materiales y los recursos se mantenga en la economía el mayor tiempo posible y en la que se reduzca al mínimo la generación de residuos, constituye una contribución esencial a los esfuerzos de la UE encaminados a lograr una economía sostenible, eficiente en el uso de recursos y competitiva. Una transición de ese tipo brinda la oportunidad de transformar nuestra economía y de generar nuevas ventajas competitivas y sostenibles para Europa.*

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

La economía circular impulsará la competitividad de la UE al proteger a las empresas contra la escasez de recursos y la volatilidad de los precios, y contribuir a crear nuevas oportunidades empresariales, así como maneras innovadoras y eficientes de producir y consumir”[15].

En cuanto a las medidas adoptadas sobre residuos, se incide sobre la necesidad de reducción de los depósitos en vertederos, así como de incrementar la reutilización y reciclado de los mismos.

3.3 Legislación española

En cuanto al ámbito nacional se puede destacar:

- Plan nacional integrado de residuos 2008-2015 (PNIR):
El objetivo fundamental fue la integración de una política adecuada sobre la gestión de los residuos de manera que la generación de los mismos disminuyera considerablemente mediante los siguientes principios:
 - *“Promover la correcta gestión del conjunto de los residuos, disminuir su generación e impulsar las prácticas más adecuadas para su gestión.”*
 - *“Establecer prioridades en las opciones de gestión desde la prevención, reutilización, reciclaje, valorización energética y por último eliminación.”*
 - *“Que todos los agentes implicados desde las administraciones públicas a los agentes económicos y sociales, pasando por los consumidores y usuarios asuman su cuota de responsabilidad en relación con los residuos” [16].*

Dicho plan ya no se encuentra en vigor actualmente, por ello, no se extenderá más la información sobre el contenido del mismo.

- Ley 22/2011, de 28 de Julio, de residuos y suelos contaminados
Esta ley tiene como propósitos fundamentales, por un lado, regular el régimen jurídico de los suelos contaminados y, por otro, establecer unas medidas referentes a la gestión de los residuos para favorecer la reducción de los efectos perjudiciales que ocasiona la generación de los mismos.
Se trata de una actualización de la ley 10/1998, de 21 de Abril, de residuos, ya que incorpora diversos aspectos no mencionados anteriormente:
 - Aspira a aumentar la transparencia y eficacia medioambiental y económica de las actividades de gestión de residuos.
 - Permite calificar como operación de valorización la incineración de residuos domésticos mezclados sólo cuando ésta se produce con un determinado nivel de eficiencia energética.
 - Promueve la innovación en la prevención y gestión de los residuos
 - Pretende implantar la recogida separada de diferentes materiales antes del 2015.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

- Establece que las administraciones públicas tenían que aprobar antes del 12 de diciembre de 2013 programas de prevención de residuos, en los que se establecerán los objetivos de prevención, entre otros ítems [17].
- Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020.
Este programa aboga por el cumplimiento del propósito de reducción de los residuos generados en 2020 en un 10% respecto del peso de los residuos generados en 2010, además de realizar un análisis de las medidas de prevención existentes dando conclusiones sobre la viabilidad que muestran las mismas en cuanto a una mejora en la eficiencia.
En el programa se pueden diferenciar cuatro objetivos:
 - Reducción de la cantidad de residuos.
 - Reutilización y alargamiento de la vida útil de los productos.
 - Reducción del contenido de sustancias nocivas en materiales y productos.
 - Reducción de los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente, de los residuos generados [18].

En la figura 5 se muestra el objetivo de cara al 2020 en materia de gestión de residuos en comparación con la situación actual.



Figura 5. Objetivo 2020 respecto situación actual de gestión de residuos
Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente

- Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022.
Este plan surgió como respuesta a las deficiencias encontradas en el sistema de gestión de residuos. Además, también incluye diversas medidas para conseguir una mejora en cuanto a la preservación del medio ambiente y el cumplimiento legal de España en el marco legislativo.
Todas las medidas propuestas tienen un fin común: conseguir que España se convierta en un modelo de economía basado en un sistema circular en el cual los objetos no se consuman y se tiren, sino que se reincorporen al proceso productivo.
La novedad principal respecto de los programas anteriores se basa en establecer que para garantizar el cumplimiento de los objetivos nacionales, las comunidades autónomas deberán cumplir como mínimo esos objetivos en el territorio

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

perteneciente a cada comunidad, salvo que la normativa propia de cada comunidad establezca ya unos criterios específicos.

Por último, con el PEMAR se desea conseguir beneficios en tres ámbitos distintos: ambiental, económico y social [19].

En la tabla 6 se indican los porcentajes de reciclado según el tipo de material que se prevean alcanzar en el año 2020.

Tabla 6. Objetivos de reciclado en envases a cumplir en 2020 según el PEMAR

Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente

Tipo de material	Porcentaje de reciclado (%)
Papel	85
Vidrio	75
Acero	70
Aluminio	70
Plástico	40
Madera	60

3.4 Legislación autonómica

En el año 1997 se instauró el primer Plan Integral de Residuos con diversos propósitos claros: reducción de la producción de residuos, fomento de la recogida selectiva, valorización de la mayor fracción posible de residuos y, por último, la eliminación de aquella fracción que no pueda ser valorizada de una forma controlada.

Trece años después, en 2010 se aprobó la ley 10/2000 con el objetivo de : *“establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de residuos, así como la regulación de los suelos contaminados con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente”*.

A partir de la aprobación de residuos mediante el decreto 81/2013 de 21 de Junio, del consejo, surge el Plan Integral de la Comunidad Valenciana, con objetivos como:

- *“Prevenir la generación de residuos urbanos en la Comunidad Valenciana.”*
- *“Mejorar la gestión de los residuos urbanos, por este orden, la reducción, la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de los residuos urbanos.”*
- *“Mejorar la gestión de los residuos urbanos destinados a eliminación y reducir la cantidad de residuos urbanos biodegradables destinados a vertedero.”*
- *“Mejorar el funcionamiento de los ecoparques.”*
- *“Mejorar los sistemas de información entre la consellería competente en medio ambiente, los gestores autorizados y las entidades locales.”*
- *“Concienciar a la población sobre la importancia de la recogida separada.”*
- *“Prever las necesidades futuras de instalaciones para la gestión de los residuos urbanos generados en la Comunidad Valenciana” [20].*

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

4. Aspectos generales de una planta de clasificación de envases

La función principal de este tipo de plantas es la clasificación de los diversos tipos de envases en función de su composición, ya sea de manera manual y/o mecánica, cumpliendo los requisitos de prevención, preparación para la reutilización, reciclado y eliminación.

4.1 Descripción básica del proceso

Las diferentes plantas de clasificación de envases pueden agruparse en dos tipos:

- Plantas manuales, en las cuales la separación y clasificación de materiales se realiza de forma manual, a excepción del film, el acero y el aluminio (éstos se separan mediante métodos automáticos).
- Plantas automáticas, donde la separación y clasificación de dos o más materiales se realiza mediante sistemas de separación automatizados. Tras la separación, se realiza un control de calidad.

En estas plantas las operaciones básicas que se llevan a cabo son las siguientes:

a) Recepción y almacenamiento.

Tanto a la entrada como a la salida de la instalación, los vehículos en los cuales se han depositado los residuos deben pasar por la báscula de control y peajes, mediante la cual se controla y registra la procedencia/destino de los camiones, así como la matrícula, tipología de carga y peso del material. Los residuos de entrada se depositan a continuación en el área de descarga de residuos o “playa” donde se apilan.

b) Pre-tratamientos.

La pala cargadora es la encargada de depositar los residuos en el alimentador primario.

Por un lado, son los operarios de la planta los que retirarán los objetos de gran tamaño que obstaculicen el paso de la cinta transportadora. Éstos se depositan en contenedores y se dividen en dos grupos: los que serán enviados a reciclaje y los que finalmente formarán parte del rechazo.

Por otro lado, los residuos que se transportan por la cinta transportadora pasan al final de la misma por un sistema denominado “abrebolsas”, el cual se encarga de abrir y vaciar las bolsas, compactando el caudal de residuos para que posteriormente puedan ser clasificados por medio de un trómel en tres grupos diferenciados según el tamaño:

- Elementos de gran tamaño o rechazo.
- Elementos de tamaño intermedio.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

- Elementos de tamaño fino.

Los elementos de tamaño intermedio contienen un alto porcentaje en materiales reciclables, mientras que los elementos de tamaño fino se componen fundamentalmente de orgánicos e inertes.

Por último, se puede utilizar un separador balístico, aparato encargado de separar los residuos de tamaño intermedio en función de su tamaño, densidad y forma, diferenciando de nuevo tres categorías:

- Materiales pesados: envases para líquidos, envases ligeros y cartón utilizado en bebidas y alimentos.
- Materiales ligeros: cartones, papeles, plásticos film.
- Materiales finos.

c) Selección de materiales. Se distinguen cinco procesos, para llevar a cabo la selección de materiales.

- Separación neumática.
- Separación óptica.
- Separación magnética.
- Separación por inducción.
- Separación manual.

Dependiendo de si la planta es manual o automática, los procesos automatizados estarán más o menos introducidos. Estos procesos automatizados se describen más adelante.

d) Controles de calidad, adecuación de los materiales seleccionados y gestión del rechazo. Esta operación consiste en la separación de las impurezas que poseen los materiales seleccionados mediante triaje manual. Una vez separadas las impurezas, éstas son almacenadas en contenedores para su posterior traslado a vertedero.

Los materiales finalmente seleccionados, en este caso ya sin impurezas, también son almacenados en función de su densidad y transportados hasta el sistema de prensado mediante diversos métodos (palas cargadoras o cintas transportadoras). Según el tipo de material el modelo de prensado cambiará, pero el objetivo del aumento de densidad del mismo es común en todos los tipos de materiales para disminuir los costes del transporte posterior.

En las figuras 6 y 7 se muestran los esquemas de una planta de clasificación de envases genérica, automática y manual, respectivamente.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

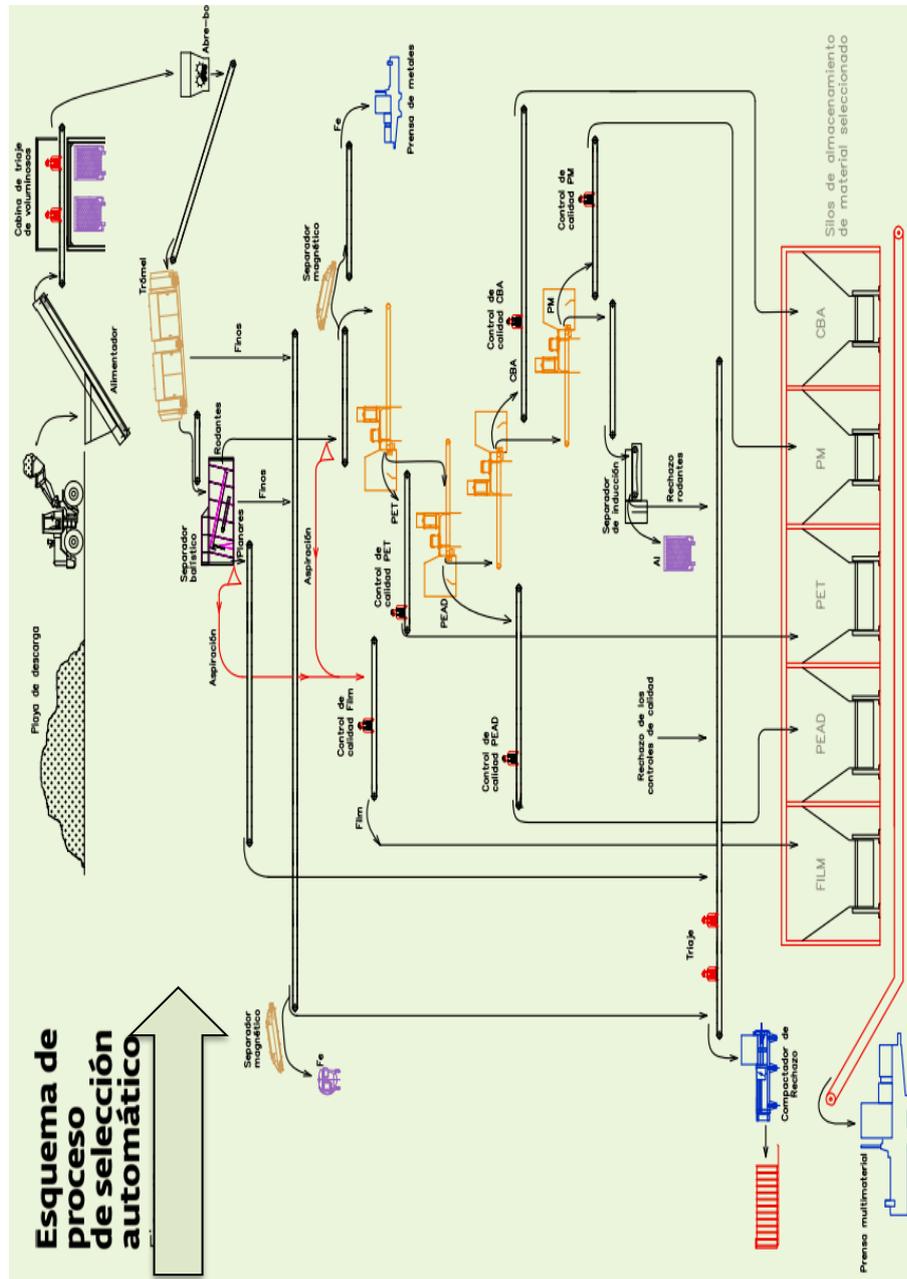


Figura 6. Esquema general de una planta de clasificación de envases automática
Fuente: Plantas de selección de envases ligeros. Ecoembes [21]

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

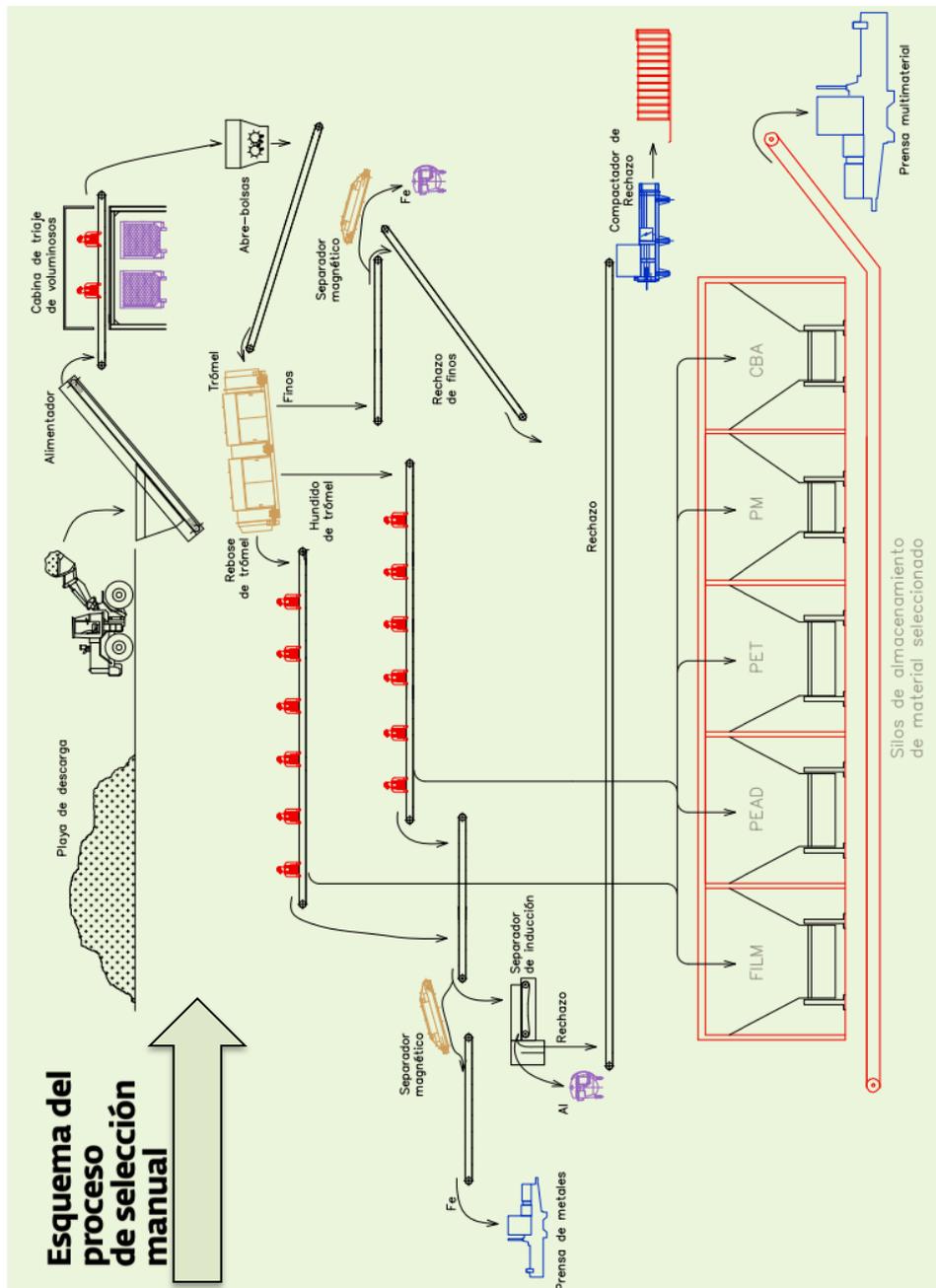


Figura 7. Esquema general de una planta de clasificación de envases manual.

Fuente: Plantas de selección de envases ligeros. Ecoembes [21]

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

4.2 Control de la producción

En una planta de clasificación de envases se pueden encontrar diversos procesos de control en función del tipo de material y la etapa. De esta manera, se diferencia entre:

- Control de la composición del rechazo: se especifican cuáles son las características que determinan el rechazo y se calcula qué materiales no son seleccionados adecuadamente.
- Control de la producción: se realiza un control mensual sobre la cantidad de materiales que entran, salen y se encuentran en stock en la planta, de esta manera, se determinan parámetros como el rendimiento o la efectividad de la planta, los cuales nos dan una visión realista sobre el correcto funcionamiento de la instalación y el cumplimiento o no de su objetivo primordial. En primer lugar, se realiza una caracterización del material de entrada que consiste en determinar la composición y análisis del mismo.
- Control del rendimiento de los operarios de triaje: se establecen unos estándares sobre la actividad media por operario y el nivel de actividad según el material seleccionado.

4.3 Estándares de las plantas de selección

La principal característica que define una planta de clasificación de envases ligeros es la capacidad que tiene en cuanto a toneladas de material capaz de absorber por hora. De esta manera, se distingue entre:

- Plantas automáticas: pueden admitir de 3 t/h a 8 t/h.
- Plantas manual: admiten unas 2 t/h.

A continuación, se mostrarán diferentes aspectos y cantidades estándares que se toman como referencia a la hora de estudiar y analizar una planta de clasificación de envases.

En primer lugar, la playa de descarga, en la que se depositan los residuos que han transportado los vehículos hasta la planta, debe tener una capacidad que como mínimo iguale a la que sería necesaria si se almacenase material durante 48 horas. Además, se deben tener en cuenta también dos requisitos adicionales para el correcto funcionamiento de todo el proceso: la altura de los residuos no debe sobrepasar los 3 m y un 15% del espacio de la playa debe estar disponible para que la pala cargadora pueda recoger los residuos.

De acuerdo con todos estos aspectos mencionados, se ha concluido que existe una superficie de playa de descarga mínima en función de las toneladas/hora de material que esté entrando a la planta, tal y como se indica en la tabla 7.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Tabla 7. Superficie de playa según régimen de diseño
Fuente: Plantas de Selección de envases. Ecoembes [21]

Superficie mínima de playas de descarga estándar	
Régimen de diseño (t/h)	Superficie playa (m²)
2	262
3	410
4	536
5	660
6	784
7	907
8	1030

Por otro lado, se debe disponer de los siguientes equipos para el resto de las operaciones llevadas a cabo en la planta:

- Alimentador/dosificador de residuos
- Cabina de triaje primario
- Sistema de apertura de bolsas
- Trómel
- Separador balístico, según plantas

Según la capacidad de cada planta el esquema estándar cambiará, siendo diferente el número de equipos a utilizar y la metodología empleada en cada uno de los procesos fundamentales divididos en pre-tratamiento, selección de envases y adecuación del material seleccionado y gestión del rechazo.

4.4 Equipos utilizados

En una planta de clasificación de envases se pueden encontrar los siguientes equipos:

- Alimentadores primarios: Son unos sistemas mecánicos cuya principal función es la de regular la cantidad de residuos a tratar en la planta de selección. Existen dos tipos de alimentadores utilizados en las plantas de selección:
 - De placas metálicas o cinta transportadora.
 - De cadenas con rástreles de avance.
- Abrebolsas: Suele ser una caja de acero que rompe las bolsas en las que se encuentran los residuos, de esta manera pueden ser más tarde separados y clasificados según su tamaño y material.
- Trómel de clasificación: de forma cilíndrica e inclinada, el trómel es una superficie dotada con orificios de diferentes tamaños por donde pasan los residuos de menor tamaño. Por ello, se realiza una separación de los materiales en diferentes

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

grandarias para su posterior selección. Algunos pueden realizar también la función de abrebolsas si contienen pinchos capaces de abrir las mismas.

- Separador balístico: su labor principal es la de conseguir una separación de los materiales en función de su forma, densidad y tamaño, obteniendo diferentes flujos de materiales que facilitan la selección posterior de los mismos.
- Separador neumático: el separador neumático está formado por un sistema de aspiración encargado de absorber los materiales ligeros y con menor densidad aparente (plásticos film mayoritariamente).
- Separador magnético: En éste se genera un campo magnético capaz de atraer los materiales férricos. Pueden ser de dos tipos:
 - Inducidos permanentes (imanes permanentes).
 - Inducidos al paso de una corriente eléctrica (electroimanes). Éstos son los más utilizados en las plantas de selección de envases.
- Separador óptico: está compuesto por una cinta con una velocidad controlada en la cual se transportan los materiales que ya han sido clasificados previamente mediante separadores balísticos o trómeles. Estos materiales están expuestos a un escáner que determina su posición y composición y se mide el tiempo que tardan en llegar al final de la cinta. En función de esto, un conjunto de válvulas conducen el material a la tolva adecuada.

La tecnología más utilizada es la de rayos infrarrojos de campo cercano (NIR) mediante la cual se seleccionan los envases de diferentes tipos de plásticos, además de otros materiales como metales, vidrio y materia orgánica, entre otros.
- Separador de inducción: se basa en el principio de las corrientes de Foucault y sirve para seleccionar los materiales metálicos no magnéticos cuyo componente fundamental es el aluminio. Se forma un campo magnético variable y alternante conseguido mediante un tambor inductor que genera unas corrientes al estar el material o férrico sometido a dicho campo.

A su vez, las corrientes generan un campo opuesto al variable y la repulsión entre ambos es tal que la trayectoria normal del material no férrico se ve alterada separándose del resto de materiales. Además, los materiales férricos son atraídos hacia el tambor de inducción; por ello, se puede dividir las tres salidas de materiales en:

 - materiales férricos
 - materiales no férricos
 - resto de materiales
- Triaje de materiales: es el proceso manual que se realiza sobre la cinta transportadora. Es un paso obligatorio tanto en las plantas manuales como en las automáticas.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

- Cintas transportadoras: su función principal es la de transportar de los diferentes caudales que se recogen en la planta de unos procesos a otros pasando por los diferentes equipos.
- Prensas de materiales: mediante las prensas se compactan los materiales aumentando su densidad aparente para, de esta manera, cumplir las especificaciones técnicas de materiales recuperados.
- Equipos para gestión de los rechazos: consiste en compactar los rechazos generados para aumentar la densidad de los mismos y regular su evacuación para que la planta pueda seguir funcionando con normalidad.
El rechazo se agrupa en contenedores con una capacidad máxima de almacenamiento para poder realizar este proceso con la mayor efectividad posible y no parar constantemente la planta por tener que cambiar un contenedor lleno a otro vacío y seguir con el funcionamiento normal.

4.5 Principales materiales recuperados

Los principales materiales recuperados en una planta de clasificación de envases son los siguientes:

- Materiales plásticos:
 - Polietileno Tereftalato (PET). Se emplea en la fabricación de los siguientes envases: aguas minerales, refrescos gaseosos, botellas de aceite y vinagre, botellas de cerveza (PET multicapa), bases de pizzas, de alimentación, algunos botes de champú y gel, algunos yogures, etc.
Es ligero, resistente y reciclable.
 - Polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE en inglés). Se emplea en la fabricación de los siguientes envases: botellas de leche, batidos o yogures bebibles, envases de higiene, limpieza y belleza (lavavajillas, detergentes, champús, suavizantes, etc).
 - Polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE en inglés). Es el componente principal de las bolsas de plástico, botellas o envoltorios de plástico. Posee un reciclado sencillo y seguro.
 - Polipropileno (PP). La característica esencial que lo define es la dureza y su resistencia a las altas temperaturas. Ejemplos: algunas tarrinas y bandejas de comida, botes de cosméticos, vasos desechables, etc.
 - Policloruro de vinilo (PVC). Se trata de un plástico muy resistente. En este caso el reciclaje es más difícil ya que su fundición provoca la emisión de sustancias tóxicas para la salud.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

- Poliestireno (PS). Posee un punto de fusión bajo por lo que se derrite fácilmente con la acción del calor. Las tasas de recuperación del mismo son bajas. Ejemplos: hueveras, bandejas de carne, yogures, platos y vasos desechables, algunas tarrinas de envases de comida, etc.
- Film. Se considerará film cualquier lámina fina de plástico. Puede estar constituido por PEAD, PEBD, PVC, PP, PS, etc.

En la figura 8 se muestra el símbolo voluntario de identificación de los diferentes materiales plásticos que se pueden usar en la etiqueta de los envases.

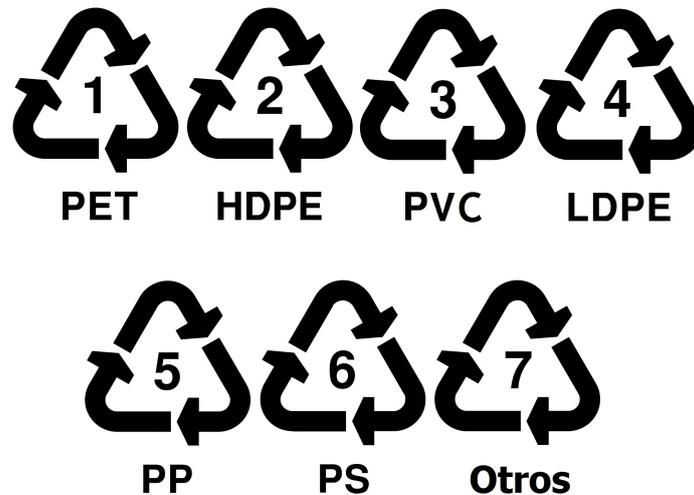


Figura 8. Símbolos de identificación de los plásticos
Fuente: Codificación de plásticos [22]

- Materiales metálicos:
 - Acero: material férrico más denso que otros materiales metálicos (por ejemplo el Aluminio), cuyos envases pueden ser de cualquier tamaño y forma. Se emplea principalmente en la fabricación de latas de bebidas, conservas, chapas de las botellas de vidrio, aerosoles, etc.
 - Aluminio: material no férrico más ligero, frágil y brillante que el acero. Se emplea principalmente en la fabricación de latas de bebidas, latas de conserva, bandejas de alimentos, papel de aluminio para envolver alimentos, aerosoles, etc.
- Papel/Cartón: son envases que han constituido una unidad de venta destinada al consumo. Ejemplos: caja de zapatos, caja de cereales o galletas, caja de televisor, cajetillas de tabaco, etc. [23]

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

5. Localización del estudio

5.1 Características generales de la planta

Este Trabajo Fin de Grado se va a realizar en la planta de clasificación de envases de Alzira (Valencia), en la cual se recogen los envases procedentes de la recogida selectiva (contenedor amarillo) y se clasifican en diversos grupos.

La planta está ubicada en El Carrer de la Democracia, 259, 46600 Alzira (Valencia) y pertenece a la empresa "Vaersa". Esta empresa fue creada hace unos 30 años con el objetivo de constituir un servicio público con principios basados en la innovación, respeto al medio ambiente y una gestión óptima de los residuos. Además, Vaersa es la encargada de la gestión de otras plantas de selección de envases en la Comunidad Valenciana: la de Castellón y la de Picassent.

La planta de clasificación de envases ligeros recibe anualmente unas 10.000 t/año de residuos procedentes de diversos municipios de la Comunidad Valenciana.

La planta de estudio de este Trabajo Fin de Grado gestiona una importante parte de los residuos procedentes del contenedor amarillo de la Comunidad Valenciana, ya que es la segunda en capacidad por detrás de la planta de Picassent.

La planta desarrolla las siguientes actividades:

- Recogida de los envases ligeros procedentes del contenedor amarillo.
- Pesaje del camión.
- Los residuos se depositan en la playa de descarga.
- Los materiales entran a la cinta transportadora y se realiza una recuperación de los materiales férricos y voluminosos.
- Los residuos restantes son enviados al trómel, en el cual se separan en tres fracciones dependiendo del tamaño que posean.
- Se realiza más tarde una separación manual de los diferentes envases.
- Finalmente se retiran parte de los materiales férricos mediante un electroimán y parte de los materiales que contienen aluminio mediante un separador por corrientes de Foucault.
- Todos los residuos restantes no retirados en las acciones anteriores formarán parte del rechazo de la planta, el cual se deposita en un vertedero.
- Los envases recuperados son aglutinados en balas compactas que irán a la planta de reciclaje correspondiente.

De acuerdo con las actividades indicadas, la planta de clasificación de envases de Alzira es una planta de clasificación de envases manual.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

En la figura 9 se muestra una imagen aérea de la planta.



Figura 9. Vista panorámica de la planta de clasificación de envases de Alzira.

Fuente: Google maps

5.2 Áreas de la planta

Las áreas que forman la planta de Alzira son las siguientes:

- **Recepción y control:** es la zona a la cual llegan los camiones portadores de los residuos del contenedor amarillo. Estos residuos son llevados a la playa de descarga desde la que posteriormente pasarán a la cinta transportadora con ayuda de un pulpo.
- **Clasificación de envases:** el primer paso, una vez se encuentran los residuos dentro de la planta, es la separación manual de los voluminosos, en la cual se recupera aproximadamente un 60% del material vidrio, un 70% del material textil y un 80% del papel y cartón. El resto de material no separado anteriormente pasa por el abrebolsas, en el cual se produce la rotura de las diferentes bolsas para facilitar la función del siguiente proceso: la separación por tamaño de las diferentes fracciones en el trómel.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

El trómel consiste en una superficie dotada con orificios de diferente tamaño entre los cuales pasan los residuos mediante un movimiento giratorio que arrastra los mismos. Existen diferentes tipos de trómeles en función de dos parámetros.

El primer criterio de clasificación es el tamaño del residuo que quiere separarse. Así, se pueden encontrar tres tipos de trómeles: trómeles de voluminosos, trómeles de finos y, como es en el caso de la planta de clasificación de envases de Alzira, trómeles mixtos, capaces de dividir y separar diferentes tamaños de residuos en diferentes fracciones según grandaria.

Por otro lado el número de cribas que contiene el trómel es otro parámetro que determina el tipo de trómel. En el caso de la planta de clasificación de envases de Alzira el número de flujos en los que se divide el caudal de entrada son tres: fracción fina, fracción intermedia y fracción gruesa.

En cuanto a la pendiente óptima del trómel se ha establecido un estándar según la capacidad de la planta siendo en torno a 5º la opción deseable en plantas con densidad aparente de entre 50 y 100 Kg/m³ y caudal de entrada de 2 a 8 Tm/h, como en la planta de clasificación de envases de Alzira.

Además, existen otros parámetros importantes como la velocidad, la cual se fija de entre 9 y 10 r.p.m para diámetros entre 2,5 y 3 m, o la potencia, siendo ésta dependiente de factores como la capacidad o velocidad y estando comprendida para plantas de clasificación de envases entre 11 y 18,5 kW.

Una vez se encuentran diferenciados los residuos en tres fracciones: fracción fina, fracción intermedia y fracción gruesa, se produce otra separación en cada una de las tres líneas para recuperar parte del PET, PEAD, bricks, film y otros plásticos.

El material plástico no recuperado, así como el compuesto por otros materiales diferentes, vuelve a juntarse una vez termina la separación manual en las tres líneas descritas anteriormente (línea de finos, línea de intermedios y línea de gruesos).

De esta manera, la masa de residuos resultante pasa por un electroimán, en el cual se suele recuperar un 90% del acero y, más tarde, por el separador por corrientes de Foucault, encargado de recuperar el 90% del aluminio.

El resto de residuos que no ha sido separado por ninguno de los equipos descritos junto con el material plástico no apartado en la separación manual formará parte del rechazo de la planta.

- Almacenamiento de productos recuperados: los envases recuperados se compactan formando balas de 1,5m x 1m x 1m, a la espera de ser llevadas a las plantas recicladoras. En estas plantas cada fracción, tras un proceso de transformación, pasa a ser una nueva materia prima utilizable para crear nuevos productos. De esta manera, se evita el problema que supone el vertido de estos

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

residuos a vertedero y se disminuye el impacto ambiental negativo que supone para el medio ambiente.

- Almacenamiento del rechazo: el rechazo de la planta formado por los materiales que no han sido recuperados es compactado mediante un compactador estático con el objetivo de aumentar su densidad y, de esta manera, facilitar tanto el transporte del mismo como la posterior evacuación a vertedero. Además, la planta está diseñada con una superficie exterior dividida en dos zonas: la perteneciente al desplazamiento de los vehículos de carga y descarga y la superficie destinada a la gestión del rechazo. Una vez el rechazo se encuentra compactado, es transportado mediante camiones hacia el centro de gestión final, en este caso el vertedero ubicado en Villena.
- Aula medioambiental: la planta también dispone de un aula destinada a la realización de reuniones o visitas, en las cuales pueden observarse los procesos llevados a cabo en la planta, ya que en dicha aula hay pantallas que muestran el estado actual de los procesos y equipos en tiempo real.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

5.3 Diagrama de flujo

En la figura 10 se muestra el diagrama de flujo de la planta de clasificación de envases de Alzira, en el cual se muestran los rendimientos típicos de separación de cada uno de los procesos, a excepción del trómel, cuyas tasas de recuperación se indican en la tabla 9.

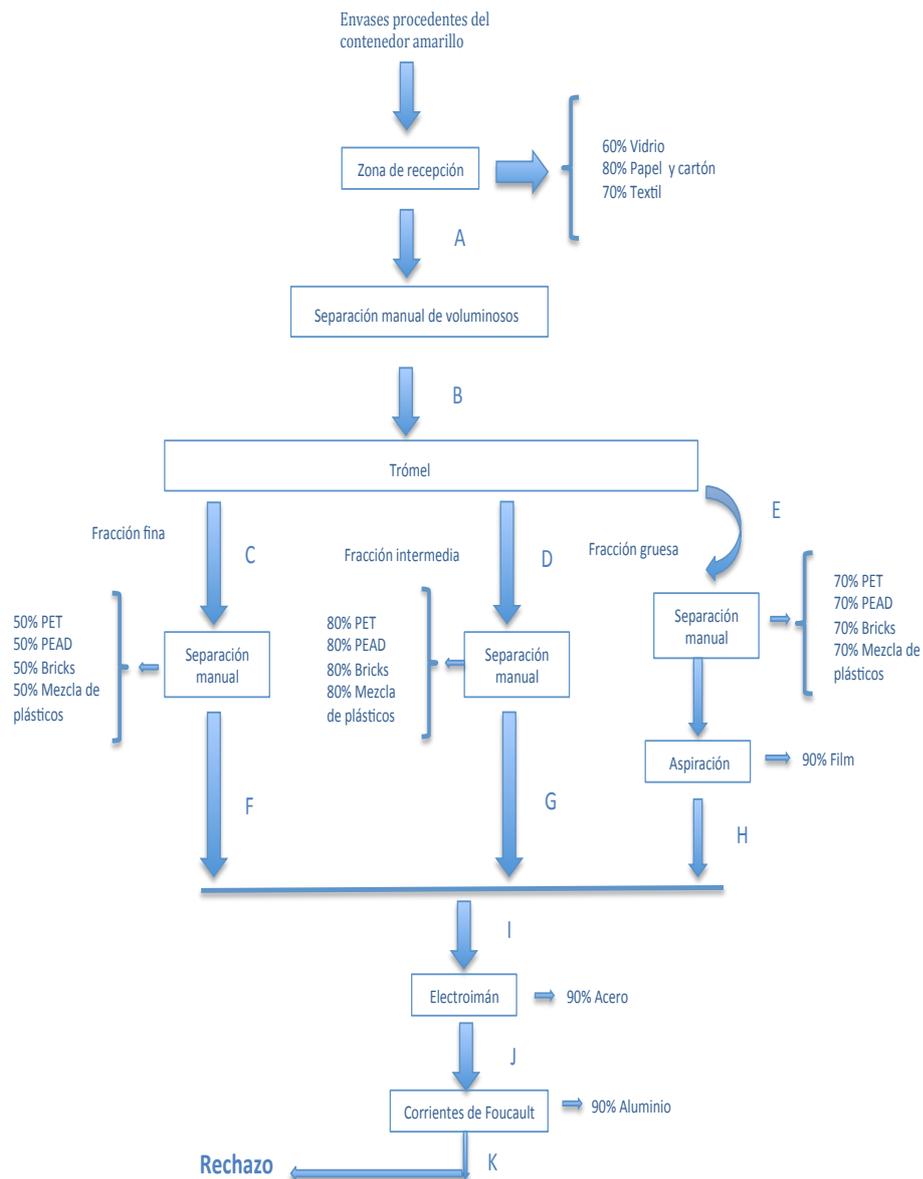


Figura10. Diagrama de flujo de la planta de clasificación de envases de Alzira
Fuente: Elaboración propia

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

5.4 Rendimientos de los procesos de separación

Las tasas de recuperación en la separación manual dependen del tipo de material y del tamaño del residuo, por ello se pueden encontrar para cada fracción una tasa de recuperación diferente.

A continuación, se muestran los rendimientos de los equipos principales de la planta de clasificación de envases de Alzira, obtenidos mediante bibliografía.

- Trómel: el trómel es la máquina encargada de realizar la separación por tamaños descrita anteriormente. En la figura 11 puede observarse su estructura básica.



Figura 11. Imagen de un trómel de clasificación.
Fuente: Plantas de Selección de envases. Ecoembes [21]

En la tabla 8 se muestran los factores de recuperación de la fracción fina de cada material, así como el factor de recuperación de la fracción gruesa del mismo, expresados en tanto por cien. Estos factores de recuperación corresponden a los típicos de un trómel de tres salidas.

Cabe destacar los materiales que tienen mayores porcentajes de recuperación. Entre éstos, se resaltan los de restos de comida y los residuos pertenecientes a suciedad ya que se recupera el 100% de los mismos en la fracción fina debido a su pequeño tamaño; también destaca la recuperación del vidrio en la fracción final, con un 90%.

Por otro lado, en la fracción gruesa destaca la recuperación del PEBD (film) con una tasa del 90%, seguido del papel/cartón y textiles, con un 75% y 35% respectivamente. Ello es debido al mayor tamaño de estos materiales.

El resto de materiales se recupera mayoritariamente en la fracción intermedia.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Tabla 8. Factores de recuperación de materiales típicos de un trómel de tres salidas
Fuente: Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. A. (1998) "Gestión Integral de Residuos Sólidos"

Fracciones de los residuos	Factor recuperación en fracción fina en peso (%)	Factor recuperación en fracción gruesa en peso (%)
PET	5	25
PEAD	5	25
PEBD (film)	5	90
PVC	5	20
Resto de plásticos	20	20
Acero	15	5
Aluminio	5	5
Cartón para bebidas (bricks)	5	30
Vidrio	90	0
Papel/Cartón	10	75
Textiles	5	50
Restos de comida	100	0
Suciedad	100	0

- Separador neumático (aspiración): el separador neumático absorbe mediante aspiración el material film con un rendimiento aproximado del 90%. La aspiración se realiza mediante campanas de aspiración situadas en puntos clave del proceso en las cuales se hace circular una corriente de aire que permite absorber los materiales más ligeros, en nuestro caso el film, como se observa en la figura 12.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.



Figura 12. Imagen de un separador neumático.

Fuente: Plantas de Selección de envases ligeros. Ecoembes [21]

- Separador magnético: el separador magnético es el encargado de crear un campo magnético capaz de atraer los materiales férricos. En la planta de clasificación de envases de Alzira éste es capaz de separar con un rendimiento del 90% los envases de acero.

En la figura 13 se muestra un ejemplo de separador magnético.



Figura 13. Imagen de un separador magnético.

Fuente: Plantas de Selección de envases ligeros. Ecoembes [21]

- Separador por corrientes de Foucault: el separador por corrientes de Foucault permite separar los materiales metálicos no ferromagnéticos del resto de materiales con un rendimiento entorno al 90%.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Por un lado, los materiales no metálicos no se ven alterados por el mismo, siendo indiferentes al separador y continuando su trayectoria habitual.

Por otro lado, los materiales metálicos no ferromagnéticos experimentan un efecto contrario al de los materiales ferromagnéticos, son repelidos separándose por otro lado diferente de los anteriores.

En la figura 14 se muestra el equipo.



Figura 14. Imagen de un separador por corrientes de Foucault.
Fuente: Plantas de Selección de envases ligeros. Ecoembes [21]

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

5.5 Composición de los residuos de entrada

Como ya se ha indicado, la planta recibe los residuos del contenedor amarillo, cuya composición típica se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Composición de los residuos de entrada a la planta

Material	% en peso
PET	28,0
PEAD	11,0
PEBD (film)	10,5
PVC	0,3
Resto de plásticos	5,5
Acero	12,0
Aluminio	1,5
Cartón para bebidas (bricks)	12,0
Vidrio	2,8
Papel/Cartón	5,6
Textiles	2,4
Restos de comida	3,9
Suciedad	4,5
TOTAL	100

Se resalta el PET como el material mayoritario en la entrada a la planta (28,0%), seguido del acero (12,0%), cartón para bebidas (bricks) (12%), PEAD (11,0%) y film (10,5%).

Seguidamente, con porcentajes menores, se encuentran el papel/cartón (5,6%), el resto de plásticos (5,5%), la suciedad (4,5%), los restos de comida (3,9%), el vidrio (2,8%), los textiles (2,4%) y el aluminio (1,5%).

Por último, el PVC es el material minoritario (0,30%), como se puede observar con mayor claridad en la figura 15.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

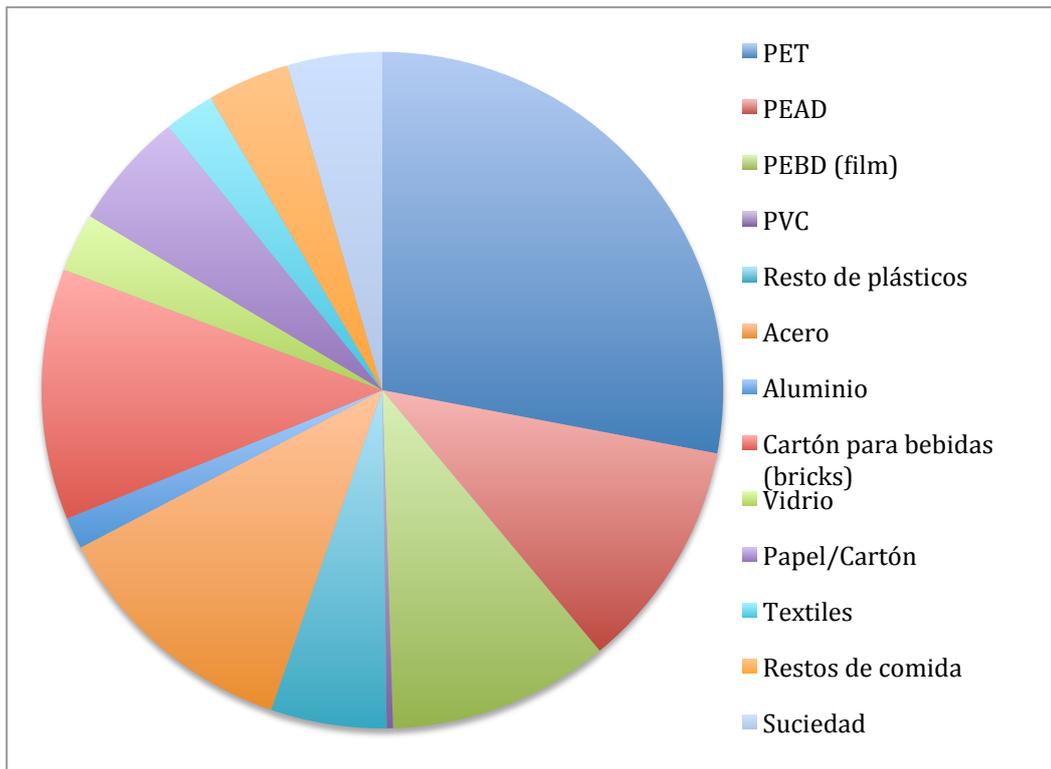


Figura 15. Composición de los residuos de entrada a la planta en peso (%)

Conociendo la composición inicial de los residuos que entran a la planta, se puede determinar la composición del rechazo que se destina actualmente al vertedero controlado, ya que los rendimientos de los equipos y la tasas de recuperación manuales son datos conocidos, como se ha comentado anteriormente. Este proceso de cálculo se explicará a continuación.

5.6 Cálculo de la cantidad y composición del rechazo

Para calcular la cantidad y composición del rechazo se parte de las toneladas/día de entrada para la realización del balance másico en cada una de las líneas de la planta.

Se sabe que a la planta de Alzira llegan 10.000 t/año. Como se trabaja 5 días/semana, la cantidad de residuos procesada por día es de 42 t/día.

5.6.1 Balances de materia

Una vez conocida la cantidad y composición de los residuos que entran a la planta, queda definida completamente la corriente de entrada A de la figura 10.

A continuación lo primero que se debe calcular son las toneladas al día que entran al trómel de cada material (corriente B). Dicho cálculo se realiza conociendo el porcentaje que constituye cada uno de ellos de la cantidad de materia total entrante a la planta, es decir las 42 t/día.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Se debe tener en cuenta que para el caso del vidrio, el papel y cartón y los textiles se realiza una separación manual de voluminosos antes de la entrada al trómel mediante la cual se recupera un 60% de vidrio, un 80% de papel y cartón y un 70% de materia textil.

Por ello, en estos casos (vidrio, papel y cartón y textiles), además de evaluar las toneladas al día que entran a la planta de cada uno de los materiales mediante el porcentaje que constituyen del total, también se deberán descontar las toneladas al día recuperadas en el proceso descrito anteriormente para conocer la masa de entrada al trómel.

Una vez conocidos los valores (t/día) de entrada al trómel se aplican los factores de recuperación mostrados en la tabla 8 para conocer qué cantidad de cada uno de los materiales se encuentra en cada una de las líneas de salida: línea de finos (corriente C), línea de intermedios (corriente D) y línea de gruesos (corriente E).

De esta manera, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 10.

Tabla 10. Balance de materia calculado hasta la salida del trómel

Fracciones de los residuos	Toneladas/día			
	Entrada trómel (B)	Fracción fina (C)	Fracción intermedia (D)	Fracción gruesa (E)
PET	11,8	0,6	8,2	2,9
PEAD	4,6	0,2	3,2	1,2
PEBD (film)	4,4	0,2	0,2	4,0
PVC	0,1	0	0,1	0,0
Resto de plásticos	2,3	0,5	1,4	0,5
Acero	5,0	0,8	4,0	0,3
Aluminio	0,6	0,0	0,6	0,0
Bricks	5,0	0,3	3,3	1,5
Vidrio	0,5	0,4	0,0	0,0
Papel/Cartón	0,5	0,0	0,1	0,4
Textiles	0,3	0,0	0,1	0,2
Restos de comida	1,6	1,6	0,0	0,0
Suciedad	1,9	1,9	0,0	0,0
TOTAL (t/día)	38,7	6,6	21,3	10,9

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Una vez definidas las tres corrientes de salida del trómel, aplicando los rendimientos de separación manual indicados en la figura 10 y el rendimiento de separación del film (PEBD) del separador neumático, se calculan las corrientes F,G y H.

A continuación, estas tres corrientes se unen, con lo cual se puede calcular la corriente resultante I simplemente mediante una suma. Esta corriente I se somete a una separación magnética con un rendimiento del 90% y a una separación por corrientes de Foucault con un rendimiento del 90%. Aplicando dichos rendimientos, quedan definidas las corrientes J y K de la figura 10.

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos a partir del trómel.

Tabla 11. Balance de materia calculado desde la salida del trómel

Fracciones de los residuos	Toneladas/día					
	Corriente (F)	Corriente (G)	Corriente (H)	Corriente (I)	Corriente (J)	Rechazo (K)
PET	0,3	1,6	0,9	2,8	2,8	2,8
PEAD	0,1	0,6	0,3	1,1	1,1	1,1
PVC	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
PEBD (film)	0,2	0,2	0,4	0,8	0,8	0,8
Resto plásticos	0,2	0,3	0,1	0,6	0,6	0,6
Acero	0,8	4,0	0,3	5,0	0,5	0,5
Aluminio	0,0	0,6	0,0	0,6	0,6	0,1
Briks	0,1	0,7	0,5	1,2	1,2	1,2
Vidrio	0,4	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5
Restos de comida	1,6	0,0	0,0	1,6	1,6	1,6
Textiles	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3
Papel/ Cartón	0,0	0,1	0,4	0,5	0,5	0,5
Suciedad	1,9	0,0	0,0	1,9	1,9	1,9
TOTAL	5,7	8,4	3,1	17,2	12,6	12,1

La corriente K corresponde al rechazo de la planta y como puede verse supone un 29% de los residuos de entrada. Este valor calculado es similar al dato publicado por el Ministerio de Medio Ambiente en el año 2014 (ver tabla 5).

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

5.6.2 Tasas de recuperación de los materiales

Los materiales recuperados en la planta de Alzira son los siguientes: PET, PEAD, PEBD (film), Resto de plásticos, Acero, Aluminio, Bricks, Vidrio, Papel/Cartón y Textiles.

Las toneladas recuperadas de cada uno de los materiales son calculadas para el caso del PET, PEAD, cartón para bebidas (bricks) y resto de plásticos teniendo en cuenta los rendimientos en la separación manual (50% en la separación manual de la línea de finos, 80% en la línea de la fracción intermedia y un 70% en la línea de la fracción gruesa).

En el caso del film, el rendimiento de la aspiración es de un 90%. Y en cuanto al acero y el aluminio son recuperados mediante un electroimán con un rendimiento del 90% y un separador por corrientes de Foucault con un rendimiento del 90%.

De esta manera, las toneladas recuperadas al día de cada material son las mostradas en la tabla 12, con sus respectivas tasas de recuperación, calculadas como el cociente entre las toneladas recuperadas respecto las entrantes a la planta, para cada uno de los materiales.

Tabla 12. Tasas de recuperación de materiales en la planta

Fracciones de los residuos	Toneladas recuperadas/día	Tasa de recuperación (%)
PET	8,9	76
PEAD	3,5	76
PEBD (film)	3,6	81
Resto de plásticos	1,7	72
Acero	4,5	90
Aluminio	0,6	90
Bricks	3,8	76
Vidrio	0,7	60
Papel/Cartón	1,9	80
textiles	0,7	70
TOTAL	29'9	71'2

Como puede verse en la tabla 12, la tasa de recuperación global de la planta es del 71'2%. Este valor calculado es muy similar al correspondiente a los datos publicados por el Ministerio de Medio Ambiente en el año 2014 (69'5%).

5.6.3 Composición del rechazo

Como ya se ha dicho, la corriente K de la tabla 11 corresponde al rechazo de la planta. A partir de estos datos, se puede calcular la composición en porcentaje en peso. Esta composición se muestra en la tabla 13.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Tabla 13. Composición del rechazo

Fracciones de los residuos	Toneladas/día	% del total
PET	2,8	23,3
PEAD	1,1	9,2
PEBD (film)	0,8	6,9
PVC	0,1	1,0
Resto de plásticos	0,6	5,3
Acero	0,5	4,2
Aluminio	0,1	0,5
Bricks	1,2	10,2
Vidrio	0,5	3,9
Papel/Cartón	0,5	3,9
Textiles	0,3	2,5
Restos de comida	1,6	13,5
Suciedad	1,9	15,6
TOTAL	12,1	100

Como puede verse en la tabla 13 el componente mayoritario del rechazo es el PET con un 23,3%, seguido por la suciedad con un 15,6% y los restos de comida con un 13,5%.

En la figura 16 se muestra de una manera visual la composición final del rechazo.

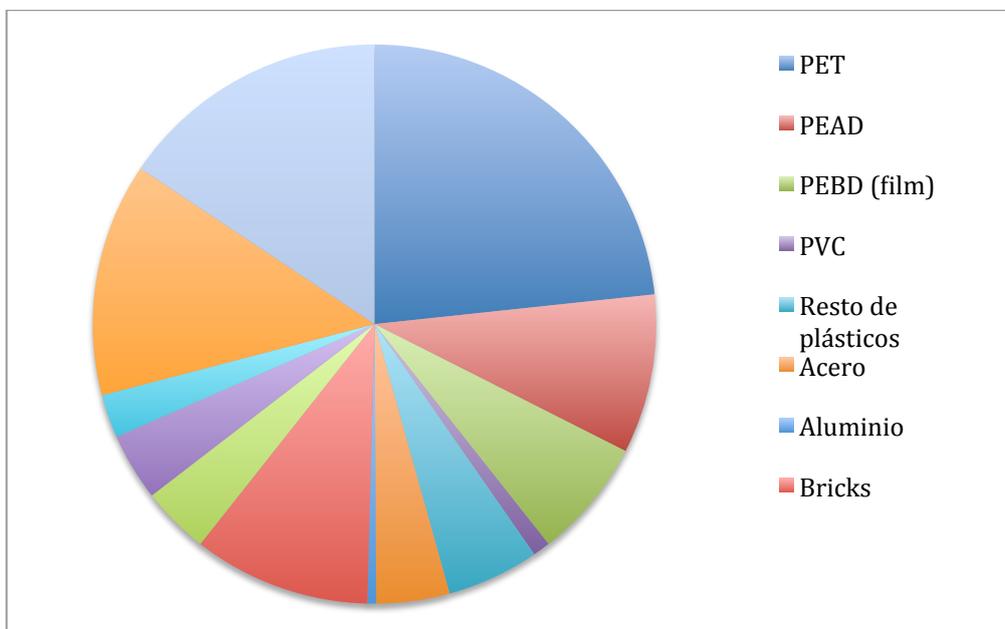


Figura 16. Composición del rechazo de la planta en peso(%)

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

5.7 Conclusiones

Mediante el análisis de los flujos de materia entrantes a la planta y las tasas de recuperación en cada uno de los procesos, el rechazo final constituye un porcentaje de los residuos totales de entrada de aproximadamente un 29%, lo que significa que un alto porcentaje de los envases recogidos en la planta son destinados a vertedero controlado. Por ello, a continuación, se van a plantear diversas medidas para poder disminuir la cantidad de residuos destinados al vertedero aprovechando los mismos para otros fines.

6. Alternativas frente a la eliminación del rechazo en vertedero

Los residuos no aptos para reciclaje son los que forman el rechazo de la planta de envases y, por ello, son enviados a vertedero controlado. Dichos residuos constituyen un problema ya que su acumulación ocasiona un grave efecto sobre el medio ambiente. Por ello, se ha tratado de crear una vía alternativa en la que los residuos puedan ser aprovechados para otro fin que no sea su eliminación en el vertedero; concretamente la alternativa que se propone es su “Valorización energética”.

La valorización de los residuos pretende reducir el volumen de residuos acumulados en vertederos controlados, así como la obtención de una nueva fuente de abastecimiento energético y, además, favorecer el medio ambiente.

Según la directiva 2008/98/CE de residuos el término valorización se define como: *“Operación cuyo resultado principal es que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular.” [24]*

Existen diferentes técnicas de valorización con recuperación energética: incineración, gasificación, pirolisis o biometanización. El resultado que pretenden conseguir todas las tecnologías anteriores es la obtención de energía. [25]

En la figura 17, un estudio realizado por Eurostat en 2008, muestra la situación de diversos países de la Unión Europea referente a las técnicas de valorización utilizadas. Se puede destacar, que ya en el año 2008 países como Alemania o Bélgica destinaban un porcentaje muy pequeño de residuos a vertedero controlado en comparación con España.

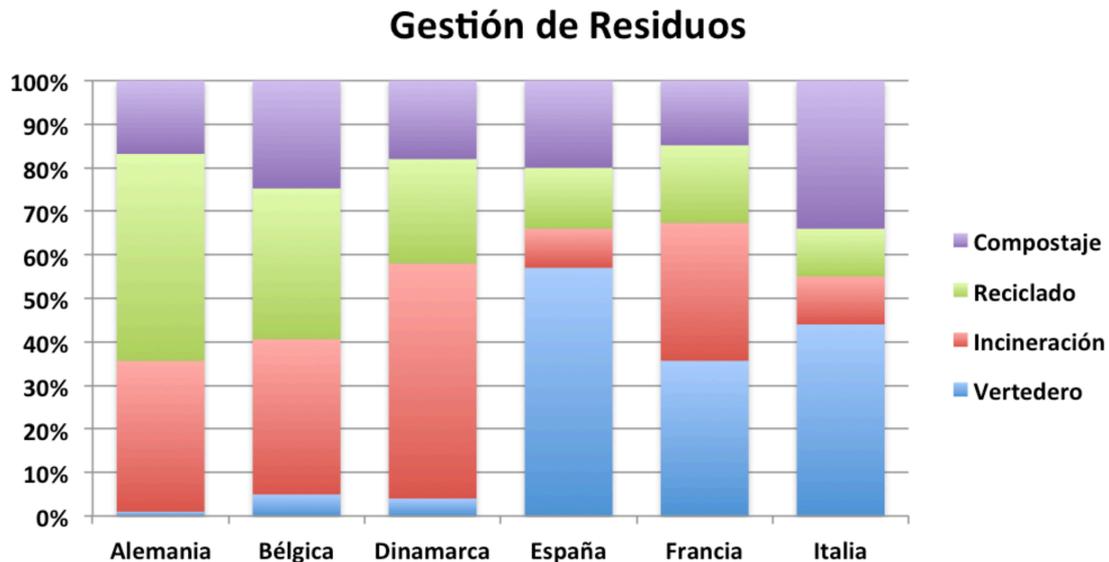


Figura 17. Gestión y tratamiento de los residuos en el año 2008

Fuente: Eurostat

7. El proceso de cogeneración

7.1 Introducción

La cogeneración es un proceso que permite utilizar tanto la energía eléctrica como la energía térmica de un proceso, con el objetivo de economizar la energía (véase figura 18). Se basa en el autoconsumo en la propia industria generadora del calor útil y la electricidad necesaria. La electricidad sobrante se vierte a la red y es consumida por un entorno próximo al lugar de producción. Por ello, se aprovecha la energía primaria de un modo sustancialmente más efectivo que las tecnologías de producción separadas. [26]

De este modo, la eficiencia aumenta considerablemente en comparación con una central eléctrica convencional en la que sólo se utiliza la energía eléctrica desaprovechando el calor generado o en una caldera convencional utilizada para generar calor como único fin.

La mayor eficiencia de las plantas de cogeneración da origen a un menor consumo de combustible, menor impacto ambiental y menores costes económicos en relación a la producción.

Algunas de las variantes de la cogeneración son la trigeneración (producción de calor, electricidad y frío), la cuatrigeneración (producción de calor, electricidad, frío y captura de las partículas de dióxido de carbono emitidas) y la tetrageneración (producción de calor, electricidad, frío y energía mecánica).

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

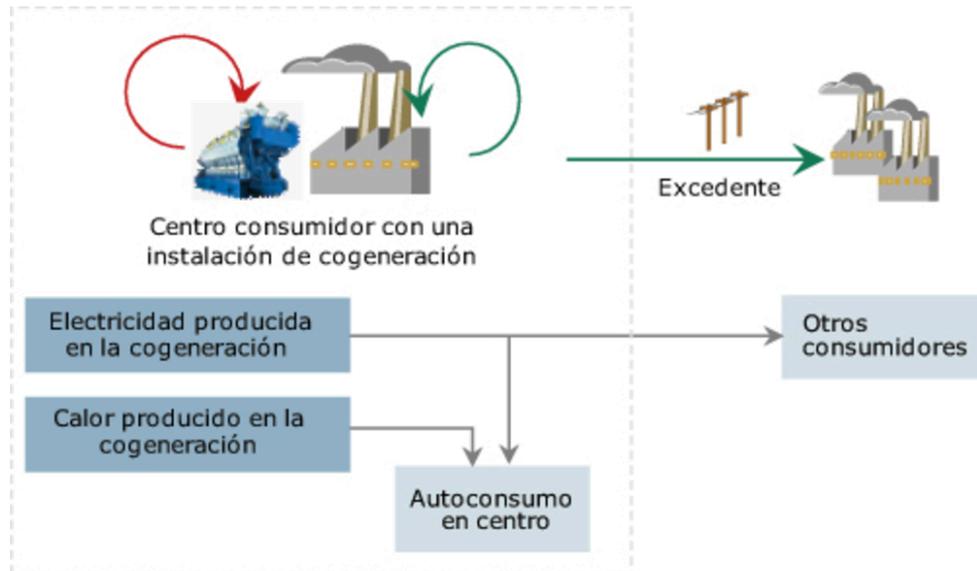


Figura 18. Esquema sistema de Cogeneración

Fuente: Diapositivas Centrales Térmicas y Cogeneración. UPV. Tercero de Ingeniería de la Energía

Las principales ventajas de la cogeneración respecto otros sistemas energéticos son:

- Menores pérdidas en transporte y distribución, al tratarse de una generación distribuida y, por ello, situarse más cerca el punto de consumo de la producción de la electricidad.
- En la combustión de una central convencional los humos generados son expulsados al exterior a altas temperaturas con los consiguientes efectos negativos que provocan, mientras que en la cogeneración el humo es enfriado antes de expulsarse para después utilizar el calor residual en otros procesos.
- Ahorros económicos significativos.
- Reducción de la dependencia energética.
- Mayor seguridad en el suministro (éste no depende de los fallos en las líneas de transporte y distribución).
- La producción de energía eléctrica es predecible con facilidad.
- Contribuye al desarrollo sostenible ya que la mejora en la eficiencia permite reducir la cantidad de recursos utilizados y como consecuencia una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Eliminación de pérdidas en la red eléctrica.
- Mayor competencia entre productores de electricidad en el mercado eléctrico.
- Se estima que el desarrollo de la cogeneración podría evitar la emisión de aproximadamente 258 millones de toneladas de dióxido de carbono en el año 2020. [27]

Por todo esto, la cogeneración, junto con las energías renovables, contribuye a la garantía del suministro a largo plazo, ya que se utilizan los recursos fósiles de una manera

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

óptima en contraposición a un modelo en el que el petróleo sea la principal fuente de abastecimiento, en el cual una crisis del mismo ocasiona paradas en el suministro e incluso limitación en la producción, además de los graves efectos negativos sobre el medio.

A continuación, se indican los principales equipos y sistemas que forman una planta de cogeneración:

- Elemento motor: se encarga de producir la energía mecánica. Se pueden encontrar tres tipos de elemento motor en función del tipo de central y la aplicación requerida: turbina de gas, turbina de vapor y motor de combustión interna alternativo.
- Alternador: es el elemento encargado de transformar la energía mecánica anteriormente producida en energía eléctrica.
- Sistema de aprovechamiento del calor producido: puede estar formado por una caldera de recuperación o un intercambiador de calor.
- Torres de refrigeración: pese a que el objetivo fundamental de la cogeneración en comparación con una central convencional sea el aprovechamiento del calor residual generado en el proceso de obtención de energía eléctrica, no se produce una utilización total de este calor producido ya que no se puede utilizar la totalidad de la energía térmica contenida en el combustible, y, por ello, ésta debe ser evacuada de la planta. La torre de refrigeración es la encargada de enfriar esta cantidad de energía desaprovechada para su posterior evacuación.
- Sistema de tratamiento de agua: regula las condiciones requeridas del fluido utilizado tanto en el sistema de aprovechamiento de calor como en el sistema de refrigeración (normalmente agua).
- Sistema de control: se encarga de la regulación de las instalaciones y está compuesto usualmente por un sistema automatizado.
- Sistema eléctrico: el objetivo principal es que esté dotado de una alta fiabilidad y seguridad en el suministro eléctrico, ya sea para alimentar equipos de la propia planta como para suministrar energía eléctrica a la red.
- Otros sistemas auxiliares: sistema de ventilación y sistema de aire acondicionado, entre otros. [28]

Las primeras centrales de cogeneración que se utilizaron en España estaban compuestas por turbinas de vapor situadas en su mayoría en industrias del sector químico y fabricación de papel. Su finalidad consistía en optimizar los costes y establecer un suministro eléctrico seguro al proceso industrial.

A partir de la década de los ochenta, comenzaron a instaurarse las centrales de cogeneración basadas en turbinas de gas y motores alternativos.

7.2 Funcionamiento y regulación

El funcionamiento de un sistema de cogeneración se basa en la utilización de un alternador como elemento generador de electricidad impulsado por un motor térmico o turbina, como en una central eléctrica convencional. La diferencia radica en la utilización del calor producido por este proceso para aplicaciones como calefacción, refrigeración (sistemas de absorción) o como foco calorífico para conseguir agua caliente sanitaria.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

De esta manera, se evitan los problemas que surgen en las centrales convencionales con la disipación del calor generado en los procesos de obtención de energía eléctrica, que ocasionan alteraciones en el medio donde se deposita.

En cuanto a la regulación, los sistemas de cogeneración están inmersos en el Régimen Especial de Energía según el *Real Decreto 413/2014, de 6 de Junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.* [29]

Cabe destacar la legislación anterior al Real Decreto de 2014, ya que ha marcado la evolución del marco regulatorio en el ámbito del Régimen Especial. Se citan a continuación los principales decretos:

- Ley 54/1997, de 27 de Noviembre, del sector eléctrico.
- Real Decreto 2818/1998, de 23 de Diciembre.
- Real Decreto 481/2002, de 31 de Mayo.
- Real Decreto 436/2004, de 12 de Mayo.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de Mayo.
- Real Decreto 616/2007, de 11 de Mayo.

7.3 Parámetros característicos

Para calcular el rendimiento en una planta de cogeneración, se tienen diversos indicadores:

- Rendimiento eléctrico:

$$\eta_e = \frac{W}{F} \quad Eq(1)$$

- Rendimiento térmico:

$$\eta_t = \frac{Q}{F} \quad Eq(2)$$

- Rendimiento calor/electricidad:

$$RCE = \frac{Q}{W} \quad Eq(3)$$

- Rendimiento eléctrico equivalente

$$REE = \frac{W}{F - \frac{Q}{0,9}} \quad Eq(4)$$

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

- Rendimiento global:

$$\eta_g = \frac{W+Q}{F} = \eta_e + \eta_t \quad \text{Eq(5)}$$

donde:

W: Potencia eléctrica obtenida (kW)

F: Potencia del combustible utilizada (kW)

Q: Potencia térmica obtenida útil (kW)

7.4 Sistemas de cogeneración

Según el tipo de conexión del generador eléctrico, se puede diferenciar los siguientes sistemas de cogeneración:

- Sistema aislado. Este tipo de sistema no está conectado a la red eléctrica.

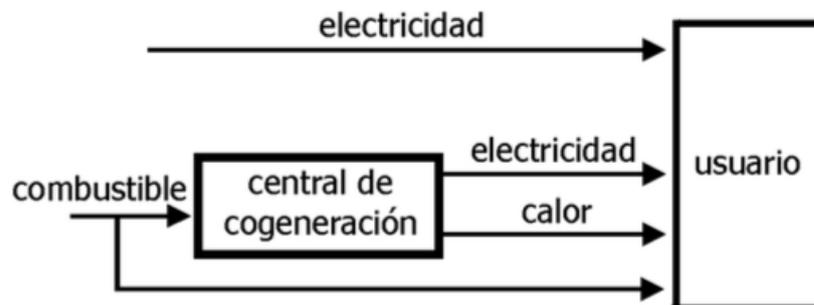


Figura 19. Sistema de cogeneración aislado.

Fuente: Diapositivas Centrales Térmicas y Cogeneración. UPV. Tercero de Ingeniería de la Energía

- Sistema integrado. Los sistemas integrados sí que se encuentran conectados a la red eléctrica. Su regulación es más sencilla que en el caso anterior.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

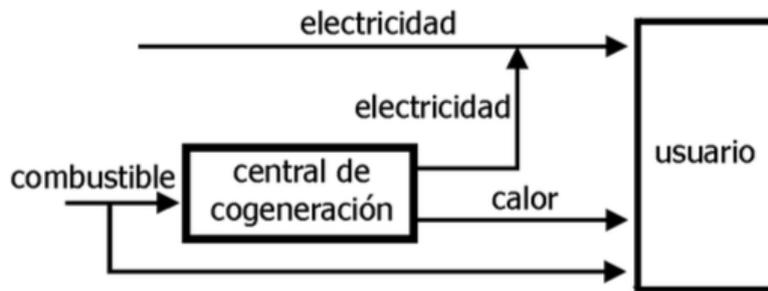


Figura 20. Sistema de cogeneración integrado.

Fuente: Diapositivas Centrales Térmicas y Cogeneración. UPV. Tercero de Ingeniería de la Energía

- Ciclo de cabecera. En este sistema la energía eléctrica (mecánica) es generada en el primer escalón, a partir de la energía química de un combustible y la energía térmica resultante, el denominado calor residual, es suministrado a los procesos constituyendo el segundo escalón. Suelen ser aplicados en procesos que requieren temperaturas moderadas o bajas.

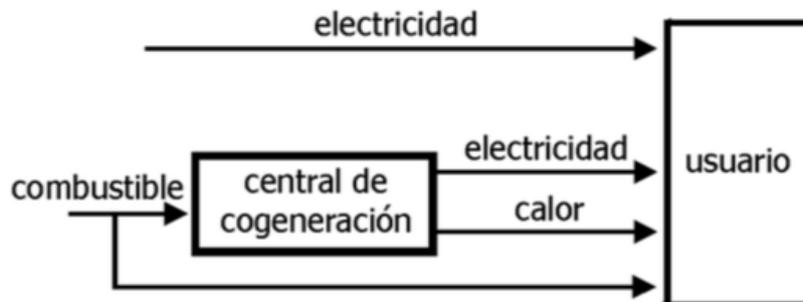


Figura 21. Sistema de cogeneración de cabecera.

Fuente: Diapositivas Centrales Térmicas y Cogeneración. UPV. Tercero de Ingeniería de la Energía

- Ciclo de cola. En este caso, la energía térmica residual de un proceso es utilizada para producir electricidad. Los ciclos de cola están normalmente asociados con procesos industriales en los que se presentan altas temperaturas.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

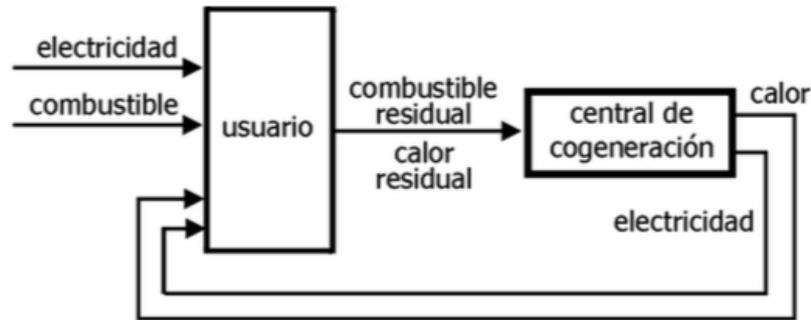


Figura 22. Sistema de cogeneración de cola.

Fuente: Diapositivas Centrales Térmicas y Cogeneración. UPV. Tercero de Ingeniería de la Energía

Además, existe una gran variedad de equipos y tecnologías según la aplicación específica de la cogeneración. Cada una de estas tecnologías tiene unas características definidas que deberán ser consideradas según los requerimientos del lugar de aplicación. Entre estas tecnologías, se puede distinguir:

- Centrales de cogeneración con turbina de gas.
- Centrales de cogeneración con turbina de vapor.
- Centrales de cogeneración con motor de combustión interna diesel.
- Centrales de cogeneración con motor de combustión interna gas.
- Centrales de cogeneración con ciclos combinados.

8. Estudio de la implantación del sistema de cogeneración

Tras observar el problema que supone la cantidad de materiales que componen el rechazo de la planta y que actualmente se depositan en vertedero, se estudiará la implantación de un sistema de cogeneración que aproveche los mismos para producir energía eléctrica que cubra parte del consumo de la planta.

Por un lado, se deberán analizar las características del rechazo para ver si requiere algún tipo de pretratamiento. Además también se calcularán las emisiones de gases generadas durante su combustión para constatar que se cumple el límite establecido en la legislación actual, ya que si esto no ocurre se deberá implantar alguna técnica para reducir las mismas hasta cumplir con la legislación.

Por otro lado se analizará la viabilidad tanto energética como económica que supone la instauración del sistema de cogeneración y se estudiarán los parámetros fundamentales de la misma.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

8.1 Parámetros físicos

8.1.1 Poder Calorífico Inferior (PCI)

El poder calorífico inferior es la cantidad de calor en forma de energía por unidad de masa de combustible que se desprende en una combustión completa sin tener en cuenta la parte referente al calor latente del vapor de agua que resulta de la combustión.

Este parámetro es el utilizado en los procesos industriales ya que los gases expulsados durante la combustión se encuentran a temperaturas muy elevadas y por ello el agua no condensa permaneciendo en fase vapor. Por ello, la diferencia con el poder calorífico superior es que en este caso una parte del calor generado se usa para evaporar el agua y por ello no se aprovecha.

En la tabla 14 se muestra el cálculo del poder calorífico inferior de la planta de clasificación de envases ligeros.

Tabla 14. Cálculo del poder calorífico inferior del rechazo de la planta de clasificación de envases

Fuente: Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. A. (1998) "Gestión Integral de Residuos Sólidos"

Fracciones de los residuos	Porcentaje en peso (%)	PCI (kcal/kg) como recogidos	PCI (kcal/kg) secos
PET	23,3	10382	10402
PEAD	9,2	11145	11235
PEBD (film)	6,9	5419	5430
PVC	1	11130	11200
Resto de plásticos	5,3	7834	7995
Acero	4,2	167	177
Aluminio	0,5	167	177
Bricks	10,2	3912	4127
Vidrio	3,9	47	48
Papel/Cartón	3,9	998	3324
Textiles	2,5	4422	4913
Restos de comida	13,5	3777	4206
Suciedad	15,6	1400	1667
Total (kcal/kg)	100	5631,2	5879,2
TOTAL (MJ/kg)	100	23,5	24,6

El poder calorífico inferior del rechazo de la planta es de 23,5 MJ/kg como recogidos y 24,6 MJ/kg en valor seco.

Dichos valores se encuentran en un rango óptimo ya que son superiores al valor correspondiente al poder calorífico inferior típico de la biomasa utilizada para realizar cogeneración (3382 kcal/kg) es decir 14,1 MJ/kg.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

8.1.2 Humedad

Se continúa analizando la humedad que contiene el rechazo de la planta de clasificación de envases ligeros. Ésta constituye otro de los parámetros más importantes para el estudio del sistema de cogeneración, ya que cuanto mayor sea el porcentaje en humedad del rechazo peor será el poder calorífico y, por ello, menos energía se podrá obtener del mismo. Esto se debe a que un mayor porcentaje de humedad disminuirá la temperatura de combustión a valores por debajo de la óptima y, por ello, se podría producir una combustión incompleta.

Además, si el contenido en humedad es alto, se estudiará la posibilidad de utilizar el calor sobrante del proceso de generación de energía eléctrica en un sistema de secado térmico del rechazo previo a su combustión. De esta manera, se aprovecharía dicho calor para reducir el contenido de humedad del rechazo y no se expulsaría al medio ambiente, mejorando así la eficiencia global del proceso.

En la tabla 15, se calcula el contenido de humedad del rechazo a partir de los porcentajes en peso de los diferentes compuestos del mismo y su contenido en humedad característico.

Tabla 15. Cálculo de la humedad del rechazo de la planta de clasificación de envases
Fuente: Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. A. (1998) "Gestión Integral de Residuos Sólidos"

Fraciones de los residuos	Porcentaje en peso (%)	Contenido en humedad (%)
PET	23,3	0,2
PEAD	9,2	0,2
PEBD (film)	6,9	0,2
PVC	1	0,2
Resto de plásticos	5,3	0,2
Acero	4,2	5
Aluminio	0,5	2
Bricks	10,2	0,2
Vidrio	3,9	2
Papel/Cartón	3,9	70
Textiles	2,5	10
Restos de comida	13,5	7,7
Suciedad	15,6	20
TOTAL	100	7,67

El contenido de humedad del rechazo es del 7,67%. Se trata de un valor aceptable, ya que el contenido en humedad óptimo de una muestra de pellets debe ser inferior al 15%.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

8.1.3 Densidad

La densidad de los residuos es el parámetro que determina el volumen ocupado por los mismos. Cuanto mayor sea la densidad, menor será el volumen utilizado y por ello el transporte de los residuos se facilitará ya que se podrá transportar una mayor cantidad de los mismos en un mismo volumen.

Además, la densidad también afecta al proceso de la combustión, ya que una mayor densidad en la masa permite aumentar la cantidad de entrada a la caldera, produciendo así más cantidad de energía en el proceso.

Existen diferentes tecnologías de prensado de residuos mediante las cuales se puede aumentar la densidad de los mismos al valor deseado.

El valor medio teórico para residuos sin compactar es de 80 kg/m³. No obstante, este valor es variable según la composición del rechazo.

8.1.4 Granulometría de los residuos

El tamaño de los residuos es otro aspecto fundamental para abordar la eficiencia en el proceso de cogeneración previsto, ya que tamaños menores facilitarán la combustión de la muestra al ser ésta más homogénea.

Los equipos utilizados para adaptar el tamaño de los residuos al deseado para realizar la combustión de una manera más eficiente son las trituradoras.

8.2 Emisiones en el sistema de cogeneración

Otro factor que se debe tener en cuenta a la hora de realizar la instalación de cogeneración son las emisiones de algunos compuestos presentes en los gases de escape producidas por el proceso de combustión. Éstas deben tener un valor por debajo del límite establecido en las denominadas Autorizaciones Ambientales Integradas (AAI), concedidas por un órgano administrativo de carácter autonómico que establece los requisitos medio ambientales para una instalación donde se desarrolle una determinada actividad. No obstante, ya que no se ha encontrado una instalación similar al caso de este Trabajo de Fin de Grado, nos remitiremos a la legislación general para cualquier instalación de combustión, es decir, al Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. [30]

Por ello, en primer lugar se buscará la legislación pertinente a la instalación a diseñar y se calcularán las emisiones de la misma, visualizando así si dichas emisiones se encuentran por debajo del valor máximo permitido. Si esto no ocurre, se deberán aplicar diferentes técnicas para reducir las emisiones emitidas hasta ajustarse al valor permitido.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

8.2.1 Legislación

El Real Decreto 815/2013 citado anteriormente determina los valores límite de emisión a la atmósfera para la coincineración de residuos de la siguiente manera:

Se aplicará la siguiente fórmula (regla de mezcla) cuando un valor límite de emisión total específico C no se haya establecido en un cuadro de este anexo.

Por otro lado, las disposiciones especiales para instalaciones de combustión que coincinieren residuos establecen que el Cproceso para los combustibles con excepción de la biomasa (contenido de O₂ del 6%) debe ser el indicado en la tabla 16.

Tabla 16. Cproceso para los combustibles excepto biomasa

Fuente: Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre [30]

Contaminantes	<50 MWth	50 a 100 MWth	100 a 300 MWth	>300 MWth
SO₂	-	850 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³
NO_x	-	400 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³
Partículas	50 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³	30 mg/Nm ³	30 mg/Nm ³

Los valores de los intervalos de confianza del 95% de cualquier medición, determinados en los valores límite de emisión diarios, no superarán los siguientes porcentajes de los valores límite de emisión:

- *Monóxido de carbono: 10%*
- *Dióxido de azufre: 20%*
- *Dióxido de nitrógeno: 20%*
- *Partículas totales: 30%*
- *Carbono orgánico total: 30%*
- *Cloruro de hidrógeno: 40%*
- *Fluoruro de hidrógeno: 40%*

8.2.2 Cálculo de las emisiones de gases

Se procede en este apartado a calcular las emisiones que se generarán en el sistema de cogeneración, conocidos los valores máximos que se pueden alcanzar establecidos en el apartado anterior.

El primer paso para calcular las emisiones es establecer las reacciones de combustión que se producen en cada uno de los componentes del rechazo de la planta de clasificación de envases ligeros, no obstante, este sería un proceso costoso y se puede simplificar representando el rechazo con una sola fórmula empírica ya que se conoce el

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

porcentaje en peso de cada uno de sus componentes. De esta manera solo se tendrá que plantear una reacción de combustión, resultado de la tabla 17 en la que se especifica el cálculo de la composición química del rechazo.

Tabla 17. Composición química en peso (%) del rechazo de la planta

Fuente: Tchobanoglous, G.,Theisen, H. y Vigil, S. A. (1998) "Gestión Integral de Residuos Sólidos"

Composición química en peso (%)								
Fracción	%C	%H	%O	&N	%S	%Cl	%Cenizas	Porcentaje en peso(%)
PET	85,2	14,2	0	0,1	0,1	0	0,4	23,3
PEAD	85,2	14,2	0	0,1	0,1	0	0,1	9,2
PEBD (film)	85,2	14,2	0	0,1	0,1	0	0,2	6,9
PVC	45,2	5,6	1,6	0,1	0,1	45,4	2	1
Resto de plásticos	60	7,2	22,8	0	0	0	10	5,3
Bricks	43	5,9	44,8	0,3	0,2	0	5	10,2
Vidrio	0,5	0,1	0,4	0,1	0	0	98,9	3,9
Papel/Cartón	43,4	5,8	44,3	0,3	0,2	0	6	3,9
Textiles	48	6,4	40	2,2	0,2	0	3,2	2,5
Restos de comida	48	6,4	37,6	2,6	0,4	0	5	13,5
Suciedad	26,3	3	2	0,5	0,2	0	68	15,6
Suma ponderada	55,1	8,4	13,9	0,6	0,2	0,5	16,6	100

Conociendo la composición química del rechazo, se pueden calcular los coeficientes de cada elemento y de esta manera ajustar la reacción de combustión. Para determinar los coeficientes se divide en primer lugar el porcentaje en peso de cada elemento entre su peso atómico, como se muestra a continuación:

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

$$\text{Fracción molar del elemento (Fm)} = \frac{\text{Porcentaje en peso del elemento}(\%)}{\text{Peso atómico(Pm)}} \quad \text{Eq(6)}$$

De esta manera se obtienen los valores de la tabla 18.

Tabla 18. Obtención de la fracción molar de cada elemento químico del rechazo

Elemento	Peso atómico (Pm)	Porcentaje en peso (%)	Fracción molar del elemento (Fm)
C	12,01	55,1	4,588
H	1,01	8,4	8,317
O	16	13,9	0,869
N	14,02	0,6	0,043
S	32,06	0,2	0,006
Cl	35,46	0,5	0,014

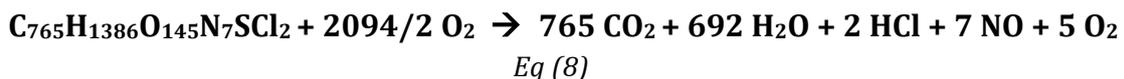
Una vez se tienen los datos anteriores correspondientes a las fracciones molares de cada elemento, para obtener su correspondiente coeficiente se divide cada uno de los resultados obtenidos entre el menor de ellos, en este caso el perteneciente al azufre (0,006).

$$\text{Coeficiente del elemento (Ce)} = \frac{\text{Fracción molar del elemento}}{\min(\text{fracción molar del elemento})} \quad \text{Eq(7)}$$

Tabla 19. Obtención del coeficiente de cada elemento químico del rechazo

Elemento	Fracción molar del elemento (Fm)	Coeficiente estequiométrico (Ce)
C	4,588	765
H	8,317	1386
O	0,869	145
N	0,043	7
S	0,006	1
Cl	0,014	2

De esta manera, ya se puede plantear la reacción química de combustión ajustada, siendo ésta la mostrada a continuación.



A continuación, también se debe determinar el peso atómico y número de moles del rechazo ya que el número de moles de cada compuesto formado en la combustión resultará de multiplicar su coeficiente por los moles del rechazo. El peso atómico del

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

rechazo se calcula como la suma de la multiplicación realizada para cada elemento del coeficiente por su peso atómico:

$$PM = \Sigma (Ce \times Pm) \left(\frac{g}{mol} \right) \quad Eq(9)$$

$$n \text{ rechazo} = \frac{1t \times (1 - \%cenizas) \times 10^6 \left(\frac{g}{t} \right)}{\text{Peso atómico}(Pm)} \left(\frac{mol}{t} \right) \quad Eq(10)$$

Así se obtiene un peso molecular de **13116,3 $\frac{g}{mol}$** y **63,6 número de moles** por tonelada de rechazo.

Finalmente, se puede obtener la masa(kg) de cada compuesto generado en la combustión por tonelada de combustible mediante las siguientes fórmulas:

$$n \text{ de cada compuesto} = Ce \times n \text{ rechazo} \quad Eq(11)$$

$$m(kg/t) = n \text{ de cada elemento} \times PM \quad Eq(12)$$

En la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 20. Obtención de la masa de cada compuesto por tonelada de combustible

Compuesto	n de cada elemento	m(kg/t)
CO ₂	48621,4	2139,8
H ₂ O	44000,9	792,0
HCl	127,2	4,6
NO	445,1	13,4
SO ₂	63,6	3,1

El compuesto generado con mayor abundancia es el CO₂, seguido del H₂O y el NO. Por otro lado, los componentes generados en una menor cantidad son el HCl seguido del SO₂.

No obstante, se debe comprobar que las cantidades emitidas cumplen con la legislación mencionada anteriormente, por ello los cálculos deben expresarse en unidades de concentración, es decir, mg/Nm³.

Para ello, se calculará el caudal de gases total en condiciones normales considerando un exceso de aire en la caldera del 20% y realizando la suposición de que todo el nitrógeno que entra al sistema es el que sale, pese a que parte del mismo se expulse en forma de óxidos.

De esta manera los moles de oxígeno de la reacción se calcularán como se indica en la ecuación 13.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

$$n_{O_2 \text{ reacción}} = n_{\text{ rechazo}} \times (2094/2) = 66589,2 \quad \text{Eq(13)}$$

Considerando un exceso de aire del 20% los moles de oxígeno en la entrada serán los moles de oxígeno en la reacción multiplicados por 1,2, lo que resulta un valor de 79907,04. Además, los moles de oxígeno en la salida se calculan como la diferencia entre los moles de oxígeno en la reacción y los de entrada, resultando un valor de 13317,84.

Para calcular el aire necesario se utiliza el dato del oxígeno de entrada sabiendo que éste es un 21% del aire. Una vez conocidos los moles de aire, se pueden determinar los moles de nitrógeno ya que éste representa el 79% del aire.

La tabla 21 muestra un resumen de todos los cálculos mencionados.

Tabla 21. Moles del O₂ y el N₂

Elemento	Moles
O₂ reacción	66589,2
O₂ entrada	79907,04
O₂ salida	13317,84
Aire entrada	380509,71
N₂ entrada= N₂ salida	300602,67

Para obtener las concentraciones de los compuestos en las unidades específicas (mg/Nm³) que nos permita realizar una comparación con la legislación se obtiene en primer lugar, los kmol/t de cada compuesto dividiendo su masa m(kg/t) entre su peso molecular. De esta manera y conociendo que en condiciones normales 1mol es igual a 22'4L se obtienen los Nm³/t de cada compuesto Además conociendo el caudal total de gas de salida se obtiene finalmente la concentración.

Los resultados se muestran en la tabla 22.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Tabla 22. Cálculo de la concentración de los compuestos

Compuesto	n de cada elemento	m(kg/t)	kmoles/t	Nm ³ /t	mg/Nm ³
CO ₂	48621,4	2139,8	48,6	1089,4	234612,2
H ₂ O	44000,9	792,0	44,0	985,6	86837,2
HCl	127,2	4,6	0,1	2,8	508,4
NO	445,1	13,4	0,4	10,0	1465,0
SO ₂	63,6	3,1	0,0	1,1	335,1
O ₂	13317,84	213,1	6,7	298,3	23362,8
N ₂	300602,67	8416,9	300,6	6733,5	922832,4
TOTAL (Nm³/t)	9120,7				

El valor del SO₂ se encuentra por debajo del límite establecido por la legislación y por ello no se incidirá en utilizar ningún equipo para su reducción.

No obstante la concentración de óxidos de nitrógeno (NO) supera el límite establecido. Por ello, debe utilizarse un equipo con rendimiento de, al menos, 42% para resolver este problema y adecuarse a la legislación.

Para ello, se utilizará una reducción no catalítica selectiva (RNCS) ya que es una tecnología capaz de reducir los NO_x mediante amoníaco (NH₃), un exceso de oxígeno y un catalizador. Este método tiene una buena eficiencia y consigue transformar los óxidos de nitrógeno en otras sustancias como nitrógeno o agua, por ello es la tecnología que usualmente utilizan las industrias cuando quieren reducir los NO formados.

8.2.3 Cálculo de las emisiones de CO₂

En cuanto a las emisiones de CO₂ , es la Unión Europea la que establece los límites permitidos para cada país y de esta manera el país distribuye este valor entre los diferentes sectores que producen emisiones de CO₂. Esta distribución sectorial de las emisiones se denomina los derechos de emisión según el sector y además dentro de cada sector se reparten entre las diferentes empresas que forman cada uno de ellos.

Los derechos de emisión son regulados por la ley 1/2005, de 9 de Marzo, *por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero*. Dicha ley justifica la creación y aprobación, mediante real decreto, de los denominados "Planes de asignación de derechos de emisión" [31]

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Un plan de asignación de derechos de emisión establece los derechos de emisión fijados para España en un periodo determinado y cual es la manera de asignar dichos derechos de emisión para cada empresa. Además, también determina si se realiza una reserva de derechos enfocada a un aumento en la capacidad de la instalación actual o para instalaciones que se construyan posteriormente, con su consiguiente regulación sobre la gestión de las mismas.

Los planes de asignación de derechos de emisión que se han creado en España son los siguientes:

- Plan Nacional de asignación de derechos de emisión (2005-2007).
- Plan Nacional de asignación de derechos de emisión (2008-2012).
- Plan Nacional de asignación de derechos de emisión (2013-2020).

El plan vigente (2013-2020), es el resultado de la modificación del artículo 17 de la Ley 1/2005, de 9 de Marzo por la Ley 13/2010, de 5 de julio, en la cual se introducen los cambios generados a nivel Europeo por la Directiva 2009/29/CE., enfocados principalmente al establecimiento a nivel comunitario de una asignación gratuita como principal metodología.

No obstante, pese a que el proceso de asignación gratuita de derechos de emisión ha sido el último aprobado, no se encuentra todavía desarrollado e implantado, por ello se trabajará con el Plan Nacional de asignación de derechos de emisión correspondiente al periodo anterior, 2008-2012.

Dicho Plan (2008-2012), contiene como objetivo fundamental que no se produzca un aumento de más del 37% de las emisiones procedentes de gases de efecto invernadero respecto a las emitidas en el año base multiplicadas por cinco, durante el periodo vigente del Plan. Por otro lado, la asignación de los derechos de emisión se realiza de manera diferente según el sector pertenezca al ámbito industrial o de generación eléctrica.

A continuación se mencionará la cantidad total establecida en dicho Plan y las cantidades referentes para cada sector e instalación, así como la reserva de la misma. [32]

En la figura 23, se detalla la asignación referente a las instalaciones de combustión dependiendo de la potencia nominal de las mismas:

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Sector	Emisiones							Asignación		
	1990	2000	2001	2002	2005	Promedio 2000-2005		Asignación efectiva en 2005 ¹¹	Asignación Promedio anual 2005-2007	Asignación Promedio anual 2008-2012
	Mill. Tm CO ₂	PM/90	Mill. Tm CO ₂	Mill. Tm CO ₂	Mill. Tm CO ₂					
1. Instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20 MW, incluyendo:										
a) Instalaciones de producción de energía eléctrica de servicio público. ¹²	61,61	86,77	81,26	95,95	101,24	91,30	48,2%	86,250	85,400	54,053
Total instalaciones de los epígrafes 1 b) y 1 c) de la Ley 1/2005	12,50	14,23	14,45	16,63	20,43	16,43	31,5%	15,997	23,136	17,158
b) Instalaciones de cogeneración con independencia del sector en el que den servicio (exceptuando los sectores enumerados en los epígrafes 2 a 9 del anexo I de la Ley 1/2005).		9,24	9,25	10,93	10,69	10,03			13,001	11,800
c) Otras instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20 MW no incluidas en los apartados 2 a 9. ¹³		4,99	5,20	5,70	9,74	6,41			10,135	5,358

Figura 23.Asignaciones según sector.
Fuente: Boletín Oficial del Estado [32]

Además, específicamente para una instalación de combustión, se puede consultar el acuerdo del consejo de ministros en la reunión del 2 de Noviembre de 2007, en la que se aprobó la asignación individual de derechos de emisión para las diferentes instalaciones que formaban parte del Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, para observar cual es la asignación pertinente según el año.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

ANEXO

Listado de instalaciones y asignaciones

Código	Instalación	Localidad	Comunidad Autónoma	Sector	Asignación (derechos)				
					2008	2009	2010	2011	2012
ES012301000015	Aceites Coosur, S.A.	Vilches (Jaén)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	61.821	61.821	61.821	61.821	61.821
ES011105000075	Acerinox, S.A.	Algeciras (Cádiz)	Andalucía	Industria: siderurgia	278.698	278.698	278.698	278.698	278.698
ES012908000960	AG Tecno Tres, S.A.	Alameda (Málaga)	Andalucía	Industria: tejas y ladrillos	41.863	41.863	41.863	41.863	41.863
ES012309000063	Alabe Mengibar A.I.E.	Mengibar (Jaén)	Andalucía	Industria: pasta y papel	113.907	113.907	113.907	113.907	113.907
ES014106000002	Andaluz de Cales S.A.	Morón de la Frontera (Cádiz)	Andalucía	Industria: cal	201.666	201.666	201.666	201.666	201.666
ES012101000016	Atlantic Copper	Huelva	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	35.707	35.707	35.707	35.707	35.707
ES011101000017	Azucarera de Guadalquivir	Jerez de la Frontera (Cádiz)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	53.489	53.489	53.489	53.489	53.489
ES011101000018	Azucarera de Guadalete	Jerez de la Frontera (Cádiz)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	59.037	59.037	59.037	59.037	59.037
ES014101000019	Azucarera de la Rinconada	La Rinconada (Sevilla)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	56.263	56.263	56.263	56.263	56.263
ES014101000020	Azucarera Energías Becosa Biomasa Fuente de Piedra S.A.U.	La Rinconada (Sevilla)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	59.036	59.036	59.036	59.036	59.036
ES4 2321	Becosa Fuente de Piedra, SAU	Fuente de Piedra (Málaga)	Andalucía	Generación: biomasa	5.406	5.406	5.406	5.406	5.406
ES012901000022	Becosa Fuente de Piedra, SAU	Fuente de Piedra (Málaga)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	62.560	62.560	62.560	62.560	62.560
ES014101000023	Becosa Moron, SAU	Morón de la Frontera (Sevilla)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	37.736	37.736	37.736	37.736	37.736
ES014101000024	Bética de Cogeneración 1 SAU	La Luisiana (Sevilla)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	15.410	15.410	15.410	15.410	15.410
ES014101000025	Bética de Cogeneración 3 SAU	La Roda de Andalucía (Sevilla)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	18.480	18.480	18.480	18.480	18.480
ES011401000026	Bioenergética Egabrense, S.A.	Córdoba	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	52.676	52.676	52.676	52.676	52.676

Figura 24. Listado de instalaciones y asignaciones.

Fuente: Boletín Oficial del Estado [32]

De esta manera, conociendo las cantidades asignadas a una instalación similar a la nuestra, se utilizarán las mismas para realizar una comparación con las toneladas de dióxido de carbono emitidas en el sistema de cogeneración, para poder visualizar si los valores son similares a los determinados según la figura 24.

Para calcular las emisiones de dióxido de carbono emitidas por el sistema de cogeneración, se parte de las toneladas emitidas de dióxido de carbono por tonelada de combustible, es decir las 2139,8 kg/t al día. Considerando que la central funciona sin interrupción y los días que está en funcionamiento, el valor final anual sería de 513552 kg/t.

Dicho valor es menor al establecido en la ley; por ello, no se deberá tomar ninguna medida adicional para ajustarse al mismo. No obstante, si las emisiones de CO₂ emitidas anualmente por la planta sobrepasasen el valor admitido legalmente se contemplaría la opción de compra de derechos de emisión a otra empresa que no sobrepasase el límite que marca la ley. Esto conllevaría un gasto económico adicional a tener en cuenta en el momento de realizar el presupuesto total del proyecto.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

8.2.4 Cálculo de las emisiones de partículas

Otro de los análisis que se debe hacer es el estudio de las partículas sólidas emitidas en el proceso de combustión. Estas partículas se emiten principalmente debido a que parte de las cenizas son arrastradas por los gases de combustión. Por ello para cuantificar el número de partículas emitidas se calcularán las cenizas formadas en el proceso de combustión.

Una vez calculadas las toneladas de cenizas se realizará la estimación de que un 10% de las mismas se emiten en forma de partículas sólidas arrastradas por los gases de combustión. De esta manera se podrá estimar la concentración (mg/Nm^3) de partículas emitidas.

El porcentaje de cenizas en el rechazo es del 16,6% como se puede observar en la tabla 18. Puesto que se forman 12,1 toneladas de rechazo al día y las cenizas representan el 16,6% del mismo, resultan 2 toneladas diarias de cenizas formadas. Además, ya que se ha estimado que el 10% de este valor se desprende en forma de partículas sólidas, finalmente, las partículas emitidas diariamente son 0,2 toneladas.

Utilizando el dato de $9120'7 \text{ Nm}^3/\text{t}$ calculado anteriormente, se puede determinar la concentración de las partículas en las unidades en las que se encuentra el límite establecido por la legislación que como puede observarse en la tabla 16 es $50 \text{ mg}/\text{Nm}^3$. De esta manera resulta una concentración de $1800 \text{ mg}/\text{Nm}^3$. Por ello se deberá utilizar un equipo de tratamiento y reducción de partículas para adecuar el valor al límite establecido.

El rendimiento que debe poseer el equipo debe ser como mínimo de un 97% como puede observarse en la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{1800 - 50}{1800} \times 100 = 97\% \quad \text{Eq(14)}$$

Por ello, el equipo elegido es el precipitador electrostático, ya que dicho equipo posee un rendimiento del 97 al 99,9% y por tanto, se conseguiría el objetivo de reducir las partículas al valor límite aceptado por la ley. Además, la temperatura de los gases no supone ningún problema, a diferencia de los filtros de tela.

El funcionamiento del precipitador electrostático consiste en la ionización de las partículas utilizando una carga electrostática inducida. De esta manera las partículas quedan atrapadas en su interior.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

8.3 Análisis del sistema de producción de energía en la planta de clasificación de envases.

8.3.1 Ubicación

El sistema no puede situarse en el interior de la planta de clasificación de envases ya que no se dispone del espacio suficiente para su implantación.

No obstante, se dispone de terreno en los alrededores de la planta en el cual instalar las naves necesarias para la producción de electricidad y calor. Se ha elegido este terreno por la cercanía con la planta de clasificación de envases, hecho que facilita notablemente la conexión con la misma.

Se ha estimado que la superficie total debe ser en torno a 300m² para poder construir las naves necesarias y los equipos a utilizar.



Figura 25.Localización del sistema de cogeneración

Fuente: Google maps

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

8.3.2 Descripción de la instalación y maquinaria

El primer paso es el tratamiento del rechazo de la planta de clasificación de envases. Los residuos deben ser triturados por medio de una trituradora para ser posteriormente incinerados. El término gasificación se utiliza cuando el residuo se transforma en un gas que es combustible.

A partir del gas generado en el proceso de combustión, se generará la electricidad para abastecer parte de la demanda eléctrica de la planta de clasificación de envases.

Por ello se puede dividir la instalación en dos sistemas:

a) Sistema de combustión

Se utiliza para transformar el rechazo de la planta en un gas que pueda utilizarse en la turbina. Consiste en diversas reacciones termoquímicas que permiten gasificar los residuos con un rendimiento en torno al 80%. Además, los residuos han debido de ser triturados anteriormente ya que los sistemas de gasificación precisan de un determinado tamaño de partícula que no debe tener un diámetro inferior a 2 ó 3 mm. Por otro lado, se pueden utilizar catalizadores en el caso de querer provocar algunas reacciones con el objetivo de facilitar la formación de algún compuesto específico. Según el gas de síntesis utilizado y el proceso de gasificación el gas final creado tendrá diferentes propiedades y composición. Las etapas en las que se divide el proceso de gasificación son las siguientes:

- Secado: Calentamiento a aproximadamente 100C que provoca la evaporación del agua contenida en el residuo. El porcentaje de humedad del rechazo es bajo por lo que facilitará dicha etapa.
- Pirólisis: Durante esta etapa se alcanzan temperaturas entre 300°C y 500°C donde se expulsan los gases combustibles más volátiles mediante descomposición térmica.
- Reducción: Se trata de unas reacciones producidas en paralelo con la etapa siguiente (oxidación) como resultado de la combinación entre el vapor de agua generado en el secado y el dióxido de carbono generado en la última etapa.
- Oxidación: En esta zona, se produce la oxidación de la fracción más pesada con el agente gasificante. [33]

La zona de gasificación estaría compuesta por el gasificador o reactor donde se producirían las reacciones descritas anteriormente y el tratamiento de limpieza y adecuación del gas generado.

En este trabajo se va a considerar que toda la masa de rechazo generada en la planta se transforma en gas de síntesis y, por ello, los productos de la combustión son los mismos y las emisiones generadas también. Ya que esta suposición no es completamente realista, se va a considerar para realizar los cálculos en cuanto a términos de potencia de la central que el poder calorífico del rechazo disminuya en

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

un 20% al calculado anteriormente para tener en cuenta las pérdidas energéticas que sufre el combustible en el proceso de gasificación.

b) Sistema de producción de electricidad

Una vez transformado y adecuado el rechazo de la planta según el sistema de gasificación descrito anteriormente ya puede ser utilizado como combustible en el proceso de generación eléctrica.

La planta de generación de electricidad está compuesta por un sistema turbina de gas.

En primer lugar, se produce una compresión de aire en el compresor (aumentando su presión y temperatura) y unido con el combustible en la cámara de combustión se produce la combustión de la mezcla.

Los gases producidos por la combustión se introducen en la turbina de gas donde se expanden hasta la presión atmosférica. La turbina se encuentra conectada a un alternador que convierte la energía mecánica producida por la turbina en energía eléctrica. Los gases de escape se encuentran a una temperatura muy alta, en torno a los 600°C.

La maquinaria a utilizar es la siguiente:

- Turbina de gas, que a su vez está compuesta por:
 - Compresor: Aumenta la presión del aire antes de entrar a la cámara de combustión, comprimiendo el mismo antes de ser mezclado con el combustible.
 - Cámara de combustión: En la que se produce la combustión del aire con el combustible.
 - Turbina de gas: Es el elemento motor en el que se produce la energía mecánica. En ella se conducen los gases de la combustión a muy alta temperatura (superior a los 1200°C) transformando en energía mecánica de rotación.
- Generador eléctrico: Es el elemento que aprovecha y transforma la energía mecánica mediante el movimiento rotativo de un eje generando así la energía eléctrica. El generador eléctrico está compuesto por los siguientes elementos:
 - Sistema de arranque
 - Sistema de excitación
 - Sistema de refrigeración de bobinados y lubricación.
- Sistema de control : Son los elementos que garantizan el correcto funcionamiento de la planta, así como la prevención y alerta en caso de fallo o avería en alguno de los equipos presentes. El sistema de control es fundamental en la central ya que coordina todos los procesos y sistemas restantes. Algunos de los elementos que componen el sistema de control son cables, señales, relés, .etc.
- Sistema eléctrico: Es el encargado de alimentar los equipos de la planta con la electricidad generada en el alternador. Además la planta también debe estar

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

conectada a la red para consumir electricidad de la red durante los momentos previos al arranque o en caso de fallo.

- Otros sistemas: Otros sistemas como por ejemplo el sistema de ventilación o el sistema de tratamiento de los gases de escape. [34]

Se debe incidir en que lo primero que se debería realizar es un estudio sobre la viabilidad económica visualizando así el periodo de retorno de la implementación de la instalación de cogeneración.

De esta manera, si el periodo de retorno de la inversión es aceptable, se pasaría al estudio de la viabilidad técnica.

No obstante, el proceso empleado en este caso va a ser el inverso ya que se trata de un estudio energético sobre la posible introducción del sistema en la planta y más tarde se realizará una estimación en el coste total que supondría la implantación del mismo.

8.3.3 Control y regulación

Por un lado el sistema de cogeneración deberá estar diseñado para suministrar una potencia acorde a las necesidades de la planta de clasificación de envases así como la potencia calorífica necesaria.

Pese a que la generación eléctrica autónoma de la planta genera grandes beneficios económicos a largo plazo también presenta la dificultad de que la planta deberá contar con un sistema auxiliar conectado a la red eléctrica que asegure el suministro en caso de fallo. No obstante, para que no se produzca una interrupción en el suministro de electricidad se deberá realizar un control sobre la tensión y la frecuencia en el generador eléctrico.

A continuación, se citarán los principales equipos y las magnitudes que respectivamente se tienen que controlar para garantizar un correcto y continuado funcionamiento.

- Turbina de gas: Los principales parámetros que deben controlarse son la velocidad en el eje de la turbina, la temperatura de gases de combustión y la temperatura de los gases de escape. Para ello, se utiliza una válvula de ajuste del gas que entra al quemador de la turbina. Además, y debido a las altas temperaturas que se generan tanto en los gases de combustión como en los gases de escape es conveniente utilizar termopares para controlar dichas temperaturas.
- Generador eléctrico: Puesto que el generador asíncrono es el más idóneo para instalaciones de pequeña y mediana potencia, como es nuestro caso, se utilizará este tipo ya que se reduce la dificultad en el control y automatización del mismo. El parámetro que debe controlarse es la potencia activa entregada y el elemento responsable de su control es la válvula de gas. Además, otra de las protecciones que debe realizarse es la temperatura máxima alcanzada en los bobinados mediante sensores en el interior del generador eléctrico.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Además, en el proceso de arranque debería comprobarse lo siguiente:

- Condiciones requeridas de presión en la entrada de la turbina
- Sistema de control activado
- Sistema de lubricación y auxiliares en funcionamiento
- Control químico de la composición del gas. [35]

8.3.4 Producción de electricidad

Una vez calculado el poder calorífico inferior del rechazo (tabla 14), se puede obtener la energía disponible en el rechazo (kW) multiplicando dicho poder calorífico por la masa total que compone el rechazo.

De esta manera, al calcular la energía disponible en el rechazo se podrá cuantificar qué cantidad puede transformarse en energía eléctrica teniendo en cuenta los rendimientos de los equipos.

Así, se obtendrá la cantidad de energía eléctrica obtenida a partir del rechazo que se utilizará íntegramente en cubrir parte de la demanda eléctrica de la planta de clasificación de envases.

Teniendo en cuenta que el poder calorífico inferior del rechazo es de 5879,2 kcal/kg y que se ha considerado que un 20% del mismo se pierde en el proceso de gasificación, resultando un valor de 4703,36 kcal/kg.

Por otro lado, la masa que representa el mismo es de 12,1 t/día, por ello, se puede calcular la energía total disponible en los residuos multiplicando ambos valores, como se presenta en la tabla 23.

Tabla 23. Energía disponible en el rechazo de la planta de clasificación de envases

PCI rechazo (kcal/kg)	Masa rechazo (t/día)	Potencia disponible (kW) (F)
4703,36	12,1	2753,31

El rendimiento típico de una turbina de gas se encuentra en torno a un 35%, por ello, la potencia generada es de **963,7 kW**.

Como se sabe que la central trabajaría 12 horas al día, resulta una energía de **11563,9 kWh**.

El consumo eléctrico por parte de la planta de tratamiento de envases es de 407,4 Mwh/mes. Si se sabe que está operativa 20 días al mes, resulta una energía consumida de **20370 kWh**.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Por ello, el sistema turbina de gas es capaz de proporcionar gran parte del consumo eléctrico de la planta de tratamiento de envases, específicamente un **56%**. Además, este sistema se utiliza para potencias medias como es este caso y por ello resulta viable para nuestra instalación. No obstante, tiene el inconveniente de que no se produce ningún uso útil con los gases de escape expulsados por la turbina de gas, hecho que disminuye el rendimiento de la instalación global e impide la realización de cogeneración.

8.4 Estudio comparativo con la instalación de un ciclo combinado.

8.4.1 Descripción de la instalación y maquinaria

A continuación se va a realizar un estudio sobre la implantación de un ciclo combinado como sistema de generación eléctrica en lugar del sistema turbina de gas, ya que de este modo se podrán utilizar los gases de escape de la misma para calentar vapor de agua.

El inconveniente de esta central es que se utiliza para potencias mayores a la que puede proporcionar el combustible de la planta de tratamiento de envases y supondría unos costes tanto económicos como técnicos muy superiores a los anteriores.

No obstante, se realiza el estudio ya que puede contemplarse la opción de aumentar el rechazo utilizado, recibiendo los rechazos de otras plantas de tratamiento de envases ligeros dirigidas por la empresa Vaersa. Este hecho supondría un aumento en la potencia de la central considerable y puede que en este caso este proyecto sí que fuese viable.

Una central de ciclo combinado consta de dos procesos termodinámicos mediante los cuales se obtiene la energía eléctrica requerida uno de ellos correspondiente a la combustión producida en la turbina de gas (ciclo Brayton) y el otro el que se produce en una turbina de vapor (ciclo Rankine).

En este caso los gases de escape de la turbina de gas, se utilizan para calentar agua y producir vapor, proceso llevado a cabo en una caldera de recuperación. En esta caldera se extrae la mayor parte de la energía térmica de los gases de escape. Finalmente el vapor de agua generado al calentar el agua por los gases se utiliza para generar electricidad mediante una turbina de vapor conectada también al alternador.

Se ha determinado acoplar las dos turbinas al mismo eje ya que se debe tener en cuenta que el acoplamiento de las turbinas al mismo eje disminuye el coste de la instalación al no tener que disponer de dos alternadores diferentes, uno para cada turbina y minimiza el espacio requerido de la instalación

La planta de ciclo combinado es una optimización de la del ciclo simple, ya que se produce una mejora de la instalación puesto que se genera un incremento tanto de la energía eléctrica generada como de la relación calor/electricidad.

Las principales ventajas del ciclo combinado son la flexibilidad de operación, pudiendo funcionar fácilmente a plena carga o a carga parcial (no disminuyendo más de un 45% de

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

su potencia máxima); el ahorro energético conseguido, ya que se consume la misma cantidad de combustible generando una mayor cantidad de energía eléctrica; la obtención de rendimientos muy superiores a los de una central convencional (en torno a un 60% frente a un 35%); y la utilización de una menor cantidad de agua de refrigeración (en torno a un tercio) que en las centrales convencionales ya que ésta solo se utiliza para condensar el vapor.

El vapor que sale de la turbina de vapor se condensa mediante un condensador que utiliza como foco frío aire o agua, siendo recirculado una vez condensado por una bomba hasta la caldera de recuperación para que vuelva a producirse el ciclo .

La maquinaria a utilizar en una central de ciclo combinado se compone de los siguientes elementos adicionales al sistema turbina-gas descrito anteriormente.

- Turbina de vapor: Utiliza el vapor de agua generado en el intercambio de calor con los gases de escape de la turbina de gas para accionar el generador eléctrico y de esta manera producir electricidad. Normalmente está dividida en etapas según la presión a la que se recibe el vapor. El vapor expulsado de la turbina de vapor tiene una temperatura de unos 100°C y se encuentra a presión atmosférica.
- Caldera de recuperación de calor: En este elemento se produce un intercambio de calor entre los gases de escape procedentes de la turbina de gas y el agua saliente del condensador. La caldera de recuperación tiene una doble función: por un lado disminuir la temperatura de los gases de escape para no ser expulsados a tan alta temperatura y por otro utilizar el vapor de agua creado en la turbina de vapor para producción de electricidad. Normalmente existen diferentes niveles de presión en la caldera: vapor de alta (aproximadamente 120 bares), vapor de media (aproximadamente 25 bares) y vapor de baja (aproximadamente 4 bares). En los ciclos combinados se suelen utilizar calderas acuotubulares y están formadas por tres elementos:
 - Economizador: Recibe el agua a la salida de la bomba. El agua aumenta su temperatura pero no se produce un cambio en la fase de la misma ya que no llega al punto de evaporación y es conducida hacia el calderín.
 - Evaporador: Durante esta fase el agua es conducida desde el calderín al evaporador donde recibe calor hasta que es evaporada.
 - Sobrecalentador: En el sobrecalentador se aumenta la temperatura del vapor generado con el objetivo de que no se produzcan gotas de agua en la entrada de la turbina de vapor, ya que al aumentar la temperatura del vapor se aleja la misma de la temperatura de saturación.
- Condensador: Es el elemento que se emplea para disminuir la temperatura del vapor a la salida de la turbina de vapor, consiguiendo una condensación del mismo. El principio de funcionamiento es otro intercambio de calor entre un

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

fluido refrigerante que circula por el condensador y el vapor de agua cedido por la turbina de vapor.

- Sistema de refrigeración: Se ha optado por un sistema de refrigeración por captación directa. Este sistema está equipado por una tubería de captación de agua que utiliza agua de caudal público para enfriar el vapor de agua entrante al condensador. El inconveniente de este sistema es que el agua captada sufre un salto térmico aumentando su temperatura y debe ser desechada por una balsa y que se necesitan grandes caudales de agua en contraposición a la instalación de una torre de refrigeración. Por ello, no se descarta la opción de instalación de una torre de refrigeración si finalmente resultara más atractiva para nuestro proyecto. [36]

Además debería tenerse en cuenta la instalación eléctrica, formada por todos los cables, contadores eléctricos y los elementos descritos en el sistema turbina de gas anterior.

8.4.2 Producción de energía eléctrica en el ciclo combinado

La figura 26 muestra el esquema típico de una central de ciclo combinado en cuanto a la distribución de la energía total del combustible.

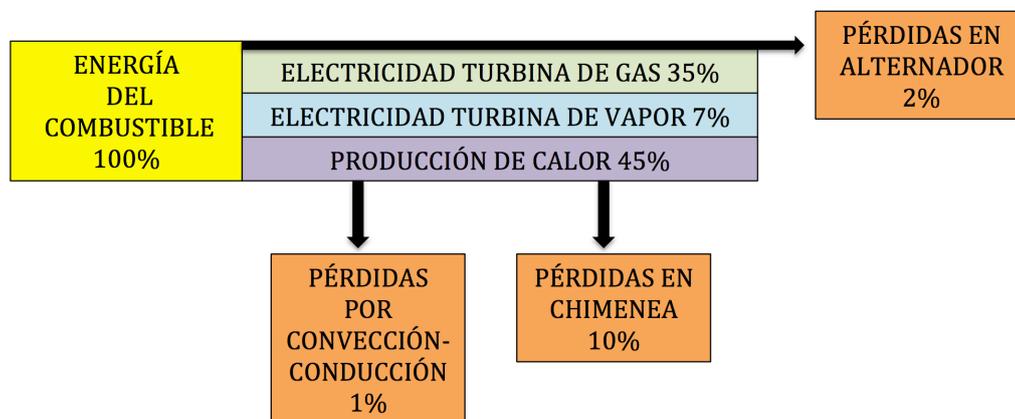


Figura 26. Diagrama de Sankey una planta de cogeneración de ciclo combinado
Fuente: “Cogeneración: Diseño, Operación y Mantenimiento de plantas”. [35]

En el caso de la planta de clasificación de envases, la potencia disponible es 2753,31 kW. Si se emplean los porcentajes indicados en la figura 26 resulta la tabla 24.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Tabla 24. Potencia obtenida a partir de la totalidad de la energía contenida en el combustible

Elemento	Potencia (kW)
Electricidad en turbina de gas	963,7
Electricidad en turbina de vapor	192,7
Producción de calor	1238,9
Pérdidas por convección-conducción	27,5
Pérdidas en chimenea	275,3
Pérdidas en alternador	55,1

Por tanto, la potencia obtenida finalmente para los usos descritos, se muestra en la tabla 25.

Tabla 25. Potencia útil según uso

Uso	Potencia(kW)
Generación de electricidad (W)	1156,4
Generación de calor (Q)	1238,9

Con los datos anteriores se pueden cuantificar los parámetros esenciales en una central de ciclo combinado.

- Rendimiento eléctrico:

$$\eta_e = \frac{W}{F} = 42\% \quad Eq(15)$$

- Rendimiento térmico:

$$\eta_t = \frac{Q}{F} = 45\% \quad Eq(16)$$

- Rendimiento calor/electricidad:

$$RCE = \frac{Q}{W} = 1,07 \quad Eq(17)$$

- Rendimiento eléctrico equivalente:

$$REE = \frac{W}{F - \frac{Q}{0,9}} = 84\% \quad Eq(18)$$

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

- Rendimiento global:

$$\eta_g = \frac{W+Q}{F} = \eta_e + \eta_t = 87\% \quad Eq(19)$$

Como puede observarse, en este caso el rendimiento global es muy superior al de el sistema turbina de gas ya que se produce electricidad mediante dos turbinas y se aprovecha la energía térmica de los gases de escape de la turbina de gas.

En este caso, la potencia eléctrica generada sería de **1156,4 kW**, resultando una energía de **13876,8 kWh**, cubriendo de esta manera un **68%** del consumo eléctrico de la planta.

8.4.3 Aprovechamiento de la energía térmica contenida en los gases a la salida de la caldera de recuperación.

Con el objetivo de utilizar la energía térmica generada en el proceso anterior se podría plantear la opción de un secado térmico. Este sistema tiene el principal objetivo de incrementar el poder calorífico del combustible mediante la reducción del contenido de agua del mismo, es decir, disminuir la humedad, utilizando, como se ha mencionado, la energía calorífica que contienen los gases de escape producidos en la caldera.

Para ello, se distribuye el material en una superficie en la cual se hacen circular a contracorriente los gases expulsados en la caldera de recuperación. De esta manera, el material es calentado con la ventaja mencionada y los gases se enfrían disminuyendo así su temperatura, otro hecho favorable ya que se disminuye el impacto que crearían si fuesen expulsados a la temperatura de salida de la caldera de recuperación.

Este proceso debería ser estudiado con exactitud ya que es un proceso costoso desde el punto de vista técnico. En primer lugar, porque cambiaría la propiedades del combustible y, en segundo lugar, se debería analizar si los gases de escape son idóneos para calentar el combustible.

9. Conclusiones

Una vez realizado el estudio se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- A pesar de que actualmente se está fomentando la recogida selectiva, la disposición de los residuos en un vertedero controlado es un problema actual al que hay que hacer frente, ya que en torno al 60% de los residuos en España se destinan al mismo.
- Este porcentaje supone una falta de cumplimiento respecto a los porcentajes que marca la UE para conseguir un desarrollo sostenible.
- Este trabajo pretende plantear una solución a este problema de manera que no solo se frene el porcentaje de residuos destinados a los vertederos controlados sino que se pueda obtener algún beneficio energético. Para ello, se ha estudiado la implantación de un sistema turbina-gas y de un ciclo combinado en una planta de clasificación de envases utilizando el rechazo de la misma como combustible.
- En primer lugar, se ha determinado la composición del rechazo de la planta ya que se conocía la composición y cantidad de los residuos de entrada y los rendimientos de los equipos presentes.
- Una vez conocido tanto la composición como las toneladas de rechazo que se generan en la planta, se ha procedido a analizar y determinar parámetros fundamentales tanto químicos como físicos tales como la humedad, el poder calorífico, la densidad o la granulometría.
- Además, se han plasmado todos los acuerdos y leyes relacionados con el objetivo de conseguir un desarrollo sostenible
- También se han calculado las emisiones de gases que se generarían en la combustión del rechazo y se ha comparado con los límites establecidos. De esta manera se ha podido observar si se encuentran por encima del límite y es necesario utilizar un equipo de depuración de gases.
- En cuanto a la instalación propuesta para utilizar el rechazo de la planta para producir electricidad se han propuesto dos opciones con sus respectivas ventajas e inconvenientes
- En primer lugar, la instalación de una central de turbina de gas, tiene la ventaja de que se ajusta más a la potencia que se puede obtener del combustible y está compuesta por menos elementos que la segunda opción planteada, por ello el coste de implantación sería menor. No obstante, tiene el inconveniente de no poder utilizar los gases de escape para un fin útil en la planta de clasificación de envases,;por ello, no se podría realizar cogeneración y el rendimiento de la instalación sería menor al segundo caso.
- En segundo lugar, se ha estudiado la implantación de un ciclo combinado capaz de producir cogeneración. En este caso la potencia eléctrica generada es mayor al disponer de dos turbinas y se puede utilizar la energía térmica de los gases de escape de la turbina de gas. Sin embargo el coste de implantación sería mucho mayor y, además, este tipo de centrales se utilizan con potencias mayores a la que se dispone del combustible. No obstante, se ha realizado el estudio ya que se ha planteado la opción de recibir el rechazo de otras plantas de tratamiento de

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

envases gestionadas por la empresa Vaersa de manera que se aumente la potencia de la planta.

- Una vez calculados los rendimientos y el ahorro anual que supondría la implantación de la central se procede a calcular el presupuesto total visualizando así el periodo de amortización y, por consiguiente, la viabilidad económica del trabajo.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

10. Referencias bibliográficas

- [1] Olga Abasolo, "Consumo y estilos de vida". Recursos didácticos para convivir y perdurar. 24/09/2013.
<http://tiempodeactuar.es/blog/consumo-y-estilos-de-vida/>
- [2] "Los residuos urbanos y su problemática". Gestión y tratamiento de los residuos urbanos. Biblioteca UNED.
<http://www2.uned.es/biblioteca/rsu/pagina1.htm>
- [3] https://es.wikipedia.org/wiki/Econom%C3%ADa_circular
- [4] "Biomasa y economía circular en España" Master en Energías renovables y Mercados Energéticos. 11/03/2017.
<http://www.eoi.es/blogs/merme/biomasa-economia-circular-en-espana/>
- [5] "Apoyar el cambio hacia una economía eficiente en el uso de los recursos". Economiacircular.org.
http://economiacircular.org/wp/?page_id=62
- [6] Ley 22/2011, de 28 de Julio, de residuos y suelos comtaminados.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-13046>
- [7] "Soluciones globales para el reciclaje". Recytrans. 09/07/2013.
<http://www.recytrans.com/blog/jerarquia-de-residuos/>
- [8] <http://espanarecicla.es/sig/>
- [9] "El sistema de retorno de envases". Ecologistes de Catalunya. Retorna.org.
<http://www.retorna.org/es/elsddr/propuesta.html>
- [10] "El sistema de retorno de envases". Ecologistes de Catalunya. Retorna.org.
<http://www.retorna.org/es/elsddr/propuesta.html>
- [11] Memoria anual de generación y gestión de residuos. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/memoriaanualdegeneracionygestionderesiduosresiduosdecomp etenc2_tcm7-447278.pdf
- [12] Barómetro de reciclaje de envases y de recogida selectiva. Ecoembes.
<https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/envases-y-proceso-reciclaje/reciclaje-en-datos/barometro>

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

[13] Objetivos de desarrollo sostenible. 17 objetivos para transformar nuestro mundo. Organización de las Naciones Unidas.

<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

[14] Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de Noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-82319>

[15] “Un plan de acción de la UE para la economía circular”. Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Bruselas, 2/12/2015.

http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0011.02/DOC_1&format=PDF

[16] Plan Nacional Integrado de Residuos, 2008-2015 (PIR). Informe de Sostenibilidad Ambiental (ISA).

http://www.lamoncloa.gob.es/espana/eh15/medioambiente/Documents/ISA_PNIR_26_1_1_2007.pdf

[17] Ley 22/2011, de 28 de Julio, de residuos y suelos contaminados. Publicado en BOE núm.181.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-13046>

[18] Planes y Programas. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

<http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/planes-y-programas.aspx#para2>

[19] Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

<http://www.mapama.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/default.aspx>

[20] Decreto 81/2013, de 21 de Junio, del Consejo, de aprobación definitiva del Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana (PIRCV). Consellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente.

<http://www.agroambient.gva.es/documents/20549779/92789153/PIRCV/d1f9f607-ed36-4437-a3a7-ded32dd9f6a1>

[21] Plantas de selección de envases ligeros. Ecoembes.

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

[22] <https://www.tupperware.es/productos/todo-lo-que-necesitas-saber/consejos>

[23] “Tipos de envases de plástico”. Reciclaygas. 26/08/2014.

<http://www.reciclaygas.com/tipos-de-envases-de-plastico/>

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

[24] Raquel Ramos, “Valorización de residuos”. Eco Medio Ambiente: Blog sobre medio ambiente y reciclaje. 22/01/2013.

<http://ecomedioambiente.com/medio-ambiente/valorizacion-residuos/>

[25] “Valorización energética de residuos” . Cordorchem envitech: Ingeniería ambiental.

<http://blog.condorchem.com/valorizacion-energetica-de-residuos/>

[26] <http://www.plantasdecogeneracion.com/index.php/las-plantas-de-cogeneracion>

[27] Elena Sarachu, “Qué es la cogeneración, beneficios y ventajas medio ambientales”. Jueves, 13/11/2014.

<https://www.caloryfrio.com/ahorro-energia/cogeneracion/que-es-la-cogeneracion-beneficios-y-ventajas-medio-ambientales.html>

[28] Santiago García Garrido, “¿Cuánto cuesta una planta de cogeneración?”.

<http://energia.renovetec.com/centrales-de-ciclo-combinado/301-presupuesto-de-planta-de-cogeneracion>

[29] Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6123

[30] Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de Julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-10949>

[31] Ley 1/2005, de 9 de Marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. Publicado en BOE núm. 59 de 10 de Marzo de 2005.

http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/l1-2005.html

[32] Real Decreto 1370/2006, de 24 de Noviembre, por el que se aprueba el Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012.

http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/rd_1370_2006_tcm7-11964.pdf

[33] <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4c1b5ad130e3a.pdf>

[34] “Centrales térmicas de ciclo combinado” Renovetec.

<http://www.cicloscombinados.com/index.php/8-el-generador-de-vapor-por-recuperacion-de-calor-hrsg>

[35] “Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado”. Santiago García Garrido.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

[36] “Cogeneración: Diseño, Operación y Mantenimiento de plantas”. Santiago García Garrido y Diego Fraile Chico.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

DOCUMENTO II

PRESUPUESTO

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

1. PRESUPUESTO DE LA IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

Una vez realizados todos los cálculos anteriores se procede a estudiar la viabilidad económica del proyecto, es decir, a realizar el cálculo del coste total que debería pagar la empresa (Vaersa) si quisiera instaurar el sistema diseñado. El objetivo es efectuar un cálculo de la rentabilidad económica a partir de un conocimiento aproximado de las características de la instalación propuesta.

Este es un aspecto fundamental en el trabajo, ya que pese a que se reduzcan los gastos a largo plazo de la planta no se conoce a priori si el coste invertido en la maquinaria y el terreno, la formación de los empleados para gestionar el nuevo sistema y los costes de ingeniería permitirán que el retorno de la inversión se produzca en un periodo de tiempo razonable.

Se agruparán los costes en tres grupos diferenciados.

- Costes de Ingeniería
- Costes de maquinaria y terreno
- Costes de formación de empleados

Por último, una vez calculados los costes de las tres categorías, se calculará el coste total a invertir en el proyecto. De esta manera se obtendrá una diferencia entre el consumo energético actual y el que resultará tras aplicar la instalación, es decir el ahorro anual. El cociente entre el coste total de la instalación y el ahorro conseguido anualmente nos permitirá conocer el periodo de retorno (en años) o lo que es lo mismo el tiempo que se tardará en cubrir los gastos empleados en la instalación y comenzar a obtener beneficios.

1.1 Costes de ingeniería

Los costes relacionados con la ingeniería hacen referencia al trabajo realizado por los profesionales que han intervenido en la elaboración del proyecto.

Por un lado se tiene en cuenta las horas empleadas por cada uno de ellos y, por otro, los desplazamientos que han tenido que hacer a la planta y las dietas. El cálculo total se efectúa multiplicando las horas trabajadas por la remuneración por hora que tiene cada profesional en función de su posición (gerente, ingeniero o empleado) y sumando los costes referentes a los desplazamientos y dietas multiplicándolos por un coste unitario de 70€.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

De esta manera se pueden resumir los cálculos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Costes de ingeniería

PRESUPUESTO TRABAJO DE INGENIERÍA				
Empleados	Horas	Cantidad	Remuneración (€/h)	Coste total (€)
Gerente	40	-	50	2000
Ingeniero 1	80	-	40	3200
Ingeniero 2	60	-	35	2100
Ayudante técnico	130	-	20	2600
Personal de oficina	120	-	20	2400
Desplazamientos y dietas	-	20	70	1400
TOTAL				13700

Por tanto, los costes asociados a la ingeniería ascienden a **13700€**.

1.2 Costes de maquinaria y terreno

Los costes de inversión engloban la maquinaria que se debe comprar para poder instaurar el sistema y la compra del terreno en el cual ubicar el mismo, estando éste cerca de la propia planta de clasificación de envases.

Este coste supone la parte más alta de los tres tipos de costes en los que se ha diferenciado el coste total del proyecto.

Por un lado, se debe tener en cuenta el coste asociado a todos los equipos necesarios.

Por otro lado, se debe tener en cuenta también el coste asociado al terreno que se tiene que adquirir para instalar los equipos anteriormente mencionados.

Considerando un coste medio por metro cuadrado en Alzira de 15 €/m² y teniendo en cuenta que se necesitan como mínimo 300 m² de superficie total, el resultado se muestra en la tabla 2.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Tabla 2. Costes de adquisición del terreno necesario

Coste por metro cuadrado de superficie (€/m²)	Superficie necesaria (m²)	TOTAL (€)
15	300	4500

Por tanto, el coste total asociado a la maquinaria y al terreno, se muestra en la tabla 3:

Tabla 3. Coste total en maquinaria y terreno

Costes de maquinaria (€)	Coste de adquisición del terreno (€)	TOTAL (€)
2.000.000	4500	2004500

No obstante, cabe destacar que este coste es orientativo y aproximado, ya que el coste final depende de diversos factores, tales como el margen que aplique el constructor de la planta, la configuración de los equipos y el emplazamiento elegido finalmente.[1]

1.3 Costes de formación de empleados

Los costes de formación constituyen la inversión que la empresa debe realizar para formar a sus empleados en el conocimiento necesario de tratamiento, funcionamiento, mantenimiento, revisión y control del nuevo sistema que se pretende instaurar en la planta, en este caso, el sistema de cogeneración.

La formación se imparte mediante una empresa ajena a la empresa de la planta de clasificación de envases ligeros y a la empresa responsable de realizar el trabajo de ingeniería que realiza diversas sesiones informativas y cursos intensivos con el objetivo de que los empleados de la empresa de clasificación de envases ligeros se conviertan en profesionales en la materia anteriormente mencionada.

Se muestra el coste referente a lo citado anteriormente en la tabla 4 y la tabla 5.

Tabla 4. Coste de las sesiones informativas

Sesiones informativas	Horas	Remuneración (€/h)	Coste (€)
6	5	300	1800
TOTAL			1800

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Tabla 5. Coste de los cursos intensivos

Cursos intensivos	Horas	Remuneración (€/curso)	Coste (€)
2	15	1000	2000
TOTAL			2000

Por tanto, el coste total asociado a la formación de empleados estará compuesto por la suma del coste que suponen las sesiones informativas y el coste que suponen los cursos intensivos como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Coste total de formación de empleados

Actividad	Coste (€)
Sesiones informativas	1800
Cursos intensivos	2000
TOTAL	3800

De esta manera, el coste total de la formación de empleados es de 3800 €.

1.4 Presupuesto de implantación total

El coste total que supondrá la implantación de la central se calcula sumando las cantidades referentes a los costes desglosados anteriormente, lo cual se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Coste de implantación total

Tipo de coste	Coste (€)
Costes de ingeniería	13700
Costes de maquinaria y terreno	2004500
Costes de formación de empleados	3800
TOTAL	2022000

2. Presupuesto total

Finalmente, el coste total real de la central debe calcularse teniendo en cuenta los costes generales, que se han estimado en un 13% y el IVA que representa un 21%. Los resultados se muestran en la tabla 8.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Tabla 8. Coste total final

Tipo de coste	Coste (€)
Costes de implantación total	2022000
Costes generales (13%)	262860
IVA (21%)	424620
TOTAL	2709480

Por tanto el presupuesto total asciende a dos millones setecientos nueve mil cuatrocientos ochenta euros.

3. Ahorro anual y periodo de amortización

Una vez calculada la inversión inicial que hay que hacer en el proyecto se procede a calcular los costes de energía adicionales en los equipos para cubrir la demanda energética que no se suple con la central de ciclo combinado y que tendrá que ser proporcionada por la red eléctrica.

Para ello, primero se calculará el coste energético actual de la planta de clasificación de envases. Dicho coste es el resultado de la tarifa 3.1A con los siguientes valores según periodo:

- Periodo punta (4h): 110 €/MWh
- Periodo llano (12h): 97 €/MWh
- Periodo valle (8h): 68€/MWh

Conociendo el porcentaje de energía consumida en cada periodo se podrá determinar el coste actual empleado en cubrir la demanda energética de la planta de clasificación de envases ya que se conoce que el consumo eléctrico anual de la red es de 4884 Mwh/año.

Tabla 9. Coste actual según tarifa 3.1A

Periodo	Porcentaje (%)	Coste (€)
Punta	22%	118192,8
Llano	68%	322148,6
Valle	10%	33211,2
TOTAL	100%	473552,6

Con la instalación de la central propuesta el consumo eléctrico anual se disminuiría considerablemente al valor de 2148,96 Mwh/año ya que la central es capaz de proporcionar el 56% de la energía eléctrica. Por ello el nuevo coste anual relacionado con el consumo eléctrico proporcionado por la red, calculado de la misma manera que el anterior, sería de **208363,2 €**

Por ello el ahorro anual conseguido ascendería a **265189,4 €**

De esta manera, realizando el cociente entre el coste total que cuesta la central y el ahorro conseguido anualmente, se obtiene que el periodo de retorno es de

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

aproximadamente 11 años . Resultado favorable a la instalación de la central puesto que se encuentra por debajo de 15 años.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

4. Referencias

[1] <http://energia.renovetec.com/100-preguntas-sobre-energia/121-%C2%BFcu%C3%A1nto-cuesta-una-central-t%C3%A9rmica-de-ciclo-combinado>

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

DOCUMENTO III

APÉNDICE

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

1. Información adicional de la ubicación de la planta



Figura 1. Localización exacta de la planta de clasificación de envases

Fuente: Google maps

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.



Figura 2. Localización de la planta para la producción de energía eléctrica
Fuente: Google maps

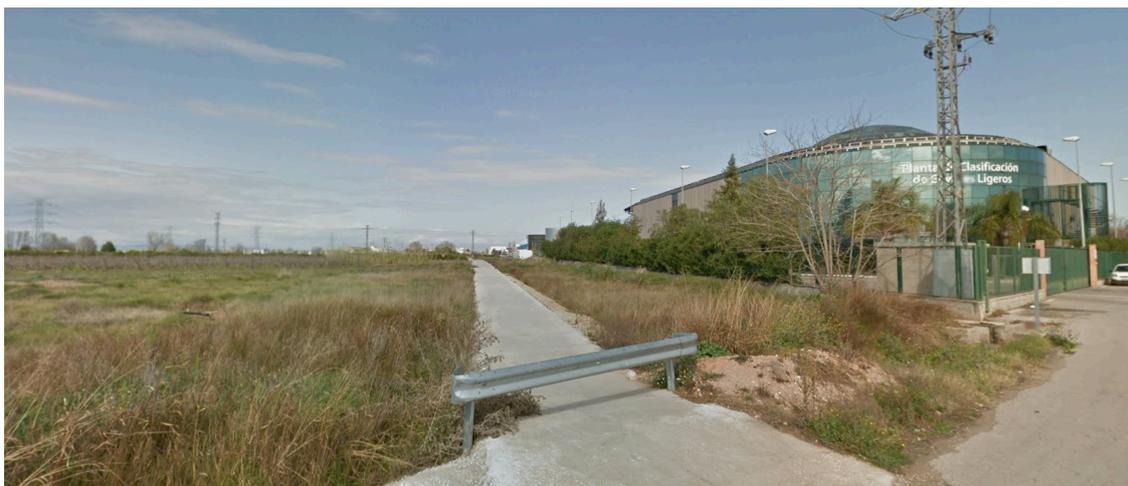


Figura 3. Vista en alzado de la ubicación de la planta para la producción de energía eléctrica
Fuente: Google maps

2. Esquema de la disposición de los elementos de los sistemas propuestos

2.1 Turbina de gas

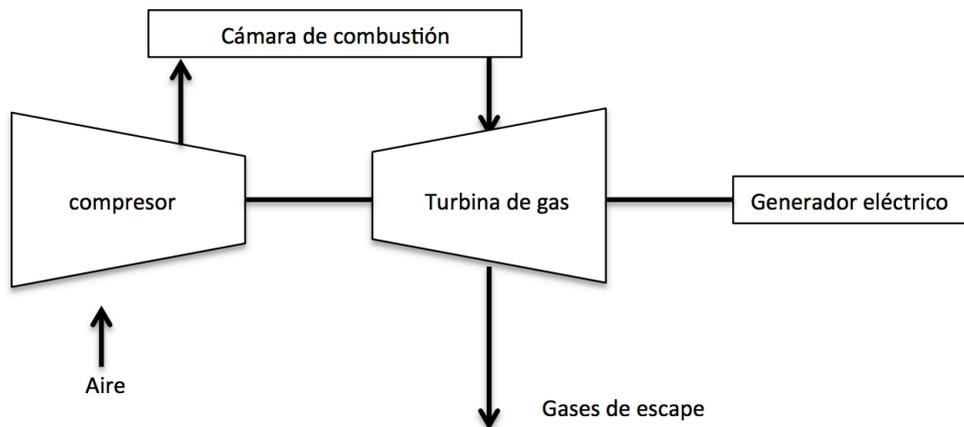


Figura 4. Esquema turbina de gas
Fuente: Elaboración propia

Diseño de una instalación para la producción de energía eléctrica en una planta de clasificación de envases a partir del rechazo generado en la misma.

2.2 Ciclo combinado

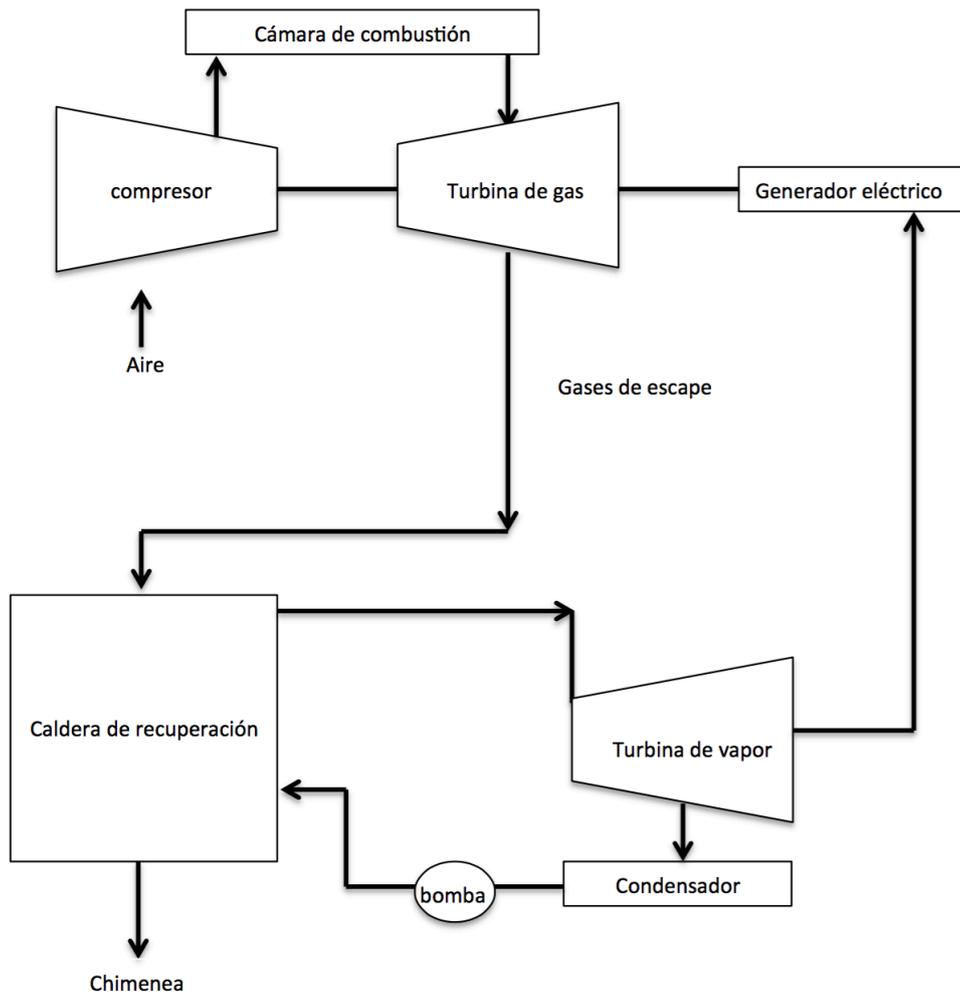


Figura 5. Esquema ciclo combinado
Fuente: Elaboración propia