



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS URBANOS
PARA EL ÁREA DE GESTIÓN A6 DE LA
COMUNITAT VALENCIANA**

AUTOR: CARLOS AMUTIO MÁÑEZ

TUTORA: MARÍA TERESA MONTAÑÉS SANJUAN

Curso Académico: 2018-19

RESUMEN

El Plan Integral de Residuos (PIR) de la Comunitat Valenciana divide el territorio en una serie de áreas de gestión para los residuos que genera y establece que en todas ellas ha de haber una planta de valorización de residuos. Tras analizar la situación actual, se ha observado que aún hay dos áreas de gestión que no disponen de dicha planta. Por ello, el objetivo de este trabajo es el diseño de una planta de valorización para una de dichas áreas, concretamente para el área A6, correspondiente al Baix Segura.

La planta de valorización elegida es una planta de triaje y compostaje, dado que el producto principal obtenido (el compost) tiene salida en la zona, ya que se utiliza en agricultura. Además, se tiene experiencia en plantas de este tipo, puesto que ya existen unas cuantas en la Comunitat Valenciana.

Se realiza un diseño integral de la planta, comenzando con la elección del lugar de la instalación. La elección se basa en los condicionantes del PIR, buscando posteriormente una parcela real. El factor principal a la hora del diseño de una planta de estas características es decidir las características del flujo de trabajo. Se divide éste en tres fases: recepción y descarga, pretratamiento o triaje y compostaje. En cada zona se diseña el flujo de trabajo, la distribución en planta y se elige la maquinaria necesaria para el correcto funcionamiento. Los productos obtenidos en la planta serán los subproductos seleccionados en el triaje y el compost. A partir de este diseño se debe añadir el diseño de los procesos auxiliares al principal (control de olores y control de lixiviados) y realizar una distribución en planta general de la parcela.

Asímismo se añade un presupuesto estimado del coste de implantación y los planos necesarios para una mejor comprensión del diseño de la planta.

Palabras clave: gestión de residuos, compostaje, triaje, residuos urbanos.

RESUM

El Pla Integral de Residus (PIR) de la Comunitat Valenciana divideix el territori en una sèrie d'àrees de gestió per als residus que genera i estableix que en totes elles hi ha d'haver una planta de valorització de residus. Després d'analitzar la situació actual, s'ha observat que encara hi ha dues àrees de gestió que no disposen d'aquesta planta. Per això, l'objectiu d'aquest treball és el disseny d'una planta de valorització per una d'aquestes àrees, concretament per a l'àrea A6, corresponent al Baix Segura.

La planta de valorització triada és una planta de triatge i compostatge, ja que el producte principal obtingut (el compost) té sortida a la zona, ja que s'utilitza en agricultura. A més, es té experiència en plantes d'aquest tipus, ja que ja hi ha unes quantes a la Comunitat Valenciana.

Es realitza un disseny integral de la planta, començant amb l'elecció del lloc de la instal·lació. L'elecció es basa en els condicionants del PIR, buscant posteriorment una parcel·la real. El factor principal a l'hora del disseny d'una planta d'aquestes característiques és decidir les característiques del flux de treball. Es divideix aquest en tres fases: recepció i descàrrega, pretractament o triatge i compostatge. A cada zona es dissenya el flux de treball, la distribució en planta i es tria la maquinària necessària per al correcte funcionament. Els productes obtinguts a la planta seran els subproductes del triatge i el compost. A partir d'aquest disseny s'ha d'afegir el disseny dels processos auxiliars al principal (control d'olors i control de lixiviats) i realitzar una distribució en planta general de la parcel·la.

També s'afegeix un pressupost estimat del cost d'implantació i els plànols necessaris per a una millor comprensió del disseny de la planta.

Paraules clau: gestió de residus, compostatge, triatge, residus urbans.

ABSTRACT

The Plan Integrado de Residuos or Integrated Waste Plan (PIR) of the Valencian Community divides the territory into a series of management areas for the waste it generates and establishes that in all of them there must be a waste recovery plant. After analyzing the current situation, it has been observed that there are still two management areas that do not have such a plant. Therefore, the objective of this work is the design of a recovery plant for one of these areas, specifically for the A6 area, corresponding to the Baix Segura.

The selected recovery plant is a selection and composting plant, given that the main product obtained (the compost) has an outlet in the area, since it is used in agriculture. In addition, there is experience in plants of this type, since there are already a few in the Valencian Community.

An integral design of the plant is carried out, starting with the choice of the location of the installation. The choice is based on the conditions of the PIR, looking for a real land later. The main factor when designing a plant with these characteristics is the decision about the workflow. It is divided into three phases: reception and discharge, pre-treatment or selection and composting. In each zone the workflow and the layout have to be designed, and also the machinery necessary for the correct operation have to be chosen. The products obtained in the plant will be the subproducts selected in pre-treatment and the compost. Apart from this, we must add the design of the auxiliary processes to the main one (odor control and leaching control) and the layout of the complete areas.

There is also an estimated budget for the cost of implementation and the necessary plans for a better understanding of the design of the plant.

Keywords: waste management, composting, selection, urban waste.

Diseño de una planta de valorización de residuos urbanos para el área de gestión A6 de la
Comunitat Valenciana

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFM

- I. MEMORIA
- II. PRESUPUESTO
- III. PLANOS

I. MEMORIA

1) Objeto y objetivos del trabajo.....	3
2) Antecedentes.....	4
2.1) Gestión de residuos urbanos.....	4
2.2) Gestión de residuos urbanos en España.....	6
2.3) Gestión de residuos urbanos en la Comunitat Valenciana.....	7
3) Localización de la planta.....	9
3.1) Búsqueda de localización.....	9
3.2) Ámbito territorial del área de gestión A6.....	10
3.3) Objetivo de la planta a diseñar.....	10
3.4) Análisis territorial para la instalación de la planta.....	11
3.4.1) Cálculo de la masa de RU a tratar.....	12
3.4.2) Planificación del trabajo.....	12
3.4.3) Superficie requerida.....	13
3.5) Selección de parcela.....	14
3.5.1) Condicionantes del PIR.....	14
3.5.2) Parcela escogida.....	15
4) Diseño de la planta.....	20
4.1) Zona de recepción y descarga de residuos.....	20
4.1.1) Diseño.....	20
4.1.2) Elección de maquinaria.....	21
4.1.3) Esquema de distribución en planta.....	25

4.2) Zona de pretratamiento.....	27
4.2.1) Diseño.....	27
4.2.2) Elección de maquinaria.....	32
4.2.3) Esquema de distribución en planta.....	51
4.3) Zona de compostaje.....	54
4.3.1) Diseño.....	54
4.3.2) Elección de maquinaria.....	66
4.3.3) Esquema de distribución en planta.....	74
4.4) Zonas auxiliares.....	75
4.5) Zona perimetral.....	78
4.6) Sistema de control de olores.....	80
4.7) Sistema de recolección de lixiviados.....	84
4.8) Diagrama de flujo.....	86
4.9) Superficie total de la planta de tratamiento.....	95
5) Conclusiones.....	97
6) Bibliografía.....	99
<i>Anexos</i>	
Anexo I: Índice de figuras.....	103
Anexo II: Índice de tablas.....	106
II. PRESUPUESTO	
1) Presupuestos parciales	111
2) Presupuesto total.....	113
III. PLANOS	
1) Localización de la parcela.....	116
2) Distribución en planta de la parcela.....	117
3) Sistema de biofiltros.....	118
4) Balsa de lixiviados.....	119

Diseño de una planta de valorización de residuos urbanos para el área de gestión A6 de la
Comunitat Valenciana

Diseño de una planta de valorización de residuos urbanos para el área de gestión A6 de la
Comunitat Valenciana

I. MEMORIA

1) OBJETO Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

En general se entiende como residuo cualquier producto que un ser humano utiliza, y que decide abandonar, después de perder para él el valor que posea. Según la Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y suelos contaminados, se establece "es cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías que figuran en el anexo de esta Ley, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse. En todo caso tendrán esta consideración los que figuren en el Catálogo Europeo de residuo (CER), aprobado por las instituciones comunitarias". En la actualidad la problemática del tratamiento de residuos ha alcanzado unos niveles de gran impacto sobre el medio ambiente debido al gran desarrollo económico mundial ocurrido durante las últimas décadas, así como la transformación del tipo de consumo. Se ha impuesto una cultura del consumo inmediato, de usar y tirar, lo que está aumentando el volumen de residuos generados de una manera preocupante para el medio ambiente.

Por ello se han producido grandes avances tecnológicos en el tratamiento de residuos, permitiendo reducir el volumen de residuos que se deben confinar en vertederos, incluso reduciendo el impacto de éstos sobre el medio ambiente. En el caso del presente trabajo se tratará de proponer una solución al problema para el caso particular de una comarca de la Comunitat Valenciana que no posee ninguna instalación de tratamiento de residuos. Se tendrá en cuenta la jerarquía fijada por las instituciones europeas para la gestión de residuos, siempre teniendo en cuenta las características de la zona, la tecnología disponible y demás condicionantes.

El objeto del trabajo es el diseño de una planta de tratamiento de residuos, que incluye los procesos de triaje y de compostaje. En este tipo de plantas se tratan los residuos urbanos (RU) que se recogen en los municipios, y se debe primar la valorización en lo posible. La valorización puede ser desde el reciclaje o la reutilización hasta el aprovechamiento energético de los residuos. Se realizará un diseño integral: desde la localización hasta la maquinaria necesaria.

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- La aplicación a un caso práctico de las herramientas y conocimientos adquiridos durante el Máster en Ingeniería Industrial.
- En particular afianzar los conocimientos que se obtienen en la intensificación en Medio Ambiente.
- La práctica en la búsqueda en páginas y catálogos de fabricantes.
- La redacción de un documento técnico que familiarice al alumno con el tipo de proyectos que realizará durante su vida laboral.

2) ANTECEDENTES

2.1) Gestión de residuos urbanos

Se conoce la gestión de residuos como el proceso que engloba todo el tratamiento de los residuos producidos por el ser humano desde su producción hasta su eliminación, que puede ser de distinto tipo: reutilización, reciclado, valorización (incluida la energética), o eliminación (como es el caso del vertido controlado). Su preferencia jerárquica puede consultarse en la figura 1, en la situación actual y en el objetivo europeo para el año 2020.



Figura 1. Jerarquía en la gestión de residuos. Fuente: aeded.org

Los residuos urbanos (RU) son los producidos en la actividad doméstica y comercial de las poblaciones. Estos residuos comprenden basura, muebles, electrodomésticos, desperdicios de actividad comercial, restos de podas y restos de limpieza de vía pública. La parte más importante en volumen es la de basuras domésticas, donde a su vez se encuentran diferentes componentes: materia orgánica, papel y cartón, plásticos, vidrios, metales y otros.

La gestión de RU consiste en diferentes procesos que permiten el tratamiento de estos desde su recogida en las poblaciones, su transporte hasta los centros especializados y, por último, su tratamiento.

La recogida consiste en su recolección para efectuar su traslado a los centros de tratamiento. Esta recogida puede ser de dos tipos:

- Recogida no selectiva, donde todos los tipos de residuos se recogen en los mismos contenedores. Éste era el sistema habitual hasta hace pocas décadas.

- Recogida selectiva, donde los distintos tipos de residuos se depositan en contenedores diferentes. Hoy en día suele haber contenedores de papel y cartón, de envases y de vidrio. Recientemente se está implantando en algunas ciudades de la Comunitat Valenciana (CV) el contenedor de materia orgánica. Los contenedores se pueden situar en los propios centros urbanos o en puntos especiales (ecopuntos o ecoparques) y tienen un código de colores identificable.

La recogida selectiva permite el ahorro de recursos para el gestor de residuos en la etapa de selección, aunque el hecho de que no haya una recogida selectiva total hace que haya que realizar una selección en casi todos los casos.

El tratamiento de RU debe ir dirigido de mayor a menor prioridad a: reutilización, reciclado, valorización (incluida la energética) y, por último, la eliminación, donde se incluye el vertido controlado. El primer paso del tratamiento debe ser el de selección. Existen plantas de selección donde específicamente se separan las distintas fracciones de los RU, aunque lo más habitual es que las plantas de tratamiento integrado posean una zona indicada para el proceso de selección. La generalización de la recogida selectiva ha permitido facilitar esta separación; sin embargo, la selección sigue siendo un proceso complicado que demanda una gran inversión en equipos y tecnología. Además, algunas fracciones como el vidrio son prácticamente imposibles de separar del resto. En el posterior diseño de la planta se explicarán los diferentes sistemas de separación para cada fracción.

Una vez separadas las fracciones se debe valorar el mejor destino de cada una de ellas. Lo ideal sería el reciclaje de todos los materiales separados, pero esto es imposible en algunos casos. Se pueden reciclar papel y cartón, diferentes tipos de plásticos y el vidrio, si se consigue separarlo.

Para el resto se debe buscar el fin más respetuoso con el medio ambiente y con la economía. Para la materia orgánica que queda al final del proceso de selección la mejor solución y la más extendida en España es el compostaje. El compost se forma a partir de la fermentación de la materia orgánica, y puede ser utilizado como fertilizante o incluso como combustible.

El resto de los residuos que no ha podido ser reciclado debe ser recluso en un vertedero; si el vertido es de sustancias peligrosas en un vertedero especial destinado a ellas. En los últimos años se ha intentado reducir al máximo el volumen de residuos llevados a vertederos, ya que estos comportan problemas importantes: impacto de olores, filtraciones a aguas subterráneas, impacto visual...

Otra posibilidad de valorización no muy utilizada por su impacto negativo en el medio ambiente (emisión de gases contaminantes), es la de las incineradoras de basuras, donde se obtiene energía eléctrica a partir de la incineración de los residuos. Además, hay métodos de valorización que aún no son utilizados en plantas como la hidrogenación, la gasificación o la pirólisis.

Estas son las diferentes opciones a la hora de tratar los RU. La tendencia es llegar al máximo porcentaje posible de reciclaje, o en el caso de la materia orgánica, de compostaje. Para ello se

debe tender a un sistema integrado de gestión de residuos que separe desde el origen los diferentes tipos de residuos. Para esto, se necesita también una labor didáctica entre la población, ya que el proceso comienza en la separación en casa.

2.2) Gestión de residuos en España

La aparición de planes para la gestión de residuos es debida a la evolución que ha sufrido en España la producción de RU, una evolución al alza en las últimas décadas. Como medida de este hecho cabe mencionar el dato de que entre el año 1990 y el 2007 la producción de RU casi llegó a doblarse, sin producirse tal aumento de población. A partir de la aparición de los Planes Nacionales de Residuos se consiguió estabilizar la cifra de producción de basura por habitante. A pesar de ello, la concienciación sobre la necesidad de valorización de los residuos es cada vez mayor y se impone este tipo de fin para los residuos.

La prioridad en la gestión de residuos es seguir en lo posible la jerarquía de la pirámide objetivo de la Figura 1, aunque como se observa en la Figura 2, el vertido sin tratamiento sigue siendo el fin último del 57,3% de los residuos generados en los municipios. Para cumplir el Objetivo 2020 debe aumentar el porcentaje de residuos reciclados, reutilizados o que se utilicen para algún tipo de aprovechamiento, compostaje o incineración.

CANTIDAD DE RESIDUOS DE COMPETENCIA MUNICIPAL RECOGIDOS EN ESPAÑA. 2015							
Fuente	Código LER - RESIDUO	Generación	Reciclado	Compostaje	Vertido	Incineración	
MAGRAMA	20 03 01	Mezclas de residuos municipales	17.106.176	868.739	1.886.732	11.770.702	2.580.003
	20 01 01	Papel y cartón	1.008.959	1.008.959	0	0	0
	20 01 02	Vidrio	9.129	9.129	0	0	0
	20 01 08	Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes	560.619	0	405.696	104.136	50.787
	20 02 01	Residuos biodegradables de parques y jardines	229.300	0	159.447	66.846	3.007
	15 01 06	Envases mezclados	592.353	427.598	0	130.813	33.942
	15 01 07	Envases de vidrio	746.479	746.479	0	0	0
	INE	20 01 40	Residuos metálicos	22.430	22.416	0	14
20 01 39		Residuos de plástico	39.453	31.226	0	8.027	199
20 01 38		Residuos de madera	87.765	79.638	0	1.824	6.303
20 01 10		Residuos textiles	40.767	33.172	0	6.790	805
20 01 11							
20 01 21		Equipos desechados	63.338	60.996	0	2.342	0
20 01 23							
20 01 35							
20 01 36							
20 01 33		Residuos de pilas y acumuladores	3.687	3.686	0	1	0
20 01 34							
20 03 02		Residuos de mercados	647.373	599.995	0	37.149	10.229
20 03 07		Residuos voluminosos					
20 02 02		Tierras y piedras de parques y jardines	0	0	0	0	0
TOTAL		21.157.827	3.892.034	2.451.875	12.128.644	2.685.275	
%			18,4	11,6	57,3	12,7	

Figura 2. Residuos generados en España y su fin. Datos de 2015. Fuente: MAGRAMA e INE

La gestión de residuos en España está regulada por la ley 22/2011, de 28 de Julio, de residuos y suelos contaminados, y por un plan nacional que desarrolla la ley, el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR).

2.3) Gestión de residuos en la Comunitat Valenciana

En el presente trabajo se trabajará en el ámbito de la Comunitat Valenciana, por lo tanto, se tendrá como valores de referencia en cuanto a las cifras de los RU los valores que aporta el INE en sus informes anuales. El último informe detallado del INE sobre los RU es el del 2015, donde, por ejemplo, tenemos acceso a la composición de los RU en la Comunitat Valenciana. Se pueden consultar en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición RU en la Comunitat Valenciana. Elaboración propia a partir de datos del INE

Componente	Porcentaje de RSU
Materia orgánica	48
Papel / Cartón	15,5
Plástico	8
Vidrio	8
Metales férricos	3,5
Metales no férricos	0,55
Otros	16,45

En el caso de la Comunitat Valenciana, se observan particularidades en el tratamiento de residuos respecto a la situación nacional. Los datos del destino final de los residuos se encuentran resumidos en la Tabla 2. Se observa en primer lugar que el porcentaje de vertido es similar, no hay gran diferencia. Por otra parte, en la C.V. se produce menos reciclado (11,6 frente a 18,4) pero mucho más compostado (29,2 frente a 11,6). La razón principal para esta diferencia puede estar en la mayor facilidad comercial del compostaje en la C.V., debido a la actividad agrícola de gran implantación, además del tipo de producción agrícola (regadíos, huertas).

Tabla 2. Residuos generados en la C.V. y su fin. Datos de 2015. Fuente: MAGRAMA e INE

C.Valenciana	Generación	Reciclado	Compostaje	Vertido	Incineración
Toneladas	2.176.458	252.222	636342	1.287.894	0
%	100	11,59	29,24	59,17	0

En la Comunitat Valenciana la legislación en este ámbito es la ley 10/2000 de Residuos. Esta ley regula la coordinación de las instituciones para la gestión de residuos. En el ámbito autonómico se han desarrollado dos tipos de planes: el Plan Integrado de Residuos (PIR) y los Planes Zonales. En la Comunitat Valenciana se regularon en el PIR de 1997, un total de 18 Planes Zonales. Posteriormente, y por cuestiones de coordinación y mejora del sistema, se crearon 13 zonas de gestión independiente reguladas en el PIR, que coinciden en parte con los Planes Zonales anteriores. La distribución de estas zonas de gestión se muestra en el mapa de la Figura 3. Cada Plan Zonal indica las necesidades a medio plazo de infraestructuras para la gestión de residuos, en general, todos prevén la implantación de una planta de valorización en su territorio.



Figura.3. Zonas de gestión de residuos de la C. Valenciana. Fuente: GVA

3. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

3.1) Búsqueda de localización

La finalidad del presente trabajo es la de diseñar una planta de valorización de residuos (traje y compostaje), en alguna zona de la Comunitat Valenciana donde no haya una instalada. Por tanto, en primer lugar, es necesario un trabajo de investigación para detectar las posibles necesidades y proponer una solución viable.

Para ello, se tendrá en cuenta el PIR de la C.V. vigente, y tras la búsqueda en la página web de la Generalitat Valenciana y del Ministerio de Medio Ambiente (en la actualidad Ministerio para la Transición Ecológica) se ha obtenido la información mostrada en la Tabla 3.

Tabla 3. Plantas de valorización de residuos urbanos de la C.V. Fuente: GVA

ÁREA DE GESTIÓN	PLANTA DE TRATAMIENTO	ESTADO
C1	Cervera del Maestre	En marcha
C2	Onda	En marcha
C3-V1	Algimia de Alfara	En marcha
	Vall d'Uixó	No iniciada
V2	Quart de Poblet	En marcha
	Manises	En marcha
V3	Liria	En marcha
	Caudete de las Fuentes	En marcha
V4	Guadassuar	En marcha
V5	Llanera de Ranes	En trámite
A1	El Campello	En marcha
A2	Xixona	En marcha
A3	Villena	En marcha
A4	Fontcalent	En marcha
A5	Elche	En marcha
A6	Orihuela	En trámite

Como puede verse en la Tabla 3, las trece áreas de gestión definidas en la C.V. tienen una planta de valorización ya construida o se encuentra en proyecto. Concretamente las que se encuentran en trámite son:

- En el area V5, equivalente a los Planes Zonales X, XI y XII, el proyecto de planta en Llanera de Ranes se encuentra actualmente paralizado. El Consorcio de Residuos lo ha paralizado por el rechazo social provocado en algunos municipios cercanos.
- En el area A6, que equivale al Plan Zonal XVII, actualmente también está paralizado el proyecto de planta en Orihuela. El rechazo social es el causante también de este hecho; el Consorcio de Residuos ha propuesto una planta de transferencia para transportar los

residuos a una planta de otra área como medida transitoria.

De acuerdo con esto, en este trabajo la propuesta de diseño y localización de una planta de valorización de residuos podría ser en cualquiera de las dos zonas descritas. Nos hemos decantado por la zona A6 debido a la cantidad de información disponible para la realización del proyecto. Se dispone de la información existente en el decreto del Plan Zonal, además de múltiple información en internet sobre la problemática en cuanto a la localización de la planta.

3.2) **Ámbito territorial del área de gestión A6**

El ámbito de aplicación del área de gestión A6, según el PIR, corresponde con el territorio del sur de la provincia de Alicante concretamente a la totalidad de la comarca del Baix Segura.

La zona está integrada por un total de 27 municipios que ocupan una superficie de 954 km², los cuales se enumeran en la Figura 4.

Municipios	Superf km ²	Municipios	Superf km ²	Municipios	Superf km ²
ALBATERA	66	COX	17	ORIHUELA	370
ALGORFA	18	DAYA NUEVA	7	PILAR DE LA HORADADA	73
ALMORADÍ	43	DAYA VIEJA	3	RAFAL	2
BENEJUZAR	9	DOLORES	19	REDOVAN	9
BENFERRI	12	FORMENTERA DEL SEGURA	4	ROJALES	27
BENJOFAR	4	GRANJA DE ROCAMORA	7	SAN FULGENCIO	19
BIGASTRO	4	GUARDAMAR DEL SEGURA	36	SAN ISIDRO	7
CALLOSA DE SEGURA	25	JACARILLA	12	SAN MIGUEL DE SALINAS	55
CATRAL	20	MONTESINOS (LOS)	15	TORREVIEJA	71

Figura 4. Municipios del área de gestión A6 de la Comunitat Valenciana. Fuente: PIR

La población de la zona según el censo de 2014 es de 398.621 habitantes.

3.3) **Objetivo de la planta a diseñar**

Como ya se ha indicado anteriormente, en este trabajo se quiere diseñar una planta de tratamiento de residuos en una zona de la C.V. donde no haya ninguna instalación de este tipo y en la que se ha detectado su necesidad. La elección del tipo de planta estará relacionada con el alcance de un Trabajo Fin de Máster de estas características y con la relación con las asignaturas del Máster en Ingeniería Industrial, especialidad en Medio Ambiente. Por ello, se decide diseñar la implantación de una Planta de Triage y Compostaje, por haber sido estudiada con detalle en el citado Máster. Sin embargo, no se diseñará la implantación de un vertedero cercano a la planta, dado que la amplitud del trabajo excedería lo recomendado.

El elemento clave a la hora de obtener un balance económico positivo será la obtención de subproductos que puedan ser vendidos; además, cuanto más se pueda recuperar en la planta menos rechazo se deberá enviar a vertedero.

Los subproductos que se van a obtener tras el proceso de triaje y compostaje son los siguientes:

- Compost. Se trata de un compuesto obtenido a partir de diferentes materiales de origen orgánico (en nuestro caso de la fracción orgánica de los RU). Se obtiene mediante la fermentación controlada de esta materia orgánica y se utiliza principalmente como fertilizante en agricultura.
- Papel y cartón. Son productos susceptibles de ser reciclados. Hay una gran industria dedicada a esta labor; por tanto, se podrá dar una salida rápida a este subproducto.
- Materiales ferromagnéticos. Se trata de materiales metálicos que poseen la característica de ser ferromagnéticos y, por lo tanto, atraíbles por un imán. Para su separación nos basaremos en esta característica. En perfecto estado de separación son 100% reciclables.
- Aluminio. En su mayor parte se obtiene en forma de papel de aluminio. El papel de aluminio es una fina lámina de este material, utilizado sobre todo en la cocina. Es reciclable.
- PET (Tereftalato de polietileno). Es un polímero termoplástico sintético muy utilizado para envases de bebida y textiles. Es reciclable y en estado normal es transparente.
- PEAD (Polietileno de alta densidad). Es un polímero termoplástico sintético utilizado para envases plásticos desechables (limpieza, higiene, alimentos). Es reciclable y en estado normal es translúcido, casi opaco.
- Bricks. Se trata de envases formados por aluminio, cartón y plástico (polietileno). Se utiliza para envases de bebidas y es reciclable.
- Plásticos mixtos. En esta denominación se engloban diferentes tipos de plásticos: PP (Polipropileno), PS (Poliestireno) y PVC (Policloruro de vinilo). Son reciclables.

3.4) Análisis territorial para la instalación de la planta

En el DOGV del 15 de Abril de 2005 se desarrolla el Plan Zonal XVII, y en él se proponen los principios en los que debe basarse la elección del lugar adecuado para la planta de valorización, teniendo en cuenta la ley 12/2000. Estos principios son:

- Protección de zonas de interés medioambiental
- Suelos geologicamente aptos
- Condicionantes de transporte
- Planeamiento urbanístico

Es necesario realizar una estimación de la superficie del conjunto de las instalaciones de la planta. A partir de la estimación, se buscará una parcela que cumpla los condicionantes introducidos en la ley 12/2000. Posteriormente, al calcular la superficie real necesaria se contrastará con la parcela seleccionada y en caso de no ser suficiente se elegirá otra parcela

mayor.

Para la estimación de la superficie de parcela, la mejor opción es la comparativa con plantas de valorización de similar capacidad de tratamiento y, además, de características similares. Para ello, en primer lugar se estima la capacidad que debe tener la planta a diseñar, atendiendo al número de habitantes de la zona.

3.4.1) Cálculo de la masa de RU a tratar.

La masa de RU a tratar es una variable principal a la hora de diseñar la planta de tratamiento, ya que ésta determina la superficie necesaria en la fase de selección y en la fase de compostaje, además del número de máquinas que se deben instalar.

Existen diferentes fuentes a partir de las cuales estimar la masa de RU que se van a tener que tratar en la planta diseñada, teniendo además en cuenta que habrá que sobredimensionar con un margen de seguridad para poder absorber un posible aumento de población o el tratamiento limitado en el tiempo de los residuos de otras zonas.

La primera estimación se puede realizar a partir de la población de los municipios y de la media de producción de RU en la Comunitat Valenciana según datos obtenidos en el INE sobre este aspecto:

$$(398.621 \text{ hab}) * (1,43 \text{ kgs/hab/día}) = 570.028,03 \text{ kgs/día} \quad (1)$$

Esta producción de RU equivale a 208.050 toneladas por año.

Este dato puede ser modificado si se tiene en cuenta que hay poblaciones costeras de la comarca del Baix Segura que tienen una población estacional muy importante, como es el caso de Torrevieja. En el Plan Zonal del Baix Segura se propone un método para calcular esta posible distorsión, teniendo en cuenta una población estacional de 50.000 habitantes según el INE:

$$\text{Población} = (\text{Población fija}) + (\text{Población estacional} * 0,25) = 411.121 \text{ hab} \quad (2)$$

De esta manera, aplicando de nuevo la ecuación (1) se obtienen 214.568 toneladas por año.

3.4.2) Planificación del trabajo

La planta a diseñar debe ser capaz de tratar la cantidad de residuos estimada. Para ello, se va a obtener una cantidad horaria de material a tratar.

La planificación de trabajo habitual en este tipo de plantas es de 3 turnos de 8 horas al día, y se suele trabajar 5 ó 6 días a la semana, dependiendo del volumen. Se pasa a calcular la masa horaria para las dos hipótesis y comprobar cuál es la conveniente.

a) Planificación 1 (5 días por semana)

En esta planificación se tendrá en cuenta los días festivos en los que la planta estará parada, y por lo tanto el número de días de trabajo se puede aproximar a 250 días anuales. Las horas por año en las que se tratarán los residuos serán $250 \times 24\text{h} = 6000 \text{ h/año}$. Por lo tanto, la capacidad horaria de la planta de tratamiento será aproximadamente de 35 t/h.

b) Planificación 2 (6 días por semana)

En esta otra planificación, se aproxima el número de días a 300 por año. Las horas por año de funcionamiento de la línea de tratamiento serán $300 \times 24\text{h} = 7200 \text{ h/año}$. La capacidad horaria necesaria en este caso será de aproximadamente 29 t/h.

Como aún se está en una fase de diseño y los temas relacionados con los horarios laborales aún no se plantean, se tomará el caso que dimensiona la planta para un mayor flujo horario, que es la de 5 días de trabajo por semana. Aún así se debe tener en cuenta que la planificación más habitual suele ser la de 6 días de trabajo y la planta cerrada el domingo. De todas maneras, la elección de dimensionar para el flujo mayor servirá para cubrir posibles aumentos de población.

3.4.3) Superficie requerida

Se realiza una búsqueda de plantas de triaje y compostaje con capacidades similares a la que se quiere diseñar (215.000 toneladas por año). En el documento “Caracterización del compost producido en España”, realizado por el Instituto Geológico y Minero de España, se pueden consultar las plantas que hay en España con una capacidad similar a la diseñada. Los datos correspondientes se pueden consultar en la Tabla 4.

Tabla 4. Superficie ocupada por plantas similares a la de diseño. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGME

Planta de tratamiento	Capacidad teórica (t/año)	Superficie (m ²)	m ² / t
Villarrasa (Andalucía)	227000	20000	0,088
Valladolid (C. León)	210000	40000	0,190
Guadassuar (C. Valenciana)	250000	33000	0,132
Quart de Poblet (C. Valenciana)	400000	74000	0,185
		Media	0,149

Teniendo en cuenta los datos de la Tabla 4 se tendrá:

$$S = 214.568 * 0,149 = 31.948 \text{ m}^2 \quad (3)$$

Por lo tanto, la parcela necesaria deberá tener un mínimo de 31.948 m²; posteriormente, se calculará la superficie teórica real.

3.5) Selección de la parcela

La parcela elegida para construir la planta de triaje y compostaje deberá cumplir con los siguientes condicionantes iniciales:

- Estar situada en la comarca del Baix Segura.
- Tener un mínimo de 31.948 m² (3,2 Ha).

Además, se tendrá en cuenta el PIR de la zona de estudio, y lo que indica respecto a la elección del lugar.

3.5.1) Condicionantes del PIR

a) Protección de zonas de interés medioambiental

En el PIR se indican una serie de zonas no aptas para la localización, las cuales se indican en la Figura 5.

En los planos del documento de información se han representado como zonas no aptas:

- LIC: Sierra de Crevillente, Cueva del Perro, Sierra de Callosa del Segura, Sierra de Orihuela, Sierra Escalona y Dehesa de Campoamor, Dunas de Guardamar, Lagunas de la Mata y Torrevieja, Cabo Roig, Rambla de las Estacas.
- ZEPA: Lagunas de la Mata y Torrevieja.
- Parques naturales: Lagunas de La Mata y Torrevieja.
- Microrreservas: Rambla de las Ventanas, Peñón de la Lobera, Rincón de Bonanza, Monte Hurchillo, Llacuna Salada de Torrevieja, Rambla de las Estacas, Llacuna Salada de la Mata.
- Zonas Húmedas: El Hondo de Amorós, Desembocadura y frente litoral del Segura, Parque Natural de las Lagunas de La Mata y Torrevieja, Meandros abandonados del río Segura.

Figura 5. Zonas no aptas para la localización de la planta. Fuente: PIR

b) Suelos geológicamente aptos

El Plan Zonal realiza una selección de los terrenos geológicamente aptos, teniendo en cuenta la impermeabilización del suelo. Se deben evitar zonas con acuíferos de importancia, y en caso de no poder evitarlo, el terreno debe estar compuesto de materiales impermeables, como arcillas, margas o combinaciones de estas. En nuestro caso, una vez elegida la parcela se deberá comprobar que se cumplen los condicionantes relacionados con la idoneidad del suelo.

c) Condicionantes de transporte

El Baix Segura es una comarca de gran afluencia turística, por tanto, se considera que dispone de las infraestructuras necesarias para implantar una planta de estas características. Por la comarca transitan dos autovías, carreteras nacionales y una amplia red de carreteras comarcales.

d) Planeamiento urbanístico

Se debe cumplir el requisito del PIR de no localizar una planta de estas características a menos de 2000 metros de suelo urbano o urbanizable. La comarca del Baix Segura ha sufrido en las últimas décadas una gran presión urbanística, derivada del turismo en la costa y de la industria y la agricultura en el interior. Por lo tanto, no será fácil encontrar una parcela de estas características sin introducirnos en zonas medioambientalmente protegidas. El PIR permite localizar la infraestructura entre 500 y 2.000 metros de suelo urbano o urbanizable, si se justifica que no se va a afectar a este suelo.

3.5.2) Parcela escogida

Teniendo en cuenta los condicionantes anteriores, se debe seleccionar la parcela adecuada.

Para ello, se recurrirá al SIGPAC (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas), programa desarrollado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), que nos permite visualizar mediante su visor *online* las parcelas rústicas de los diferentes municipios.

Tras realizar una búsqueda de las parcelas disponibles, teniendo en cuenta que la necesidad de superficie es alta, se han encontrado grandes superficies de terreno disponible en el polígono Puente Alto, en el término municipal de Orihuela, al norte del núcleo urbano. En concreto se han localizado unas 26 hectáreas libres, donde se podría instalar la planta. La localización se muestra en las Figuras 6, 7 y 8.

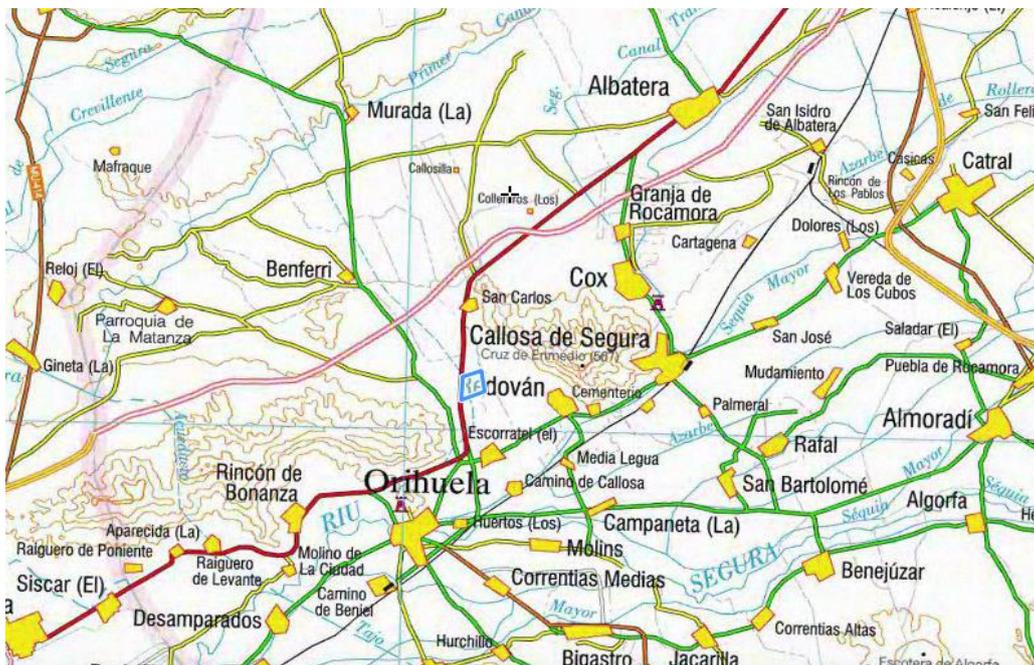


Figura 6. Localización de la parcela escogida (mapa lejano). Fuente: SIGPAC

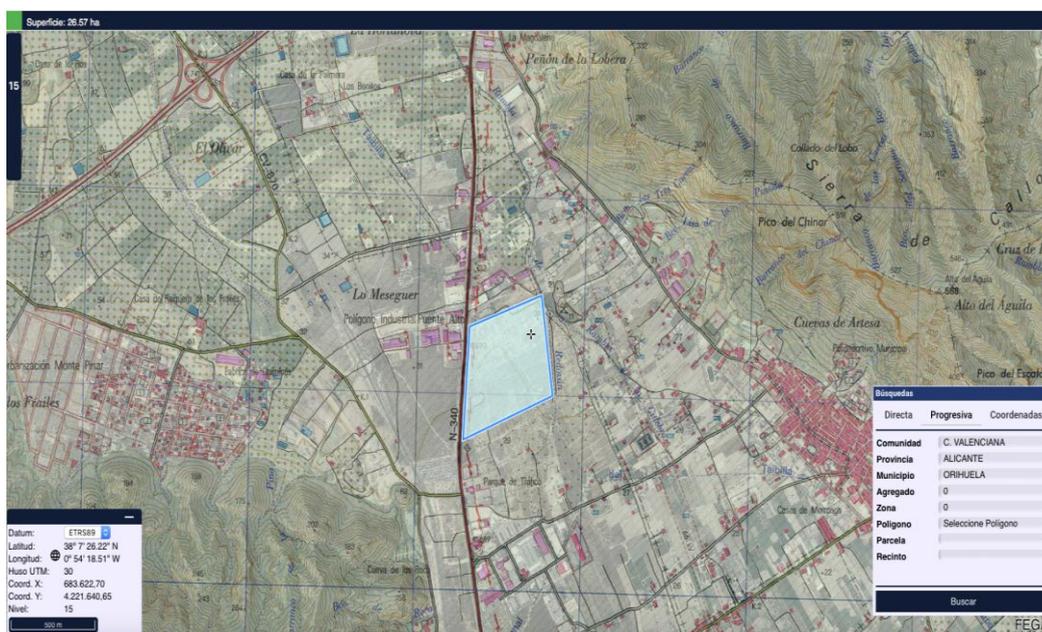


Figura 7. Localización de la parcela escogida (mapa cercano). Fuente: SIGPAC



Figura 8. Localización de la parcela escogida (satélite). Fuente: SIGPAC

A continuación, se debe comprobar que se cumple con los condicionantes antes de realizar la compra del terreno.

a) Protección de zonas de interés medioambiental

El emplazamiento no se encuentra en ninguno de los parajes protegidos que aparecen en el PIR. Se encuentra entre la Sierra de Callosa y la Sierra de Orihuela, pero suficientemente alejado de ambos. Por tanto, se cumple el condicionante de protección de zonas de interés medioambiental.

b) Suelos geológicamente aptos

Debemos acceder al archivo de mapas *online* MAGNA del IGME (Instituto Geológico y Minero de España), de donde se descarga el del municipio de Orihuela. De esta manera, se puede caracterizar el tipo de suelo de la superficie elegida. En la Figura 9 se muestra el mapa geológico de la parcela escogida y en la Figura 10 se muestra el detalle de la leyenda correspondiente a dicha parcela.

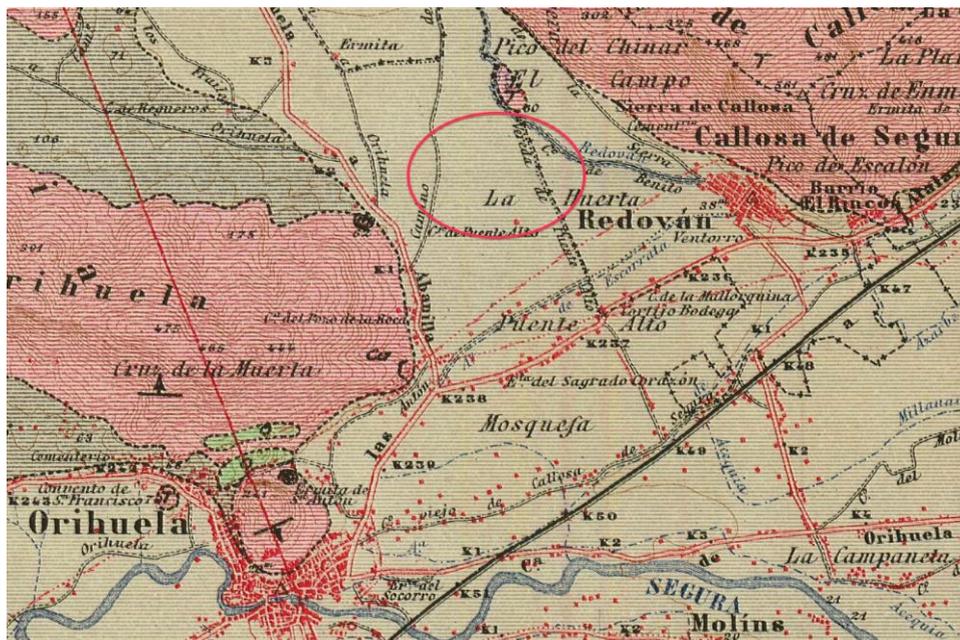


Figura 9. Mapa geológico de la parcela escogida. Fuente: IGME



Figura 10. Leyenda del mapa geológico correspondiente a la parcela escogida. Fuente: IGME

Como puede verse en las Figuras 9 y 10, se trata de un suelo aluvial, los cuales son suelos de origen fluvial con buena impermeabilización. Se concluye que el suelo es apto geológicamente.

c) Condicionantes de transporte

En el mapa de la Figura 11 se observa la cercanía del emplazamiento a la carretera N-340 y a la autovía A-7. Por tanto, se cumplen los condicionantes de transporte.



Figura 11. Infraestructuras cercanas a la parcela escogida. Fuente: Google Maps

d) Planeamiento urbanístico

En la Figura 12 se observa que el lugar elegido se encuentra a 1,25 kilómetros del suelo urbano o urbanizable más próximo. Por ello, al encontrarse la parcela en la franja entre 0,5 y 2 kms de distancia respecto a suelo urbano o urbanizable se necesitará justificar que la planta no afectará a esta población, lo cual se logrará adoptando las medidas pertinentes, como son la recogida y tratamiento de lixiviados y la instalación de un sistema de control de olores.

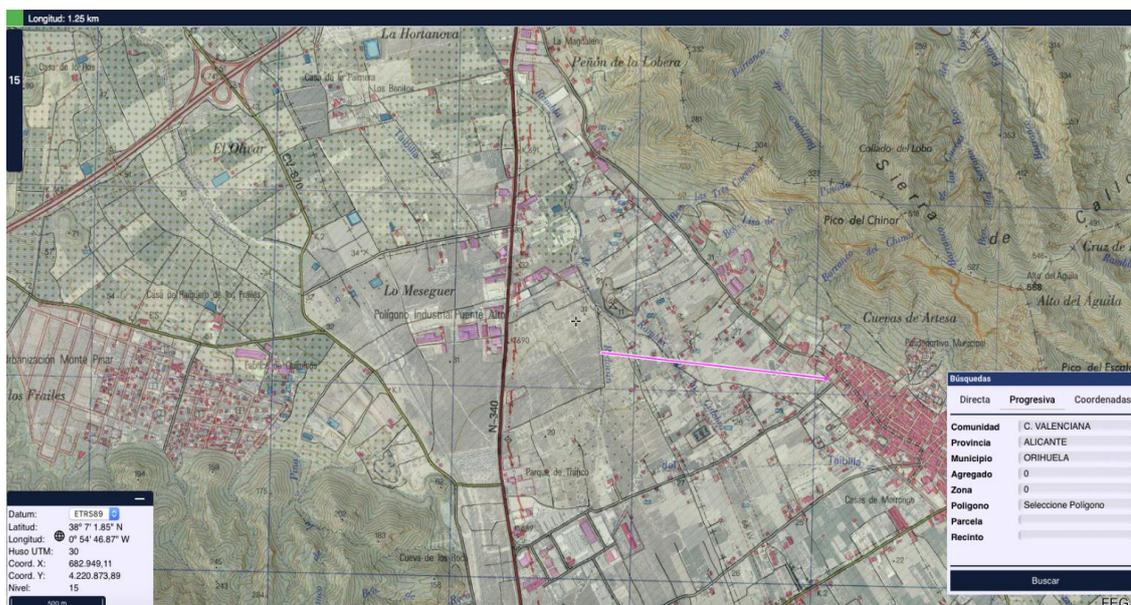


Figura 12. Distancia del emplazamiento a suelo urbano. Fuente: SIGPAC

4) DISEÑO DE LA PLANTA

En una planta de triaje y compostaje se llevan a cabo tres procesos básicos: la recepción y descarga de residuos, la separación de los residuos y el compostaje de la fracción biodegradable. Además, se ha de disponer de una serie de zonas auxiliares como son las oficinas y zonas de almacenamiento, un sistema de control de olores y un sistema de recogida de lixiviados.

A continuación, se va a diseñar cada uno de estos procesos, mostrándose al final el diagrama de flujo de la planta diseñada.

4.1) Zona de recepción y descarga

4.1.1) Diseño

En el diseño de la zona de recepción de residuos se deben tener en cuenta los siguientes condicionantes:

- Facilidad de acceso y descarga de los vehículos de transporte de RU.
- Capacidad de almacenaje temporal de los residuos coherente con la capacidad de la planta.
- Aspectos de seguridad e higiene.
- Buena visibilidad para los operarios.
- Fácil conexión con el resto de las zonas de la planta, especialmente con la zona de pretratamiento.

El acceso de los residuos al interior se produce a través de los muelles de descarga, diseñados para el volquete de los camiones de RU. Los residuos se almacenan temporalmente en un foso, que debe incorporar un sistema de recogida de lixiviados. Los residuos de entrada pueden tener una humedad excesiva, por su propia naturaleza o por acción de la lluvia; por ello, es necesario eliminar y confinar este exceso. El foso será una construcción pavimentada, para impedir posibles filtraciones al subsuelo.

El siguiente paso en el tratamiento de los residuos es el pretratamiento, el cual necesita que los residuos entren separados y dosificados. Por lo tanto, se tiene la necesidad de:

- Abrir las bolsas haciendo que los diferentes componentes queden separados.
- Introducir en el sistema de pretratamiento estos componentes a un ritmo que facilite los procesos llevados a cabo en éste.

La maquinaria que va a permitir cumplir estas condiciones es, en primer lugar, un equipo de elevación de cargas, que permita trasladar grandes cantidades de residuos tras una selección visual por parte de un operario, así como retirar del tratamiento materiales impropios, es decir, no tratables. Existen diferentes tipos de equipos de elevación de cargas; en el siguiente apartado

se detallará la máquina concreta a instalar. En segundo lugar, para la apertura de las bolsas se decide instalar una máquina abre Bolsas. Ésta recibe las paladas del elevador de cargas, que al tratarse de RU se trata en su mayor parte de bolsas de basura doméstica. La máquina rasga las Bolsas mediante un movimiento rotatorio de unas aspas metálicas, sin triturar el interior, dejando que los componentes sigan su camino separados. A la salida de esta máquina debe haber una cinta transportadora, donde son depositados los residuos, que siguen el flujo hacia el pretratamiento. Es importante la labor del operario situado en una cabina en alto, para permitirle una buena visibilidad. El operario es el encargado de dosificar la entrada de material en la planta y de introducir una cantidad adecuada en cada momento. Además, debe identificar visualmente en el foso los residuos voluminosos impropios (colchones, muebles) y retirarlos con el elevador de cargas o bien avisar a otro operario para retirarlos manualmente.

4.1.2) Elección de maquinaria

La maquinaria a elegir en este apartado es el equipo de elevación de cargas y la máquina abre Bolsas.

a) Máquina elevadora de cargas

Para la elección del equipo elevador de cargas nos basamos en el “Manual de Seguridad de los Útiles de Elevación de Cargas” de FREMAP, que para la selección del equipo adecuado detalla 6 aspectos en los que debemos fijarnos:

- Masa de la carga a elevar

Anteriormente se ha calculado que el máximo de flujo horario de residuos a introducir en la planta era de 35 toneladas por hora. Por tanto, se dimensionará el equipo el aparato para este flujo máximo. El factor que se debe estimar ahora es el tiempo de carga, es decir, el tiempo que tarda el operario en cargar el abre Bolsas con el elevador de carga. Teniendo en cuenta que siempre se tiene material para cargar y que el aparato también se dedica a retirar voluminosos, se puede estimar que el tiempo de carga es de 5 minutos. Por lo tanto, la masa de carga de cada elevación es:

$$M = 35.000 / (60/5) = 2.916,67 \text{ kg por carga} \quad (4)$$

Teniendo en cuenta que los residuos se comprimen en el camión de recogida, se puede estimar una densidad de los RU de 500 kg/m³. Así pues, el volumen de carga es:

$$V = 2916,67 / 500 = 5,83 \text{ m}^3 \quad (5)$$

- Posición del centro de gravedad de la máquina

En este aspecto se debe tener en cuenta la disposición del equipo, su forma, la masa de residuos de cada carga y la masa del propio equipo. Se debe buscar un método de movimiento que soporte la carga máxima; para ello se decidirá entre los diferentes tipos:

- Puente grúa, con el coste de instalación que conlleva.
- Giro rotatorio, instalado en el suelo y con menor coste de instalación.

En principio, debido a las masas que se deben trasladar (máximo de 3 toneladas), no parece necesaria la instalación de un puente grúa en la nave de selección. Por ello, se selecciona un giro rotatorio, ya que en el mercado hay equipos de este tipo lo suficientemente robustos para soportar las fuerzas debidas a la carga máxima.

- Características de la carga

Las características de la carga son las siguientes:

- Materiales diferentes y separados.
- Carga amontonada y no ordenada.
- Voluminosos, de gran tamaño en algunos casos.

Se debe buscar un equipo de prensión que permita el movimiento de una carga con las características descritas.

- Método de prensión y amarre

Debido a las características especiales de la carga, el equipo de prensión más usual para este tipo de carga es un pulpo hidráulico, de 4 ó 5 garras. El resto de los sistemas de prensión que se encuentran en el mercado (anillas, ganchos, paletas) no parecen apropiados para este caso. Este tipo de prensión permite cargar paladas de residuos y, a la vez, cargar los voluminosos cuando sea necesario.

- Configuración del amarre

Aquí se debe detallar el mecanismo que permite al pulpo hidráulico realizar el movimiento de las cargas. Se ha decidido ya la instalación de un giro rotatorio y de un pulpo hidráulico. Para la unión de ambos componentes se debe instalar un brazo hidráulico que permita el movimiento vertical de subida y bajada para recoger y depositar los residuos.

- Condiciones ambientales del equipo de elevación

En este aspecto se debe tener en cuenta el tipo de carga, en relación con su composición química, toxicidad, y sus posibles efectos adversos sobre el material de elevación. La mayoría de los

pulpos hidráulicos son metálicos; por lo tanto, son capaces de soportar la clase de efectos que pueden provocar los componentes de los RU. Una vez fijados los aspectos que debe cumplir el equipo para la elevación de cargas, se procede a seleccionar uno del mercado que cumpla dichos requisitos.

El medio de búsqueda de los diferentes componentes es el buscador Google, donde se ha encontrado la página web Directindustry.es, un comparador de productos industriales. En este comparador aparecen productos similares de diferentes fabricantes y se tiene acceso a los catálogos de cada uno. En primer lugar, se selecciona el pulpo hidráulico.

Se ha accedido a la página web de la empresa Blug S.L., que posee una gran variedad de pulpos hidráulicos. Primero se criba por la densidad de la carga, se elige la opción “Hasta 0,7 t/m³” y se accede al catálogo en PDF de este producto. En la Figura 13 se muestra el catálogo, donde se seleccionará el producto más adecuado a nuestras condiciones.

manganeso antidesgaste

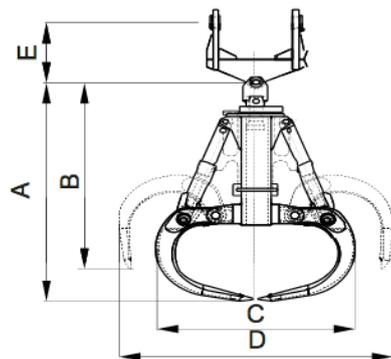


Equipamiento necesario

- Balancín o suspensión rígida de carretilla/grúa móvil.
- Suministro hidráulico desde grupo externo.

Características técnicas

- Estructura robusta en acero laminado S355 J2G3.
- Giro mecánico (120°) o hidráulico (360°).
- Puede trabajar en cualquier inclinación (± 60°).
- Diseño y Construcción s/ normas F.E.M. 1001/98 Sección I.
- Declaración CE de conformidad.



Modelo	Capacidad	Nº de garras	Presión trabajo	Grúa SWL	Peso	Dimensiones mm				
	m³					bar	t	kg	A	B
PNA-2000-0,7	2	5	250	2,7	1250	2260	1845	1945	2610	Según tipo de suspensión de carretilla/grúa
PNA-2500-0,7	2,5	5	250	3,1	1380	2370	1855	1990	2780	
PNA-3000-0,7	3	5	250	3,7	1550	2525	1870	2200	3100	
PNA-4000-0,7	4	5	250	5,1	2300	3110	2520	2330	3500	
PNA-5000-0,7	5	5	250	6	2530	3265	2530	2500	3800	
PNA-6000-0,7	6	6	250	7,6	3360	3480	2600	2520	4140	
PNA-7000-0,7	7	6	250	8,4	3520	3600	2630	2650	4400	
PNA-8000-0,7	8	6	250	9,3	3670	3710	2660	2760	4600	

LAS DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS SON APROXIMADAS, NOS RESERVAMOS EL DERECHO DE INTRODUCIR LAS MODIFICACIONES QUE ESTIMEMOS ÚTILES

Figura 13. Catálogo de pulpos hidráulicos. Fuente: blug.es

El modelo seleccionado es el **PNA-6000-0,7**, con una capacidad de 6 m³, una masa máxima de 3360 kilogramos y una disposición de 6 garras.



Figura 14. Pulpo hidráulico seleccionado. Fuente: blug.es

Se realiza la misma mecánica para seleccionar el rotator o giro rotatorio, que permitirá imprimir el movimiento al brazo hidráulico y al pulpo mediante un circuito de aceite. Se accede a la página web de la empresa Ferci, donde se tienen diferentes motores rotatorios. En este caso, el criterio de búsqueda es la carga axial, que se debe buscar en kN. Se convierten las 3 toneladas a kN, y se obtienen 28,6 kN en carga dinámica. A continuación, se selecciona el modelo más económico que supere esta carga.

Technical data

Rotation	Unlimited
Max axial load static, KN (lbf)	60 (13491)
Max axial load dynamic, KN (lbf)	30 (6745)
Torque at 25Mpa (3625psi), Nm (lb ft)	1800 (1328)
Rec oilflow, l/min (US gallon)	25 (6.6)
Weight, kg (lb)	43 (95)

Max working pressure:

Rotator	←R→	Max 25 MPa (3625 psi)
Grapple / Tool open	←G→	Max 20 MPa (2900 psi)
Grapple / Tool close	→G←	Max 30 MPa (4350 psi)

Connection:

G 1/2"
G 1/2"
G 1/2"

Figura 15. Catálogo de giros rotatorios. Fuente: ferci.es

El modelo seleccionado es el **Baltrotor GR-603**, con rotación de 360° y carga dinámica máxima de 30 kN.



Figura 16. Giro rotatorio seleccionado. Fuente: ferci.es

b) Máquina abrebolsas

Los abrebolsas son aparatos muy específicos y prácticamente solo se utilizan en plantas de tratamiento de residuos. En España hay varias empresas que comercializan este tipo de maquinaria. El factor de selección principal va a ser la capacidad de tratamiento, que se ha estimado en 35 t/h. Tras un primer vistazo se observa cierta dificultad en encontrar máquinas de este tipo capaces de tratar un flujo tan elevado de residuos. Finalmente, se ha encontrado una máquina con las condiciones estipuladas en la web de la empresa SPR (véase el catálogo en la Figura 17).



Figura 17. Catálogo de abrebolsas de SPR. Fuente: grupo-spr.com

En el catálogo de la Figura 17 se especifica un rendimiento máximo de 40 t/h, que suponemos que se cumple para el modelo **AB-2200**, de mayor tamaño y capacidad. Por ello, este modelo es el seleccionado para realizar la función de abrebolsas.

4.1.3) Esquema de distribución en planta

Para diseñar la distribución en planta de la zona de recepción y descarga de residuos, se debe tener en cuenta el principio de máxima eficacia, es decir, se deben realizar los diferentes procesos utilizando la mínima energía posible, lo que conllevará un menor gasto económico. También se atenderá a los condicionantes del apartado 4.1.1), entre ellos la seguridad, la higiene y la visibilidad. La geometría del espacio elegida debe estar relacionada con las necesidades particulares de los diferentes procesos llevados a cabo en el dicho espacio, y se justificará en cada caso. En cuanto a la cuestión de si se debe diseñar un espacio abierto, semi-abierto o cerrado, por cuestiones de control de olores y lixiviados es adecuado confinar el proceso de recepción en un espacio cerrado, en algún tipo de nave industrial.

Se enumeran a continuación los diferentes espacios que debe contener la zona de recepción y descarga de residuos:

- Fachada con muelles de descarga, donde los vehículos de transporte vierten su contenido.
- Foso de recepción, donde se reciben y almacenan temporalmente los residuos.
- Máquina abrebolsas, situada cerca de la alimentación de la línea de tratamiento.
- Retirada de voluminosos que serán llevados a rechazo o se reciclarán los componentes susceptibles de serlo.

- Cabina del operario del pulpo hidráulico.

Para el dimensionado de la zona se tendrá en cuenta los siguientes factores:

- El tránsito de camiones de descarga se produce en poco tiempo, debido a que la recogida de los RU se realiza normalmente en todos los municipios durante la madrugada y se descargan en la planta de tratamiento a primera hora de la mañana. Por lo tanto, se puede producir la llegada de varios camiones al mismo tiempo, y esto hace necesaria la instalación de varios muelles de descarga. Según legislación, el ancho máximo de cualquier tipo de camión es de 2,55 metros. Dado que se trata de una planta de tratamiento de alta capacidad, se propone la instalación de 5 muelles de descarga; de esta forma, no habrá problemas de atascos en la entrada, descarga o salida de camiones. El espacio que se necesita para la instalación de 5 muelles de descarga es, tomando el doble de la anchura del camión para cada muelle:

$$L = (2,55 * 2) * 5 = 25,5 \text{ m} \quad (5)$$

Este es el mínimo de la longitud de la fachada que contenga los muelles de descarga.

- La superficie necesaria para el foso de recepción es la necesaria para albergar 2,5 días de almacenaje de residuos. Dependiendo del manual de gestión de residuos se cuantifica este valor en 2,5 o 3 días. Este cálculo se realiza para poder hacer frente a posibles paradas de planta o averías. Por lo tanto, se debe hacer la estimación en primer lugar del volumen necesario, y a continuación de la superficie. El volumen de RU máximo en 2,5 días es:

$$m = (411.121 \text{ hab} * 1,43 \text{ kg/hab}) * 2,5 = 1.469,76 \text{ t} \quad (7)$$

Estimando una densidad media de los RU compactados en camión de 500 kg/m³:

$$V = (1.469,76 * 10^3) / 500 = 2.939,5 \text{ m}^3 \quad (8)$$

El foso de recepción tendrá una cierta profundidad bajo la cota del suelo de la nave, para aumentar el volumen de recepción, aunque no demasiada para permitir la maniobrabilidad del pulpo hidráulico. Además, los residuos se amontonan hasta una determinada altura. La altura entre el foso y las pilas de residuos puede ser de 6 metros, ya que en cuanto a la seguridad las pilas no deberían llegar a una altura peligrosa. La superficie necesaria será:

$$S = 2.939,5 / 6 = 490 \text{ m}^2 \quad (9)$$

Se puede estimar que la superficie de la zona de recepción se divide en dos zonas, la zona del foso y la de maniobras. Por lo tanto, una estimación posible de la superficie de la nave es de alrededor de 1.000 m². Esto, unido a la condición de los muelles de descarga (L > 25,5 metros), llevan a diseñar un espacio de 30 X 33 m. de superficie. La mitad del área estará dedicada al foso de descarga y la otra mitad al resto de tareas.

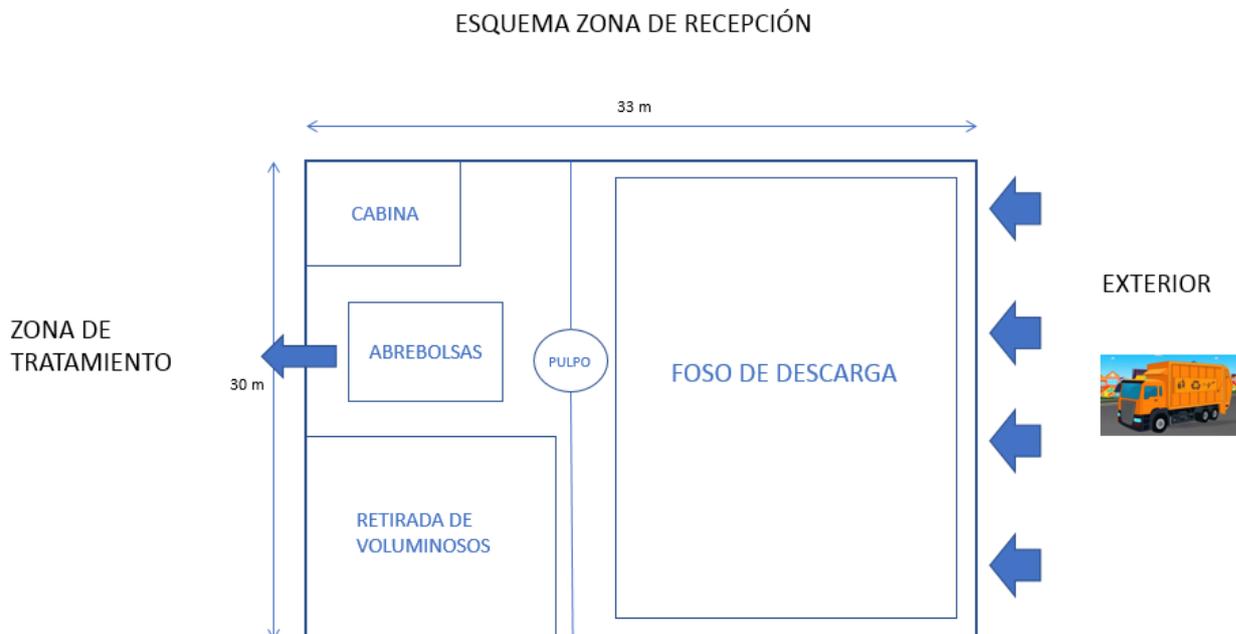


Figura 18. Esquema de distribución en planta de la zona de recepción y descarga. Fuente: Elaboración propia

4.2) Zona de pretratamiento de residuos (triaje)

4.2.1) Diseño

En la zona de pretratamiento se produce la separación de las fracciones aprovechables de los residuos urbanos. La valorización se realiza sobre fracciones separadas, y por eso se deben separar y clasificar los componentes de los residuos. Un triaje y selección efectiva de los residuos permite un porcentaje de recuperación mayor y un porcentaje de rechazo a vertedero menor, lo que significa un impacto medioambiental menor, así como un resultado económico positivo si nuestro caso es el de una empresa explotadora de recursos. El primer paso es decidir qué componentes se quiere seleccionar y separar; esta decisión está relacionada con la posibilidad de su reciclado y con la existencia de gestores de dichos componentes a los que poder enviar los subproductos.

El principal factor de diseño para este proceso es el mecanismo de selección que permita separar cada fracción que se pueda convertir en un subproducto, así que se irá fracción a fracción detallando la solución tecnológica adecuada para el triaje. Además, para los subproductos separados se requerirán prensas embaladoras para facilitar su traslado a los recicladores correspondientes.

a) Materia orgánica

En el diseño del pretratamiento existen razones de peso para realizar la separación de la materia

orgánica en primer lugar. La primera razón es la higiene, ya que si se desvía la materia orgánica al comienzo se impide que ésta atraviese el resto de maquinaria, y así se impiden problemas de suciedad, toxicidad o deterioro de maquinaria. La posible acumulación de materia orgánica en las cintas o algún separador puede producir también problemas de olores. Por lo tanto, se debe investigar y diseñar un sistema que separe la materia orgánica del resto. La materia orgánica separada deberá ser trasladada mediante una cinta transportadora hasta la zona de compostaje, para realizar su valorización.

El sistema de separación utilizado en la mayor parte de plantas similares es el cribado rotatorio en trómel. Se criba el material menor de un determinado tamaño, que se trata de materia orgánica con impurezas, y se envía a compostar.

La diferencia entre plantas se encuentra en el tamaño de la criba, encontrándose ejemplos desde 60 mm hasta 90 mm. La decisión de la luz de los huecos del trómel es importante. Una luz mayor permitirá el paso de más impurezas, que en una cantidad demasiado grande provocaría problemas en el proceso de descomposición de la materia orgánica. En el caso de una luz demasiado pequeña, podría introducirse en la línea de plásticos cierta cantidad de materia orgánica, la cual será imposible de separar y transitará por toda la línea de triaje causando en el peor de los casos algún problema ya descrito anteriormente. Por lo tanto, se seleccionará un trómel con una luz igual o cercana al máximo (90 mm), prefiriendo introducir impurezas en el sistema de compostaje (separables finalmente en el afino final) a introducir demasiada materia orgánica en el sistema de triaje. La elección de la maquinaria concreta se realizará en el apartado siguiente.

b) Envases de plástico

El caso de los envases de plástico es especial, ya que por la Ley de Envases 11/1997 se fija un porcentaje del total de envases producidos y comercializados por las empresas envasadoras que debe ser reciclado. Para ello, se fijó la creación de un Sistema Integrado de Gestión administrado por la empresa Ecoembes, que recogerá el volumen de envases de plástico que se separa en la planta. Las envasadoras pagan un canon al producir envases para que éstos sean gestionados correctamente.

Ecoembes recoge los envases ya separados en sus diferentes tipos; por lo tanto, no es suficiente con separar los envases de plástico del resto de componentes.

En primer lugar, se separan los envases de plástico del resto de componentes (metales, impropios). Para ello, se debe aprovechar una de las propiedades del plástico: su baja densidad. Por ello, una aspiración con una potencia adecuada nos permite una separación perfecta, dejando los materiales pesados en la cinta y aspirando y depositando en otra cinta los materiales ligeros, que deben seguir el proceso de triaje. La solución tecnológica adecuada para realizar esta aspiración es un separador aerodinámico o ciclón. La elección de la máquina se realiza en el apartado siguiente.

c) Papel y cartón

Entre la fracción ligera que sale del ciclón, además de envases de plástico se tienen también los residuos de papel y cartón. Al diseñar una planta automática se intenta en todo momento dar prioridad a la separación y a los procesos automáticos sobre los manuales. Una opción para el triaje automático de papel y cartón sería un separador óptico, pero se descarta por la variedad de densidad, tipo y longitud de onda y, por lo tanto, la dificultad de identificar estos componentes mediante sensores ópticos. A diferencia de los diferentes plásticos (PET, PEAD, Brick) que tienen una composición única e identificable, existen diferentes tipos de papel y de cartón, impidiendo el uso de separadores ópticos para realizar esta función. Tampoco se podría utilizar ningún tipo de separador mecánico ni basado en ninguna propiedad del papel o del cartón característica.

Por lo tanto, no queda otra opción que realizar una separación manual, a partir de una inspección visual. Será necesario instalar una cabina aislada y cerrada por donde debe circular la cinta transportadora saliente del ciclón. Los operarios se sitúan a ambas partes de la cinta transportadora, retiran los componentes de papel y de cartón en unas cavidades que conectan con los depósitos de papel y cartón. De ahí, se envía el material a las prensas, formándose balas preparadas para su transporte.

d) Papel de aluminio

En la fracción ligera del ciclón queda todavía un componente que no es específicamente un envase de plástico, aunque sí es reciclable y, por lo tanto, valorizable. Se trata del conocido como papel de aluminio. Se trata de un material metálico, pero lo suficientemente ligero para ser aspirado en el separador aerodinámico. Por tanto, se debe separar del resto de plásticos antes de que se produzca la separación definitiva entre tipos de plástico.

Debido al hecho de que es el único material metálico que se tiene en esta línea, se puede utilizar esta propiedad para que se produzca la separación. Se utilizará la inducción electromagnética para atraer los materiales metálicos y separarlos del plástico. En concreto, se instalará una máquina que funciona mediante corrientes de Foucault. La máquina genera un campo magnético variable, que al ser atravesado por materiales metálicos produce una corriente eléctrica y la generación de electroimanes en el metal, de polo opuesto al campo magnético inicial, produciéndose la atracción magnética y la separación efectiva entre los componentes. El material separado se envía a un depósito y posteriormente a la prensa de este subproducto.

e) PET y PEAD

En este momento sólo se deben tener en esta línea envases de plástico, que según lo determinado por los gestores de reciclado, se deben separar en cuatro fracciones equivalentes a cuatro tipos de plástico. Para el caso del triaje automático de envases de plástico, el método más extendido desde el desarrollo completo de esta tecnología es el uso de separadores ópticos. Estos

separadores utilizan sensores ópticos que escanean linealmente una superficie de la cinta transportadora y a partir de un PLC en el que se introduce la longitud de onda de los diferentes tipos de plásticos, se consigue identificar cada componente que transita por la cinta. El PLC, conociendo la posición axial del componente en la cinta y la velocidad de esta, envía una orden a un soplador al borde de la cinta que produce un chorro de aire comprimido en el momento adecuado para enviar el componente a un depósito o a otro. Se puede realizar la separación de tres corrientes en cada separador óptico; en nuestro caso, para conseguir las cuatro fracciones separadas de plástico y un rechazo necesitamos dos separadores ópticos colocados en serie.

En el primero de ellos se obtendrá la fracción de PET, de PEAD y el resto que seguirá hasta el segundo separador.

El PET (Teraftalato de polietileno) es un polímero sintético utilizado principalmente para envases de refrescos y agua. El proceso de reciclado que sufre es mecánico, es decir, solo se transforma físicamente, no hay transformación química. El PET reciclado no se utiliza para los mismos fines que el original, ya que en el proceso de reciclado se pierde calidad en el material. Se suele utilizar para fabricar fibra poliéster o piezas plásticas de diferentes tipos.

El PEAD (Polietileno de Alta Densidad) es también un polímero sintético que se utiliza para envasar productos alimenticios, detergentes y otros productos químicos. Su reciclaje es similar al del PET: solo hay transformación física. El PEAD reciclado se puede utilizar para muchas funciones: jardinería, agricultura, automoción...

Así pues, se instalará un separador óptico por donde se hará transitar el material saliente del separador magnético, mediante una cinta transportadora. Se diseña una separación en tres fracciones:

- Fracción de resto. El material plástico que no es PET ni PEAD no recibe el soplido y es depositado en el contenedor más cercano a la salida de la cinta. El contenedor conecta con una cinta transportadora que se dirige al segundo separador óptico.
- PET. Cuando el sensor identifica un componente de PET, envía la orden de soplar al borde de la cinta con la potencia adecuada para que se deposite en el segundo contenedor. El contenedor almacena este material hasta que se tiene suficiente para enviarlo a la prensa.
- PEAD. Si el sensor identifica un componente de PEAD la orden del soplado es de mayor potencia que la anterior, la suficiente para enviar el material al tercer contenedor, el más alejado de la cinta transportadora. El contenedor almacenará este material hasta que se tenga suficiente para enviarlo a la prensa.

f) Bricks y Plásticos mixtos

Los bricks y los plásticos mixtos son los otros tipos de envases que se quiere separar para su valorización.

El envase de brick es un componente multimaterial, formado por capas de diferentes materiales, fabricado de esta manera para contener bebidas o líquidos perecederos. La fabricación en multicapa dota al envase de las características de estanqueidad, higiene, rigidez y protección frente al exterior necesarios para bebidas como zumos, lácteos o bebidas alcohólicas. En su proceso de reciclado se separa el material en sus diferentes componentes (papel, cartón y aluminio) y estos se reciclan de la manera habitual.

Dentro de la etiqueta de plásticos mixtos se engloban distintos tipos de plásticos, con propiedades y tipo de reciclado diferente, lo que hace muy difícil su reciclaje. Están formados por polipropileno (alimentación, gel, champú), poliestireno (alimentación) y PVC (velas, productos de higiene). Se suelen encuadrar en una sola fracción debido a la pequeña cantidad de estos plásticos que se introducen en los RU. Este subproducto es, como se ha dicho, el más difícil de reciclar. Generalmente, el gestor de reciclaje somete a la mezcla a una transformación física, mediante trituración y lavado, produciendo un material reciclado utilizado en jardinería o agricultura.

Tras la salida del primer separador óptico, la fracción del resto debe ser conducida mediante una cinta transportadora hasta un segundo separador óptico. En este se diseña la misma disposición que en el primer separador, es decir, una separación en tres fracciones:

- Resto de materiales. Estos no reciben soplido y van a un primer contenedor que debe ir a rechazo, es decir, al vertedero, ya que se tratará de plásticos u otros materiales ligeros no valorizables.
- Bricks. Al segundo contenedor. Se envían mediante chorro de aire comprimido, se almacenan y posteriormente se prensan.
- Plásticos mixtos. Al tercer contenedor se envían los componentes identificados como plásticos mixtos, de los tres tipos. Se utiliza un chorro de aire comprimido de mayor potencia que en el caso anterior para asegurar que se dirija al contenedor adecuado. Allí se almacenan y posteriormente se prensan.

g) Materiales ferromagnéticos

En la fracción pesada que no es aspirada por el ciclón aún se puede encontrar material valorizable, en concreto los metales férricos. En los RU se encuentran principalmente restos de materiales de hierro y acero, que provienen sobretodo del fin de uso de productos como electrodomésticos, envases, aerosoles o máquinas. Estos materiales son 100% reciclables con una separación adecuada, además de serlo ilimitadamente mediante sucesivas fundiciones. Para la separación de estos materiales del resto de materia pesada se utiliza una separación magnética, aprovechando la capacidad ferromagnética de los materiales férricos.

Para ello, se instalará un separador ferromagnético, que mediante un imán atraerá los materiales férricos, trasladándolos a un depósito. Existen diferentes tipos de separadores de esta clase; la elección depende del tipo de residuos que debe ser capaz de separar. En general, el imán se sitúa

encima de la cinta transportadora, atrae la materia férrica y mediante el uso de una banda autolimpiante se retira el material haciéndolo caer en un depósito.

h) Prensas de subproductos

La finalidad de la prensa de subproductos es la compactación de estos para facilitar su transporte, disminuyendo el volumen necesario y, por lo tanto, reduciendo el coste de la gestión de los subproductos. Se utilizarán prensas hidráulicas horizontales, que comprimen el material hasta convertirlo en una bala o fardo de un volumen normalizado, aspecto importante para el movimiento por la planta de estas balas.

La decisión del número de prensas a instalar dependerá de la capacidad de la planta, pero se instalarán al menos dos para poder seguir preparando el material en caso de avería de una de las prensas. Los desplazamientos internos entre el contenedor que recibe el subproducto de la línea y la prensa se deben realizar a través del uso de contenedores móviles, que permiten la descarga en la prensa de los materiales. Siempre que sea posible, se trasladarán los materiales directamente a las prensas a través de conductos o rampas; para ello, se tenderá a facilitar tales desplazamientos a la hora de realizar la distribución en planta.

4.2.2) Elección de maquinaria

La maquinaria a elegir en este apartado es la siguiente: cintas transportadoras, trómel, separador aerodinámico, separador por corrientes de Foucault, separador ferromagnético, separadores ópticos y prensas de subproductos. También se tendrán que seleccionar contenedores móviles para los subproductos.

a) Cintas transportadoras

Las cintas transportadoras son el principal medio de transporte de los residuos por el interior de la planta. Las cintas transportadoras son un sistema de transporte continuo en el que los objetos son transportados sobre una cinta que se mueve debido a la acción de algún elemento motriz accionado por un motor o por la fuerza de la gravedad, en algún caso.

Existen diferentes tipos de cintas transportadoras teniendo en cuenta su elemento motriz, el material de la cinta, la superficie de la cinta, su inclinación, su sistema de apoyo, etc. A la hora de decidir la instalación en cada trayecto de la planta de un tipo de cinta, se deben tener en cuenta todos estos factores para caracterizar correctamente la cinta y acceder con más facilidad a las empresas y sus catálogos:

- Según el elemento motriz. Se tienen cintas accionadas por rodillos (de varios tipos y formas) y ruedas (de diferentes tamaños y formas). Estos elementos están situados bajo la cinta, son accionados por un motor que los hace girar, produciendo el movimiento continuo de la cinta.

- Según el material de la cinta. En general distinguiremos entre las cintas de caucho y las metálicas. Dependiendo del tipo de material que deban transportar puede ser preferible uno u otro tipo.
- Según la superficie de la cinta. La superficie de la cinta puede variar para adaptarse al tipo de trayecto y al tipo de material que se transporta. La cinta puede ser lisa, para trayectos horizontales o de poca inclinación; o de distinta rugosidad, dependiendo del rozamiento que se quiera aplicar a los objetos a fin de mantenerlos a determinada velocidad.
- Según la inclinación. Dependiendo del trayecto, de la altura de su salida y de su llegada se deberá instalar una cinta horizontal o inclinada, graduando la inclinación de esta.
- Según el sistema de apoyo. Las cintas pueden ser fijas o movibles. Para el caso estudiado, dado el tipo de transporte necesario, las cintas serán fijas.

Debido al elevado número de cintas transportadoras necesarias en esta zona, se realiza un resumen de las cintas que se van a diseñar, señalando el trayecto que realizan, así como su capacidad horaria máxima:

Tabla 5. Cintas transportadoras del pretratamiento. Fuente: Elaboración propia

Cinta transportadora	Trayecto	Residuo	Capacidad T/h
C-01	Del Abrebolsas al Tromel	RSU	35
C-02	Del cribado del Tromel a la zona de Compostaje	Materia orgánica	18,2
C-03	De la salida del Tromel al Separador aerodinámico	Materia inorgánica	16,8
C-04	Del Separador aerodinámico al Separador ferromagnético	Fracción pesada ciclón	8,6
C-05	Del Separador aerodinámico al Separador electromagnético	Fracción ligera ciclón	8,22
C-06	Del Separador electromagnético al Separador óptico 1	Envases de plástico	2,8
C-07	Del Separador óptico 1 al Separador óptico 2	Bricks y Plástico mixto	1,4

Los criterios de selección de las cintas son los siguientes:

- Capacidad horaria. Se realizará una estimación del tonelaje horario que transita por cada cinta.
- Material transportado. Se detalla el tipo de material que se transporta.
- Perfil de la cinta. Se decide la inclinación de la cinta teniendo en cuenta la altura a la que se transporta el material.

Un factor importante en el dimensionado de cintas transportadoras es la velocidad de la cinta. Para cintas de material flexible utilizadas en residuos, la velocidad típica es de entre 2,0 y 2,5 m/s, salvo en el tramo de separación manual donde se reducirá ésta para permitir el trabajo de los operarios. En estos casos se recomiendan velocidades de entre 0,1 y 0,25 m/s. Estas velocidades recomendadas se obtienen del Manual McGraw Hill de Reciclaje de Herbert F. Lund. Se deciden unas velocidades de 2,2 m/s y 0,2 m/s, por ser velocidades medias dentro del

rango recomendado.

En cuanto al tipo de banda, debido al tipo de residuos que deben transportar, se eligen cintas planas de caucho con bordes altos para impedir la caída de los materiales por los costados. Se decide instalar bandas de caucho, ya que las bandas metálicas están dirigidas al transporte de materiales muy pesados, en el presente caso no se transportará materiales de peso excesivo. Las cintas de caucho suelen tener problemas cuando transportan grasas o aceites, no tendremos problema en este caso, ya que en teoría no hay grandes cantidades de estos componentes en los RU que entran en planta. En todo caso encontraremos grasas y aceites animales o vegetales, que se cribarán en el trómel de materia orgánica. Por ello puede interesar que las cintas que transporten la materia orgánica sean de un caucho especial con más resistencia a grasas y aceites. Los bordes altos son importantes debido a la alta velocidad de transporte y a los múltiples cambios de cinta que se deben producir. En el tramo de la cabina de triaje manual de papel y cartón, se prescinde de los bordes altos para facilitar el acceso de los operarios a la cinta.

También debemos dimensionar el ancho de banda. Existen diferentes métodos teóricos para seleccionar el ancho de banda, aunque en última instancia se decidirá teniendo en cuenta aspectos como la separación correcta entre componentes al introducirse en los diferentes separadores.

Los fabricantes nos ofrecen tablas en las que se puede consultar el ancho de banda mínimo necesario para cada cinta transportadora. Para el caso de material sin clasificar, que es el que entra en la planta, se encuentra la siguiente tabla en los catálogos del fabricante Savatech. Se tiene en cuenta el mayor bulto que podemos encontrarnos entre los residuos. La tabla aparece en pulgadas, se convierte en milímetros para mayor facilidad de cálculo:

Tabla 6. Ancho de banda según el tamaño del material. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del fabricante

Ancho de banda (mm)	Tamaño máximo material (mm)
360	640
410	760
460	1020
510	1270
610	2030
760	3560
910	4570
1070	5080
1220	6100
1370	7110
1520	7620

Se trata en cada caso de estimar el tamaño del material más grande que transitará por cada tramo. Para ello es necesario saber que fracción de RU transita por cada trayecto, y estimar el tamaño

del residuo más grande de entre esos componentes.

Por último, en cuanto a las inclinaciones recomendadas para elevar o hacer descender materiales, los fabricantes ofrecen distintas inclinaciones máximas dependiendo de factores como la velocidad, el tipo de material y las condiciones de carga. Se tendrán en cuenta en cada caso las recomendaciones del fabricante.

- *Cinta transportadora C-01*

Se trata de la cinta que transporta los materiales desde el abrebolsas hasta el trómel. Tenemos en cuenta que el abrebolsas se sitúa a cota cero para facilitar el trabajo del pulpo hidráulico. Por otra parte, el trómel se debe situar a una altura que permita situar en su parte inferior la maquinaria necesaria para recoger la fracción cribada. Luego la cinta será de tipo inclinado. Para el tonelaje tendremos en cuenta que todos los residuos transitan por esta cinta, luego se estima el máximo de 35 t/h. La inclinación máxima para asegurar el correcto desplazamiento en una cinta sin rugosidad es de 30°. En este tramo se tendrán todos los tipos de residuos, teniendo en cuenta que se retiran los voluminosos. Aun así, puede introducirse algún pequeño electrodoméstico además de las botellas de plástico normales. Por lo tanto, estimaremos para estar del lado de la seguridad el tamaño máximo del residuo en el escalón de 356 mm, es decir 35,6 centímetros, que puede ser el caso de un pequeño electrodoméstico. Así el ancho de banda tendrá un mínimo de 760 mm.

Vamos a buscar entre los fabricantes de cintas transportadoras alguna que cumpla con las características que hemos fijado. En la web de la empresa Savatech, dentro de los catálogos, se pueden encontrar todo tipo de cintas transportadoras en cuanto a material de la banda, perfil y tipo de accionamiento. Elegimos la adecuada para la C-01. Entre los modelos de chapa plegada reforzada que funcionan por rodillos se elige el ancho de banda y la inclinación.

BANDAS DESLIZABLES EN STOCK												
TIPO DE BANDA	TIPO DE FABRICACIÓN (N/mm)	Nº de capas	ANCHO									
			400	500	600	650	800	1000	1200	1300	1400	1600
EP 250/2 2/0 Y	EP 125	2		●		●	●			●		
EP 250/2 2/0 MOR	EP 125	2	●					●		●		●
EP 400/3 2/0 Y	EP 125	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
EP 400/3 2/0 MOR	EP 125	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Figura 19. Catálogo de cintas transportadoras de la empresa Savatech. Fuente: savatech.eu

Se elige el modelo de banda de dos capas, de caucho liso normal (Y) y con ancho de banda de 800 mm.

Sabemos que es necesaria una inclinación para elevar el flujo. En el catálogo de Savatech se pueden consultar las inclinaciones recomendadas para cada tipo de cinta. Para el tipo de bandas

lisas se recomienda una inclinación máxima de entre 15° y 22° dependiendo del tipo de material que se transporta. Haremos una estimación del espacio longitudinal necesario en el caso de esta cinta, que debe elevar el material desde cota cero (0,5 metros aproximadamente) hasta alrededor de los 3 metros.

Se calcula mediante trigonometría, y se obtienen 6,2 metros en horizontal para instalar esta cinta. Es una distancia que podemos dividir entre las dos zonas, la mitad en la zona de recepción y la otra mitad en la zona de triaje.

Las características de la cinta son las siguientes, eligiendo el ancho de banda normalizado superior al mínimo calculado:

Tabla 7. Cinta transportadora C-01. Fuente: Elaboración propia

Material cinta	Caucho liso
Ancho de banda mm	800
Inclinación °	22



Fig 20. Cinta transportadora de alimentación al pretratamiento. Fuente: bandastransportadoras.info

- *Cinta transportadora C-02*

Esta cinta recoge la materia orgánica cribada en el trómel y la transporta hasta la zona de compostaje. Se debe tener en cuenta que la cota a la que se debe introducir el material en el reactor de descomposición es alta, luego la cinta debe tener algún tramo inclinado para elevar el material. Se tendrá un tramo llano al recoger el material cribado y posteriormente un tramo inclinado de 22° que permita alcanzar la cota necesaria para poder introducir el material en el reactor, que será de aproximadamente 3,5 metros. Además, el material que se transporta es materia orgánica, luego no habrá problema con utilizar una cinta de caucho, pero como comentamos en la introducción, podemos asegurar la vida útil de la banda instalando una cinta de un caucho especial resistente a grasas y aceites, como el conocido como MOR. El ancho de banda se estima teniendo en cuenta el material de máximo tamaño de este flujo. Teniendo en cuenta que los materiales que transitan por este tramo han pasado por una criba de 90 mm, éste

será el tamaño del residuo mayor. En la tabla se obtiene un ancho de banda mínimo de 460 mm. En el mismo fabricante se puede encontrar un modelo similar al anterior con un ancho de banda de 500 mm. El resumen de sus características es el siguiente:

Tabla 8. Cinta transportadora C-02. Fuente: Elaboración propia

Material cinta	Caucho MOR
Ancho de banda mm	500
Inclinación °	0 / 22

MOR	Revestimiento moderadamente resistente al aceite. Adecuado para productos con bajo contenido de grasas y aceites animales y vegetales (granos, canola, desechos, compost, mezclas de forraje).
------------	--

Figura 21. Características del tipo de banda con material MOR. Fuente: savatech.eu

- *Cinta transportadora C-03*

Esta cinta sale del trómel y debe llevar el flujo de residuos hasta el ciclón. Tenemos en cuenta que el ciclón se debe instalar a cota cero por sus características. Recordamos que el trómel está a 3 metros por encima del suelo, por lo tanto, esta cinta transportadora debe tener un tramo de bajada a 22° y un tramo horizontal de entrada al ciclón. Se trata de plásticos, papel, cartón y metales. Por ello en cuanto al cálculo del ancho de banda podemos estimar que los materiales de máximo tamaño serán botellas de plástico. Alrededor de 25 ó 30 centímetros es el tamaño de las botellas de plástico más grandes en el mercado, que nos da un ancho de banda mínimo de 760 mm.

Encontramos el modelo adecuado a las características siguientes, en dos tramos:

Tabla 9. Cinta transportadora C-03. Fuente: Elaboración propia

Material cinta	Caucho liso
Ancho de banda mm	800
Inclinación °	22 / 0

- *Cinta transportadora C-04*

Esta cinta recoge la fracción pesada del separador aerodinámico y lleva el material hacia el rechazo a vertedero, haciéndolo pasar por un separador ferromagnético para recuperar los componentes férricos. En cuanto a la diferencia de cotas, la salida del ciclón y la llegada al rechazo deben situarse a cota cero, luego la cinta debe ser horizontal. Estimar el tamaño máximo de los residuos que transitan por esta cinta es difícil, ya que los materiales metálicos que se encuentran en los RSU son muy diferentes. Para el diseño del ancho de banda tenemos en cuenta también los anchos de banda posibles para el separador ferromagnético. Estimamos un residuo máximo de entre 20 y 30 centímetros, obteniendo un ancho de banda mínimo de 760 mm.

Tabla 10. Cinta transportadora C-04. Fuente: Elaboración propia

Material cinta	Caucho liso
Ancho de banda mm	800
Inclinación °	0

- *Cinta transportadora C-05*

Se trata de la cinta que pasa por el interior de la cabina de triaje manual de papel y cartón. Esta cinta debe adecuar sus características a las medidas antropométricas. Se situará la cinta a una altura que permita una correcta ergonomía de los operarios en su trabajo. Ya justificamos la velocidad de la cinta (0,2 m/s), y en el caso del ancho de banda hay que tener en cuenta la necesidad de una superficie mayor para mejorar la inspección visual de los operarios.

1) Altura de la cinta transportadora:

Nos basamos en el libro “Las dimensiones humanas en los espacios interiores” de J. Panero. Se ofrecen los valores típicos para una correcta postura de los operarios. Se debe tener en cuenta la posición de los operarios en el trabajo, las posibilidades son: posición de pie o posición sentados. Si se tiene en cuenta que los operarios deben hacer frente a una jornada laboral normal de 8 horas, parece adecuado instalar algún tipo de asiento para estos. Para este caso los valores extraídos de distancia entre el suelo y la cinta transportadora es de entre 86,4 a 91,4 cm. Se decide una altura sobre el suelo de 88,9 cm.

2) Ancho de banda:

Teniendo en cuenta las características especiales de esta cinta, el factor que nos hará decidir el ancho de banda en este caso será la facilidad para los operarios para ejercer su función. Los operarios se sitúan a ambos lados de la cinta y están sentados, luego el ancho de banda no debe de superar un límite lógico para que haya acceso a todos los residuos sin producir una postura peligrosa en los operarios. Un ancho de banda de 800 mm parece adecuado teniendo en cuenta la proximidad de los operarios a la cinta y el tamaño medio del brazo humano.

Tabla 11. Cinta transportadora C-05. Fuente: Elaboración propia

Material cinta	Caucho liso
Ancho de banda mm	800
Inclinación °	0
Altura sobre el suelo	88,9 cm

- *Cinta transportadora C-06*

Esta cinta transporta los envases de plástico hacia el primer separador óptico. Para dimensionar esta cinta debemos atender a las características especiales de los separadores ópticos:

1) Ancho de trabajo.

Los separadores ópticos, debido a la tecnología precisa que utilizan, trabajan con anchos de trabajo mayores que los que serían necesarios en una cinta transportadora normal. Se trabajan con anchos de trabajo de más de 1 metro. Debemos dimensionar la cinta para que se aproveche la totalidad del área de trabajo. No es necesario que el ancho de banda de la cinta coincida con el del separador, pero sí añadir algún mecanismo que permita que a la entrada del separador se dosifique el material en todo el ancho de trabajo.

2) Diferencia de cota.

Debido a la fisionomía del separador óptico, éste necesita trabajar a una cierta cota, por lo tanto, no podemos diseñar una cinta horizontal, sino que debemos elevar el material.

Diseñamos la cinta transportadora con el máximo ancho que ofrece nuestro fabricante, 1200 mm, instalando distribuidores de material al comienzo y al final de la cinta, en la entrada del separador óptico. Como hemos dicho se diseña un tramo inclinado a la salida del separador electromagnético y un tramo horizontal antes de la entrada del separador óptico.

Tabla 12. Cinta transportadora C-06. Fuente: Elaboración propia

Material cinta	Caucho liso
Ancho de banda mm	1200
Inclinación °	22 / 0

- *Cinta transportadora C-07*

Se trata de un caso similar al anterior, luego, por la misma justificación, el ancho de banda de esta cinta será de 1200 mm. Esta cinta recoge el material de “resto” del primer separador óptico y lo transporta hasta el segundo. Debido a la geometría de separación en un separador óptico, el material separado desciende hasta la cinta, que puede diseñarse como horizontal. Para ello se diseña un sistema en cascada, comenzando en altura en el primer separador y descendiendo desde ahí hasta el segundo, que estará situado a continuación en una posición cercana. En la salida del primer separador óptico se puede colocar una tolva que disemine el material a lo ancho de la cinta C-07, además a la entrada del separador óptico 2 habrá un sistema como en el primer separador para expandir el material al ancho completo del separador.

Tabla 13. Cinta transportadora C-07. Fuente: Elaboración propia

Material cinta	Caucho liso
Ancho de banda mm	1200
Inclinación °	0

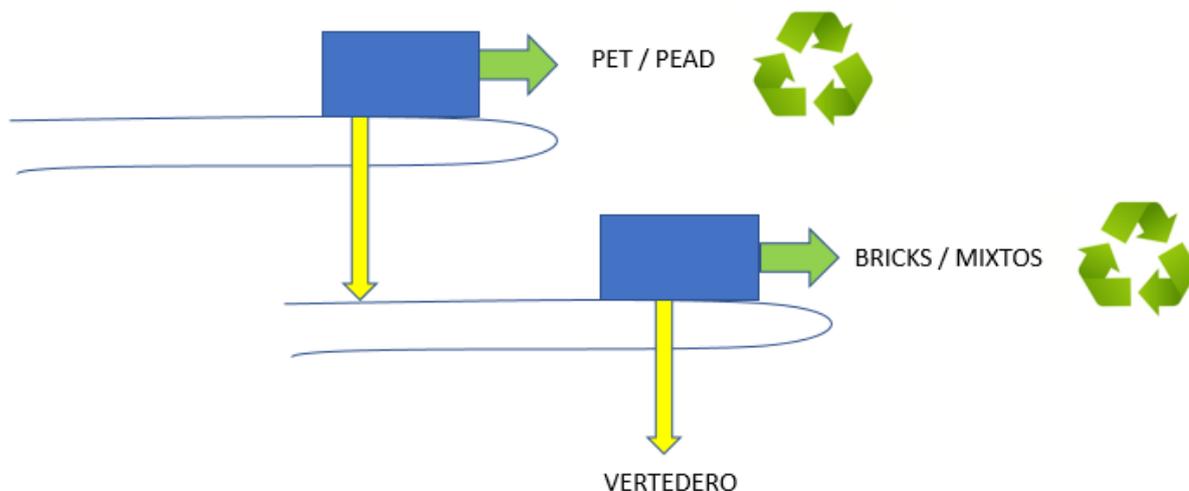


Figura 22. Esquema de funcionamiento de los separadores ópticos. Fuente: Elaboración propia

b) Trómel

Para la separación entre materia orgánica e inorgánica se realiza un proceso de cribado. Se decide que la máquina de cribado más adecuada para el tipo de separación que queremos obtener es un trómel. El trómel es un tambor circular giratorio, donde los residuos son transportados longitudinalmente produciéndose el cribado de los componentes menores que el tamaño de criba.

El dimensionamiento del trómel se realiza en base a las ecuaciones propuestas por Tchabanougous en su libro Gestión Integral de Residuos Sólidos. El tamaño de la criba será de 90 mm, se justificó en el apartado 4.2.1). El resto de las características se calculan con las siguientes ecuaciones, en primer lugar el diámetro teórico, con la ecuación (10):

$$D_{teórico} = \left[\frac{11.36 \cdot Q_t}{d_b \cdot F \cdot K_v \cdot g^{0.5} \cdot \tan \alpha} \right]^{-0.4}$$

Donde se calcula el diámetro del trómel a partir de:

- 1) Q_t = caudal de residuos en kg/s

$$35 \text{ ton/h} = 35.000/3.600 = 9,72 \text{ kg/s}$$

- 2) d_b = densidad de los materiales tratados

$$500 \text{ kg/m}^3$$

- 3) F = factor de relleno (dato aportado en el libro)

$$0,33$$

4) K_v = factor de corrección de velocidad (dato ofrecido en el libro)

1,35 para un ángulo de 3°

5) Por lo tanto, el diámetro teórico es:

$$D = 1,55 \text{ m}$$

Se tomará un diámetro normalizado de 2 metros para asegurar un cribado efectivo.

En el caso de la velocidad de rotación, siguiendo la misma fuente se tiene la siguiente ecuación, (11):

$$n_c = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{g}{r}}$$

La velocidad de rotación teniendo en cuenta un radio del trómel de 1 metro es de:

$$n_c = 0,5 \text{ rev/s} = 30 \text{ rpm}$$

Conociendo el valor del radio interno del trómel y su tamaño de criba se puede comenzar la búsqueda del equipo que reúna estas características. Para ello se accede al buscador Google y se realiza la búsqueda de un trómel del tipo que detallado anteriormente. Se accede a la página web de Bianna Recycling, donde encontramos una gran variedad de trómeles. Seleccionamos los trómeles de cribado para residuos urbanos, donde podemos seleccionar el modelo que necesitamos según las características calculadas:

MODELO	Diametro (mm.)	Longitud tamiz (mm.)	Longitud total (mm.)	Potencia (kW)	Rendimiento (m ³ /h)
TR2,1/5/7	2.100	5.000	7.000	11.0	55
TR2,1/7/9	2.100	7.000	9.000	15.0	85
TR2,5/6/8	2.500	6.000	8.000	15.0	70
TR2,5/8/10	2.500	8.000	10.000	15.0	110
TR2,5/10/12	2.500	10.000	12.000	2 x 11	130
TR2,5/12/14	2.500	12.000	14.000	2 x 15	155
TR3/8/10	3.000	8.000	10.000	15	150
TR3/10/12	3.000	10.000	12.000	2 x 11	175
TR3/12/14	3.000	12.000	14.000	2 x 15	210

Figura 23. Catálogo de trómeles para RU de la empresa Bianna Recycling. Fuente: biannarecycling.com

Seleccionamos el modelo **TR2,1/7/9** que tiene un diámetro de 2,1 m, una longitud de tamizado de 7 m y un rendimiento de 85 m³/h, más que suficiente para la capacidad de la línea de pretratamiento. Además, en el catálogo se especifica que el trómel equipa mallas intercambiables, luego podemos instalar la malla de 90 mm que diseñamos y además tenemos la posibilidad de adaptar el trómel a otros cribados en caso de que fuera necesario.

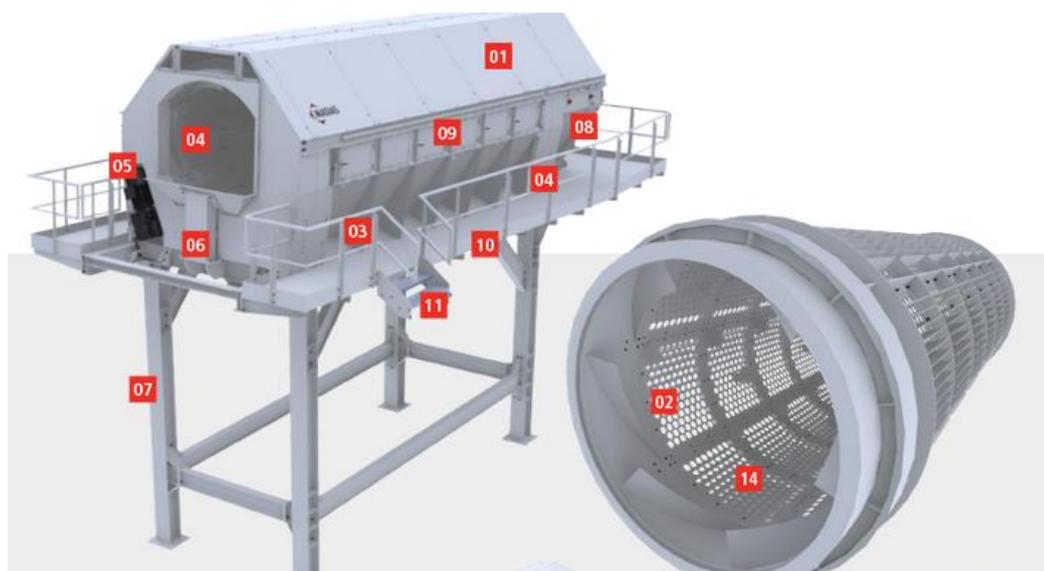


Figura 24. Trómel de cribado cilíndrico rotatorio seleccionado. Fuente: biannarecycling.com

c) Separador aerodinámico

En el separador aerodinámico se produce la separación entre materiales ligeros (plásticos, papel, cartón, papel aluminio) y materiales pesados (metales, impropios). Su funcionamiento se basa en la diferencia de densidad entre estas fracciones para aspirar los menos densos mediante un flujo de aspiración.

El principal factor en la selección del equipo es, en este caso, la capacidad horaria. El equipo por seleccionar debe ser capaz de trasegar el volumen de material que esperamos tratar. Por ello debemos hacer una estimación del flujo de material que transitará por el separador. Nos basamos en los datos aportados por el INE sobre los porcentajes de cada fracción en los RU, incluidos en el apartado 2.3) del presente trabajo. Se calcula que por el separador transitarán las fracciones de plástico, papel y cartón, por lo tanto, el 23,5% de los residuos de entrada en la línea de pretratamiento. La capacidad que deberá tratar será de 8,23 t/h en el pico de entrada de residuos.

Realizamos una búsqueda entre las empresas fabricantes de maquinaria industrial relacionada con los residuos urbanos, a simple vista se observa que la mayoría de los separadores aerodinámicos se utilizan para la separación y aspiración de partículas. Existen pocos fabricantes de separadores aerodinámicos de materiales sólidos, encontramos la empresa

americana Goettsch, que ofrece los productos del fabricante BloApCo. Esta empresa no ofrece modelos normalizados, sino que fabrica a pedido, luego una opción es encargar la fabricación del equipo con las características que necesitamos.



Figura 25. Separador aerodinámico seleccionado. Fuente: goettsch.com

d) Separador electromagnético por corrientes de Foucault

La finalidad de instalar este separador es recuperar el papel de aluminio de la línea de plásticos. La separación se basa en la formación de corrientes de Foucault, haciendo que el material de aluminio sea repelido por el electroimán y recogido en un lugar adecuado.

Los separadores de este tipo más utilizados son del tipo mesa de trabajo con cinta transportadora, que en su final tiene el equipo electromagnético donde se producen las corrientes de Foucault. Cuando los materiales llegan al borde se produce la separación entre los componentes de aluminio, que al ser repelidos se envían a cierta distancia a un contenedor, y el resto, que caen y se depositan en una cinta transportadora.

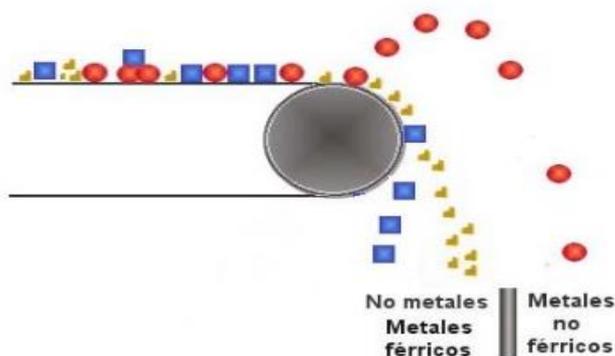


Figura 26. Funcionamiento del separador por corrientes de Foucault. Fuente: regulator-cetrisa.com

A la hora de la elección del equipo individual, las características que nos harán decantarnos por uno u otro equipo serán de tipo geométrico. Debemos elegir un equipo con la anchura de línea suficiente para que el caudal de material que entra, esté lo suficientemente separado para que se produzca la separación efectiva. Tras una búsqueda en Google llegamos al catálogo del fabricante Regulator Cetrisa, donde observamos las opciones que podemos elegir, siendo la L la anchura de la cinta de trabajo y A la longitud.

EQUIPO	A	L	M	V
R-SPM0600	3100	600	1050	650
R-SPM0750	3100	750	1200	650
R-SPM0900	3100	900	1350	650
R-SPM1050	3600	1050	1500	650
R-SPM1200	3600	1200	1650	650
R-SPM1350	3600	1350	1800	650
R-SPM1500	3600	1500	1950	650

Esquema y medidas básicas de los equipos R-SPM/E

Figura 27. Catálogo de separadores por corrientes de Foucault de Regulator Cetrisa. Fuente: regulator-cetrisa.com

Se debe tener en cuenta que esta línea puede llegar a tratar 5,25 t/h, lo que equivale a 1,5 kg/s. Este es un gran caudal volumétrico teniendo en cuenta la baja densidad de los plásticos. Por lo tanto, elegiremos el equipo disponible de mayor anchura, añadiendo algún sistema que permita la dosificación del material a la entrada a lo ancho de la cinta. El modelo elegido es el **R-SPM1500**.



Figura 28. Separador por corrientes de Foucault seleccionado. Fuente: regulator-cetrisa.com

e) Separador ferromagnético

El separador ferromagnético se sitúa después del separador aerodinámico, en la línea que va a rechazo. Se instala para recuperar los metales férricos que haya en la fracción pesada, ya que estos materiales son susceptibles de ser reciclados y por lo tanto tienen un valor para los gestores de residuos.

A diferencia de algunos casos anteriores, se encuentra en el mercado gran variedad de separadores ferromagnéticos. Son utilizados en diferentes sectores industriales y para distintos fines, por lo tanto, la elección debe ser la adecuada para el tipo de material y de separación que pretendemos realizar. Los separadores ferromagnéticos se pueden dividir en los siguientes tipos:

- De placa. Se sitúa una placa magnética encima de una cinta transportadora produciéndose la atracción de los materiales férricos. Hay varios tipos según la manera de retirar el material de la placa, desde la retirada manual a la banda autolimpiable.
- De barra. Utilizados para flujos de material que caen, se produce la separación al quedarse retenidos los ferromagnéticos en la barra.
- De rodillo. También utilizados en cintas transportadoras, se instalan rodillos magnetizados que atraen y separan el material férrico.

Para decidir el tipo de separador tendremos en cuenta tres factores: las propiedades del material (tamaño, forma...), las condiciones ambientales y el tipo de flujo. En la mayoría de los separadores de este tipo sitos en plantas de residuos se utilizan los de placa, que permiten la separación de componentes de todos los tamaños. Además, se va a seleccionar un modelo con autolimpieza, ya que permite el desarrollo automático de esta separación. Este tipo de separadores se conocen como de Overband.

Tras una búsqueda, se accede a la web del fabricante Grupo Fem, nos introducimos en el apartado de separadores Overband. Se consulta el catálogo de modelos, donde se observan las diferentes dimensiones de los modelos. Se elige un separador con una anchura compatible con el de la cinta transportadora que transita por esta línea, ya que el separador se situará de manera longitudinal. Se hace coincidir ambos anchos de manera que el separador tendrá el máximo

aprovechamiento y se producirá una correcta separación en toda la superficie de la cinta.

	Modelo	Medidas Imán (mm)		
		LARGO	ANCHO	ALTO
1	OPFEM 8.1	625	475	250
2	OPFEM 8.2	725	475	250
3	OPFEM 8.2.1	725	525	250
4	OPFEM 8.3	830	475	250
5	OPFEM 8.4	830	630	250
6	OPFEM 8.5	1100	730	250
7	OPFEM 8.6	1030	630	250
8	OPFEM 8.8	1200	1000	250
9	OPFEM 8.11	1500	630	250
10	OPFEM 8.12	1680	900	230
11	OPFEM 10.5.1	960	825	300

Figura 29. Catálogos de separadores ferromagnéticos de Grupo Fem. Fuente: grupofem.es

Se selecciona el modelo **OPFEM 8.5** con un imán de 1100 mm de largo y 730 mm de ancho. Este modelo incorpora un sistema de banda autolimpiante, es decir, la banda que atrae el material está en continuo movimiento trasladando los componentes férricos a un depósito aparte. Además, con los 1100 mm de largo, se permite que el flujo magnético atraiga todos los materiales férricos al haber tiempo de contacto suficiente.



Figura 30. Separador ferromagnético seleccionado. Fuente: grupofem.es

f) Separadores ópticos

Con los envases de plástico ya separados del resto de componentes, el último paso es clasificar los diferentes tipos de plástico. Tradicionalmente esta selección se realizaba manualmente, con los problemas de eficacia esperables atribuibles a la acción humana. Uno de los principios a la hora de diseñar la planta era automatizar al máximo los procesos, por ello utilizaremos una tecnología desarrollada al completo en los últimos años para su uso en gestión de residuos. Se trata de la separación óptica, basada en el uso de sensores ópticos y autómatas programables

para la identificación y separación de las fracciones de envases de plástico.

Se accede a la web del fabricante Ecopack, que ofrece diferentes opciones a la hora de seleccionar el separador óptico adecuado. Los factores principales en la elección serán:

- Capacidad de la línea. Se calculó que se tratan alrededor de 5 t/h de plásticos en la planta. En el segundo separador se tendrá una capacidad menor.
- Materiales a separar. El separador debe ser capaz de identificar el PET, el PEAD, los bricks y los plásticos mixtos.
- Ancho de la banda. Se tienen en cuenta las recomendaciones del fabricante, dependiendo del tonelaje que tendremos en cada separador.
- Resolución de soplado. Se tiene en cuenta la separación entre las boquillas de soplado, a menor separación entre boquillas, mayor resolución. A mayor resolución, el separador será capaz de separar materiales de manera más precisa.

	EP-1000			EP-1500			EP-2000			EP-2500			EP-3000		
Ancho de trabajo (mm)	1000			1500			2000			2500			3000		
Tipo de soplado (*)	SB-SV	SB-DV	DB-SV	SB-SV	SB-DV	DB-SV	SB-SV	SB-DV	DB-SV	SB-SV	SB-DV	DB-SV	SB-SV	SB-DV	DB-SV
Número de válvulas	32	64	32 + 32	48	96	48 + 48	64	128	64 + 64	80	160	80 + 80	96	192	96 + 96
Consumo eléctrico	110/220/400; 50/60Hz														
Consumo Kw (sin cinta aceleración)	2,5	3,1	3,3	4	4,1	4,9	4,9	5,8	5,7	6,7					
Grado protección IP	IP54														
Rango de temperatura	0°C to 50°C														
Caudal máximo estimado (LPM)	960	2.476	1440	2.964	1.920	3.840	2.400	4.800	2.880	5.760					
Presión de acometida (bar)	8 bar														

* SB: Simple Barra / DB: Doble Barra / DV: Doble Válvula

Figura 31. Catálogos de separadores ópticos de la empresa Ecopack. Fuente: ecopack.com.co

Seleccionaremos el modelo **EP-2000** para el primer separador y el modelo **EP-1500** para el segundo separador. La elección se basa en el caudal que estimamos deberá tratar cada separador. El fabricante ofrece una equivalencia orientativa entre la capacidad horaria de la línea y el ancho de banda necesario. En ambos modelos se pedirá el máximo de resolución de soplado, para obtener la mayor eficacia en el separado. Será el modelo de 128 válvulas en el EP-2000 y de 96 válvulas en el EP-1500.



Figura 32. Separador óptico seleccionado. Fuente: ecopack.com.co

g) Prensas de subproductos

Las prensas de subproductos son una parte esencial en una planta de tratamiento de residuos. Permiten transformar los diferentes subproductos separados en balas de tamaño normalizado, fácilmente transportables y la manera más económica de gestionar el resultado de los procesos de la planta. La compactación es muy importante en el caso de los plásticos o del papel/cartón, materiales muy voluminosos de poco peso, pero también se realizará en el caso de los productos metálicos. A la hora de seleccionar el equipo concreto probablemente seleccionaremos diferentes prensas para el caso de los metales que para el caso de los plásticos.

Antes de seleccionar las prensas debemos tener una idea de la cantidad de cada subproducto que se recupera cada día, para ello buscaremos valores de densidad del material separado y de densidad del material compactado. El gestor Ecoembes nos ofrece, en un documento de su página web, valores aproximados de la densidad de los materiales compactados y del tamaño de las balas:

Tabla 14. Tamaño de las balas de subproductos. Fuente: Elaboración propia a partir de Ecoembes

Subproducto	Tamaño de la bala cuadrada	Densidad compactado kg/m ³
PET	1-1,5 m	190
PEAD	1-1,5 m	210
Bricks	1-1,5 m	400
Papel / Cartón	1-1,5 m	Dependiente de la prensa
Férricos	-	800
No férricos	-	500

En el libro de Tchabanoglous, al que ya acudimos anteriormente, se ofrecen una serie de equivalencias entre la presión de compactación y la relación de reducción que se puede conseguir en diferentes productos. Necesitamos la densidad del material separado para elegir la presión de compactación de nuestra prensa.

Se selecciona una presión de compactación que sirva para todos los materiales tratados. A la presión de 6 kg/cm² se obtiene una reducción de volumen suficiente para la totalidad de los

materiales.

Ya podemos acudir a los fabricantes a elegir una prensa hidráulica adecuada. Las características que debe poseer la prensa serán las siguientes:

- Presión de compactación: mínimo de 6 kg/cm².
- Tamaño de las balas: balas cuadradas de entre 1 y 1,5 metros de lado.
- Material por compactar: todos los materiales recuperados en la planta.
- Tipo de prensa: horizontal, ya que se adecúa mejor al transporte que tenemos y no hay problemas de falta de superficie, que quizás aconsejaran el uso de una prensa vertical.

Tras una búsqueda en las webs de los principales fabricantes se observa que las prensas adecuadas para la compactación de plásticos, papel, cartón o similares, no lo son para la compactación de metales. Por lo tanto, existen razones de peso para instalar dos prensas en la planta.

g.1) Prensa de material ligero

Teniendo en cuenta el tamaño de las balas y la presión de compactación necesaria (6 kg/cm² = 59 N/cm²), se acude a los fabricantes, encontrando una prensa hidráulica horizontal en la empresa Machemac. El modelo seleccionado es el **Abba Acomat 900 H5** que tiene las siguientes características:

Especificaciones

- Fuerza de prensado [kN/t]: **900/90**
- Presión específica de prensado [N/cm²]: **76**
- Motor (kW): **30 | 45 | 60**
- Rendimiento papel B19, aprox. [t/h]: **6,4 | 7,4 | 10,3**
- Volumen marcha en vacío [m³/h]: **308 | 356 | 490**
- Volumen bajo condiciones de operación [B19 m³/h]: **183 | 213 | 297**
- Tiempo de ciclo [sec]: **24 | 17 | 13**
- Apertura de alimentación W x L [mm]: **1.140 x 1.500**
- Atado de alambre: **horizontal, 5 veces, automáticamente**
- Tamaño de la bala W x H x L [mm]: **1.080 x 1.100 x 1.200**
- Peso de la bala [kg]: **aprox. 750 – 850 kg (dependiendo del material)**
- Peso de la máquina [kg]: **12.000**

Figura 33. Especificaciones de la prensa de material ligero seleccionada. Fuente: machemac.com

Se observa que este modelo cumple con todas las condiciones mínimas que se propusieron incluyendo el tonelaje horario.

g.2) Prensa de metales

En esta prensa se compactarán tanto los metales férricos como los no férricos. Se busca una prensa hidráulica que tenga las características necesarias para compactar metales. A la hora de decidir la presión de compactación, se fija la misma que en la otra prensa, ya que el mínimo valor calculado era para todo tipo de materiales. En el caso del tamaño de las balas, para los metales Ecoembes no da un rango de tamaños, luego tenemos libertad para la elección dentro de lo que dicte el sentido común. Se buscan en internet los catálogos de diferentes fabricantes. La mayoría de maquinaria de este tipo está dirigida hacia la compactación de chatarra para otras industrias, pero puede servir para nuestro fin. Seleccionamos un modelo de la empresa Jimol S.L., el modelo **HJM-30S** con la suficiente presión de compactación para compactar el metal hasta la densidad que queremos conseguir. En el caso del tamaño se producirán balas más pequeñas que las de la prensa de envases.

Prensa de metales específicamente diseñada para la compactación de paquetes de metales como aluminio, cobre, acero INOX. Etc. Alimentación externa por otra máquina. Cargador opcional.

- Dispone de 4 cilindros hidráulicos (30 t cilindro prensor).
- Grupo hidráulico, de potencia constante caudal variable.
- Capacidad de carga abierta: 600x400x1.000 mm.
- Capacidad de carga (compresión cerrada): 400x300x1.000 mm.
- Dimensión del paquete: 400x300 mm. (opcional 300x300)
- Motor eléctrico de 25 CV.

Figura 34. Especificaciones de la prensa de metales seleccionada. Fuente: jimol.es

h) Contenedores móviles de productos recuperados

Los contenedores móviles estarán situados en todos los finales de línea donde se recupera algún subproducto. En estos recipientes se almacenan los productos valorizables antes de ser llevados a las prensas, cuando se tiene suficiente material, un operario los transporta hasta éstas, produciéndose las balas de subproductos. Se decide este medio de transporte debido a que los fines de línea y las prensas se encuentran al mismo nivel, luego este es el método de transporte interno más económico para este caso. Los criterios a la hora de seleccionar estos contenedores móviles serán:

- Transportable por una persona.
- Fácil maniobra de vaciado.
- Compatible con todos los materiales.
- Resistente mecánica y químicamente.

Para cumplir estas condiciones la mejor opción es la de instalar carros metálicos. Se adquirirán más carros que finales de línea para utilizar recambios mientras se producen los traslados de material. Se tienen 8 finales de línea con contenedor, se adquirirán 12 para ciclos de limpieza y cambios durante los envíos a prensar.

Existen muchos fabricantes de carros móviles industriales. Se busca, para facilitar el vaciado, que el carro tenga algún mecanismo que lo facilite. Se encuentran varios sistemas para ello, pero el que parece más adecuado es el contenedor móvil basculante, que permite el volcado completo del contenido. En la empresa Fabricaciones Metálicas se encuentran gran variedad de contenedores, se selecciona el tipo basculante. Existen diferentes volúmenes, se elige el mayor de todos, el N° 4 en la Figura 36.



N° 1 .-	560 Litros	1000 x 750 x 800 x 800
N° 2 .-	670 Litros	1200 x 900 x 800 x 800
N° 3 .-	840 Litros	1200 x 900 x 1000 x 800
N° 4 .-	1.710 Litros	1600 x 1250 x 1200 x 1000

Figura 35. Contenedor móvil. Fuente: fammisa.com

Fig.36. Dimensiones de los contenedores.

La adquisición de 12 de estos contenedores móviles soluciona el problema del transporte interno de los diferentes subproductos.

4.2.3) Esquema de distribución en planta

El proceso que se produce en la zona de pretratamiento se puede entender como un proceso industrial en cadena, donde los materiales van circulando por los diferentes “puestos de trabajo”. Por lo tanto, la distribución en planta que se debe proponer es una distribución por producto, con las siguientes características:

- Los “puestos de trabajo” o máquinas automáticas de separación se deben situar según el orden del diagrama de flujo, para minimizar la superficie necesaria.
- Al tratarse en todo caso de operaciones automáticas, se tiene un flujo continuo, que no depende del tiempo de operación de cada estación de trabajo.

Para estimar la superficie, en esta zona se debe tener en cuenta la colocación de las numerosas máquinas de separación, así como de las prensas de los subproductos y las cintas transportadoras. La entrada de los residuos se producirá por la parte contigua a la zona de recepción. La fracción orgánica será transportada mediante cintas transportadoras hacia la zona de compostaje. Los espacios necesarios serán:

- Área de proceso, con las cintas transportadoras y la maquinaria necesaria.

- Prensas de subproductos, se situarán lo más cerca posible de la salida de los subproductos para minimizar el desplazamiento y la densidad de maquinaria en el interior.
- Contenedores móviles, situados en los finales de línea.

A la hora de estimar la superficie necesaria, debido a las características de esta zona de proceso, se puede utilizar algún método teórico de utilización de áreas en un espacio industrial. El método enseñado en el Máster en Ingeniería Industrial de la UPV es el método de Guerchet. Este método consiste en la estimación de la superficie necesaria para cada máquina, teniendo en cuenta sus características. Además, dentro del cálculo de la superficie se tiene en cuenta factores como el espacio para operarios o el espacio de movimiento alrededor de las máquinas. Por ello se distinguen tres tipos de superficie que se adicionarán para el cálculo de la superficie total:

- *Superficie estática* (S_s), es el área de las máquina o instalaciones.
- *Superficie gravitacional* (S_g), es el área alrededor de la máquina utilizada por los operarios o por el acopio de materiales.

$$S_g = S_s * N \quad (12)$$

siendo N el número de lados de la máquina accesibles por los operarios.

- *Superficie de evolución* (S_e), es el área destinada al movimiento de maquinaria y a la manutención.

$$S_e = K * (S_s + S_g) \quad (13)$$

siendo K una constante dependiente del tipo de industria.

Razón de la empresa	Coefficiente K
Gran industria alimenticia	0,05 - 0,15
Trabajo en cadena, transporte mecánico	0,10 - 0,25
Textil - Hilado	0,05 - 0,25
Textil - Tejido	0,05 - 0,25
Relojería, Joyería	0,75 - 1,00
Industria mecánica pequeña	1,50 - 2,00
Industria mecánica	2,00 - 3,00

Figura 37. Coeficientes “K” de Guerchet. Fuente: ingenieriaindustrialonline.com

Como se puede observar en la Figura 37, la industria de la gestión de residuos o de reciclaje no aparecen, pero como hemos caracterizado el pretratamiento como un tipo de trabajo en cadena automático, se tomará el valor de 0,25. Esta elección del límite superior del rango se justifica teniendo en cuenta que, a pesar de tratarse de un proceso automatizado casi al completo, hemos instalado un sistema de movimiento de contenedores para llevar el material hasta las prensas. Por esta razón se necesita una superficie de evolución que sea la mayor posible.

A continuación, se realiza el cálculo de la estimación de superficie total del pretratamiento. En los casos en que se conoce la superficie de la máquina a partir del catálogo se utiliza ésta, cuando no se conoce la superficie exacta se estima. Se aplican las ecuaciones (12) y (13):

Tabla 15. Aplicación del método de Guerchet para la zona de pretratamiento. Fuente: Elaboración propia

Elemento	n	N	Ss	Sg	Se	St	St x n
Tromel	1	1	27	27	13,5	67,5	67,5
Ciclón	1	1	12	12	6	30	30
Separador Foucault	1	1	11	11	5,5	27,5	27,5
Separador ferromagnético	1	1	0	0	0	0	0
Separador óptico	2	1	9	9	4,5	22,5	45
Cinta C-01	1	2	2,4	4,8	1,8	9	9
Cinta C-02	1	2	15	30	11,25	56,25	56,25
Cinta C-03	1	2	2,4	4,8	1,8	9	9
Cinta C-04	1	2	4,8	9,6	3,6	18	18
Cinta C-05	1	2	4,5	9	3,375	16,875	16,88
Cinta C-06	1	2	6	12	4,5	22,5	22,5
Cinta C-07	1	2	3	6	2,25	11,25	11,25
Cabina de triaje	1	4	20	80	25	125	125
Contenedor móvil	12	4	2	8	2,5	12,5	150
Prensa plásticos	1	2	3	6	2,25	11,25	11,25
Prensa metales	1	2	1,5	3	1,125	5,625	5,63
						Superficie total	604,75

El separador ferromagnético se supone que no ocupa superficie al estar situado sobre una cinta transportadora. En las cintas transportadoras se ha estimado una longitud mínima de trayecto. Se debe tener en cuenta que en esta zona se trabaja a diferentes niveles, por lo tanto, varias de las máquinas que se utilizan pueden realizar su función en una posición superpuesta a otros. Luego la estimación de 600 m² será suficiente para albergar los procesos completos del pretratamiento.

Para la distribución en planta es importante conocer las conexiones con el resto de las zonas de la planta, ya que el pretratamiento se encuentra en el medio del proceso total. Las conexiones son las siguientes:

- Entrada de los RSU desde la zona de recepción a través de la cinta C-01. La entrada se realiza por un hueco en el muro separador.
- Salida de la materia orgánica cribada en el trómel a través de la cinta C-02. La salida se debe realizar a la altura de 3,5 metros por un hueco en el muro separador.

- Salida de las balas de subproducto hacia el almacenaje de subproductos. Se produce a través de una puerta automática de lona.

Se diseña un espacio de 30 x 20 metros. Con las condiciones y las conexiones que se han detallado en los apartados anteriores. Puede tratarse de una nave industrial independiente o formar parte de una nave mayor, pero de cualquier manera se necesita una separación efectiva entre las tres zonas de proceso por cuestiones de seguridad, higiene y efectividad de los procesos.

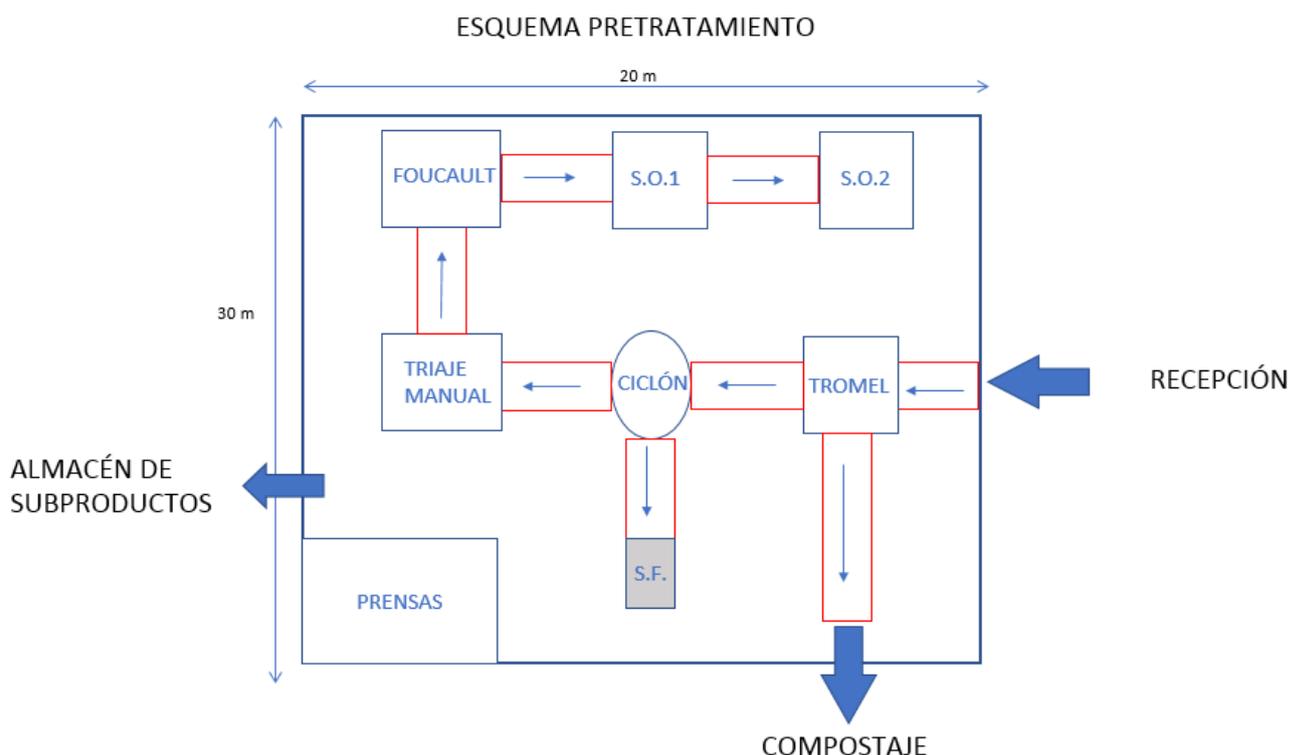


Figura 38. Esquema de distribución en planta de la zona de pretratamiento. Fuente: Elaboración propia

4.3) Zona de compostaje

4.3.1) Diseño

El compostaje es un proceso de fermentación por el cual la materia orgánica se transforma en un compuesto con algunas propiedades beneficiosas llamado *compost*. Todos los materiales biodegradables pueden ser convertidos en *compost*, pero el hecho de utilizar la materia orgánica se debe a que el tiempo de descomposición y, por lo tanto, de su conversión en *compost* es mucho más bajo que otros componentes (papel, cartón y madera).

La fermentación de la materia orgánica se produce gracias a algunos agentes microscópicos, especialmente bacterias, que mediante su acción metabólica degradan estos componentes permitiendo su fermentación. Por lo tanto, uno de los factores a tener en cuenta en un proceso

controlado de compostaje es la cantidad de bacterias que están produciendo la fermentación en cada momento.

Para el caso que nos ocupa, la finalidad de introducir un proceso de compostaje dentro de nuestra planta se debe a la necesidad de obtener un valor de la materia orgánica presente en los residuos urbanos.

El material obtenido es utilizado como abono orgánico, es decir, el compuesto se deposita en suelos agrarios para mejorar las características de estos. El *compost* aporta nutrientes al suelo mejorando la nutrición de las plantas, logrando una mejora en las cosechas. Hoy en día los fertilizantes inorgánicos son más baratos y eficaces, aunque la demanda de fertilizantes orgánicos está aumentando debido a la mayor concienciación de la población con los llamados productos ecológicos. Desde el punto de vista medioambiental las ventajas del *compost* respecto a los inorgánicos son muchas, mientras que, desde el punto de vista del agricultor, un fertilizante químico le puede producir mejores resultados a un menor precio.

Existen diferentes sistemas y técnicas para la producción de *compost* de manera aerobia, que se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 16. Sistemas de compostaje. Fuente: Elaboración propia

SISTEMAS ABIERTOS	<i>Pilas con volteo</i>	
	<i>Pilas estáticas</i>	Ventilación forzada Succión de aire
SISTEMAS CERRADOS	<i>Reactores verticales</i>	Continuos Discontinuos
	<i>Reactores horizontales</i>	Estáticos Con agitación del material

Dependiendo de factores como el clima del lugar, la cantidad de materia orgánica a tratar, la necesidad de producción de *compost* o la superficie disponible para la instalación, se debe elegir uno de estos sistemas para la planta. A continuación, se detallan las principales características de los diferentes sistemas para tener una base sobre la que poder justificar nuestra elección.

a) *Sistemas abiertos.*

Son los más utilizados por su sencillez y menor coste. Se trata de realizar la fermentación en contacto con el aire. La forma más usual y sencilla es la distribución en pilas, produciéndose la aireación de distintas maneras. El material debe ser depositado sin ser comprimido y el factor más importante para el correcto funcionamiento del sistema es el número y tamaño de las pilas. Los diferentes tipos de sistemas abiertos atendiendo a estos factores son:

- *Pilas con volteo.* Es el sistema más sencillo y económico. Se extiende el material en pilas y se realiza un volteo cada determinado tiempo para que se produzca la oxigenación de la totalidad del material. Hay que controlar la temperatura y la humedad para realizar el volteo en el momento adecuado. Se conoce el momento en que se supera la fase termofílica, cuando se produce un volteo y no hay aumento de temperatura.

Dependiendo del volumen de las pilas, el volteo se puede realizar con una simple pala cargadora o se necesitará maquinaria específica de volteo. El tamaño de las pilas es un factor determinante y existe una ecuación específica para su cálculo en diferentes situaciones. En la Figura 39 se observa un ejemplo de estos sistemas.



Figura 39. Pilas estáticas con volteo. Fuente: *compostandociencia.com*

- Pilas estáticas con ventilación forzada. En este sistema se instala un sistema de ventilación en el interior de las pilas, que son de mayor tamaño que en el caso anterior. Se controla la ventilación para mantener la temperatura y la humedad en los valores adecuados. Se necesita menor superficie que en el caso del volteo, aunque el coste es mayor al necesitarse la instalación de ventilación.
- Pilas estáticas con aireación pasiva. Es un sistema similar al anterior, la diferencia es que la aireación en este caso se realiza de forma “natural”. Es decir, las pilas se amontonan de manera que haya una superficie importante de la pila en contacto con el aire, con espacio debajo de la pila para que se produzca una convección natural de abajo a arriba de esta. También se puede instalar un sistema de tuberías sin ventilación, para ayudar a la convección. Esta opción funciona bien en climas cálidos o templados, en climas fríos o en invierno pueden existir más problemas para obtener un comportamiento correcto.

b) Sistemas cerrados.

Estos sistemas permiten el control casi total de los parámetros del proceso de compostaje, produciéndose un compost de mayor calidad. Además de un menor tiempo de proceso, ajustando las variables se consigue acortar el tiempo dedicado a cada fase. Su principal inconveniente es el coste de la inversión en la construcción de los reactores, pero teniendo en cuenta que permiten también el tratamiento de mayor volumen de material comparándolo con los sistemas abiertos, el coste por unidad de volumen tratada no es mucho mayor que en los sistemas abiertos.



Figura 40. Sistema cerrado de compostaje en túneles. Fuente: maestrocompostador.es

- Etapas del proceso de compostaje

El proceso de producir compost a partir de los restos orgánicos de los RU de manera aerobia (en presencia de oxígeno) se puede dividir en varias fases, teniendo en cuenta la temperatura del proceso:

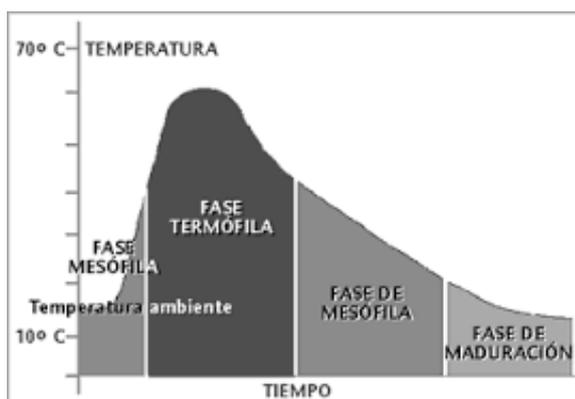


Figura 41. Fases del proceso de compostaje. Fuente: www3.uclm.es

- 1) Fase mesofílica. Se comienza con el material orgánico a temperatura ambiente, los microorganismos comienzan su actividad metabólica. Se produce CO₂ y un aumento de temperatura hasta alrededor de 40°C, así como un descenso del pH hasta alrededor de 4.5 ó 5 debido a la formación de ácidos orgánicos. Esta fase dura habitualmente entre 1 y 2 semanas.
- 2) Fase termofílica. La temperatura aumenta por efecto de la fermentación hasta los 60°C ó 70°C. A estas temperaturas más altas empiezan su actividad las bacterias termofílicas, que degradan los ácidos grasos y producen amoníaco produciendo una subida del pH. En esta fase se debe asegurar el aporte de oxígeno, para conseguir la eliminación de agentes patógenos.

- 3) Fase de enfriamiento. Comienza cuando se produce un descenso de la temperatura al haberse agotado las fuentes de carbono y nitrógeno. La temperatura vuelve a los 40°C y se reduce la demanda de oxígeno.
- 4) Fase de maduración. El material debe pasar por un período de entre 3 y 9 meses a temperatura ambiente, donde el pH se estabilizará y el compost obtendrá las características físicas y químicas requeridas.

En el caso del diseño de un sistema de compostaje, lo anterior se puede resumir en dos fases que corresponden a dos espacios: uno para la descomposición y otro para la maduración.

- Parámetros que controlar

En este apartado se detallarán los principales parámetros que se deben controlar a la hora de realizar un proceso de compostaje. La efectividad del proceso se basa en mantener las condiciones adecuadas de oxigenación, temperatura, pH y humedad para que los microorganismos realicen su actividad metabólica completa.

a) Oxigenación

El compostaje es un proceso aerobio, por lo tanto, necesita un aporte constante de oxígeno para permitir que las bacterias que producen la fermentación sigan realizando su función. Como hemos visto en el apartado anterior, existen diferentes formas de que se produzca la aireación del material. Existen, desde sistemas que realizan una aireación no muy controlada (pilas por volteo), hasta un control absoluto del aire que se introduce (sistemas cerrados). Un control mayor nos permite que el proceso esté más controlado, por lo tanto, que se realice en menos tiempo y se produzca un *compost* de más calidad. La ventilación y su control afecta a los demás parámetros a controlar también (temperatura, humedad, pH), luego su control es esencial.

b) Humedad

El proceso de compostaje necesita de una cierta humedad en el medio para que se produzca correctamente el proceso biológico que tiene lugar en él, pero no en exceso, ya que se dificultaría este proceso. El nivel normal de humedad durante la fermentación es de entre el 40% y el 50%, que aproximadamente es la humedad de la fracción orgánica que entra en el reactor. Al final del proceso de maduración la humedad debe ser menor, de alrededor del 30%. Se deben tener en cuenta estas cifras aproximadas y mantenerlas dentro del rango. Es sabido que durante la fermentación se debe producir una aireación, y es obvio que con ésta se producirá un descenso de la humedad. Se debe controlar que no descienda más de lo adecuado y, en caso de que esto suceda, añadir un sistema de regado de la biomasa, que puede ser bien con agua o si es posible con lixiviados recogidos en la planta.

c) Temperatura

Es el parámetro principal en el control del proceso. Su seguimiento nos permite identificar las

diferentes fases del proceso. En general una mayor temperatura en la fermentación significa un desarrollo más rápido y efectivo. En los sistemas de pilas por volteo, controlar la temperatura tras cada volteo nos permite conocer cuando se acaba la fase termofílica y se puede enfriar y madurar el producto.

d) pH

El pH sufre cambios importantes durante el proceso de compostaje debido a los diferentes productos que se obtienen en el proceso biológico de descomposición. Su control nos permite garantizar el correcto funcionamiento de este.

e) Relación Carbono / Nitrógeno.

Se trata de un parámetro que puede caracterizar el proceso de fermentación, ya que cuantifica de alguna manera la calidad del material de entrada. La relación normal de C/N es de 30, alrededor de este valor se produce un proceso normal mientras que si nos alejamos de esta cifra podemos tener problemas. Si aumenta esta relación en gran cantidad en los residuos de entrada no habrá suficiente nitrógeno para que se produzca la descomposición a una velocidad normal, esta se frenará. Por otro lado, si la relación disminuye mucho se producirá demasiado amoníaco, causando posibles problemas de olores. No se trata de un parámetro controlable ya que depende del tipo de residuos que reciba la planta en cada momento.

- Elección del sistema de compostaje

Como hemos visto los diferentes sistemas de compostaje poseen diferentes características, la finalidad de este apartado es valorar la idoneidad de cada uno ellos para el caso que nos ocupa. Para ello en primer lugar se resumirán los pros y contras de cada sistema de acuerdo con diferentes factores, y en la segunda parte con el caso particular de nuestra planta se decidirá en base a lo anterior.

a) Características de los diferentes sistemas de compostaje

Se comparan para los factores que consideramos esenciales, tres sistemas, los más utilizados y por lo tanto, de los que tendremos más facilidad a la hora del diseño. La comparación se ofrece en la Tabla 17.

Tabla 17. Comparación de los sistemas compostaje. Fuente: Elaboración propia

Factores a comparar	Pilas con volteo	Pilas con ventilación	Reactor
Coste de inversión	Bajo	Medio-bajo	Alto
Coste de mantenimiento	Bajo	Bajo	Bajo
Superficie necesaria	Alta	Media	Media
Control de la oxigenación	Baja	Media	Alta
Influencia del clima	Alta	Media	Baja
Control de olores	Bajo	Bajo	Alto
Adaptación al cambio de material	Baja	Medio-baja	Alta
Adaptación al cambio de volumen	Media	Media	Baja
Capacidad de tratamiento	Baja	Medio-baja	Alta

A simple vista se observa que el sistema cerrado con reactor ofrece el mejor comportamiento en el mayor número de factores. Por el contrario, el sistema abierto de pilas por volteo tiene la peor puntuación en la mayor parte de los factores. En principio esto no significa nada, debemos particularizar en nuestro caso ya que la jerarquía de factores variará según el caso concreto.

b) Decisión sobre el sistema de compostaje

En primer lugar, decidiremos que factores son los principales para el caso de nuestra planta:

- Control de olores. En el apartado 3.5) se dejó pendiente una justificación sobre el impacto de los olores de la planta sobre las poblaciones cercanas. Por lo tanto, la instalación de un sistema que no produzca olores o que estos sean controlados fácilmente es importante.
- Influencia del clima. En el lugar de la instalación nos encontramos en el interior del Baix Segura, tenemos un clima seco, muy cálido en verano y suave en invierno. Se debe tener en cuenta que es un clima especialmente seco, a la hora del control de humedad o incluso de temperatura.
- Adaptación al cambio de volumen. Como se ha comentado anteriormente, la zona del Baix Segura sufre de una gran estacionalidad en su número de habitantes. La planta debe ser capaz de tratar una variación desde una cantidad grande de residuos en verano hasta una menor en invierno.
- Capacidad de tratamiento. Quizás se trate del factor diferencial, ya que si no somos capaces de tratar toda la materia orgánica que ingresa en la planta tendremos problemas para la eliminación de esta.

Teniendo en cuenta especialmente estos cuatro factores, se decide el diseño de un sistema cerrado de reactores, con un reactor para la descomposición, otro para la maduración y un sistema de afino final. Este sistema nos va a permitir, a pesar de un coste de inversión mayor, tratar el caudal de materia orgánica máximo, además de controlar perfectamente los olores

mediante un sistema de control de olores. También se debe comentar que la capacidad que nos ofrece un reactor de estas características de controlar todas las variables del proceso de compostaje, nos va a permitir reducir el tiempo de tratamiento y además ofrecer un *compost* de mejor calidad que cualquier otra alternativa.

El sistema de compostaje constará de un reactor de descomposición, donde será necesario un sistema de aireación; un reactor de maduración, donde se tratará el material fermentado durante el tiempo necesario hasta completar el proceso completo; y, por último, un sistema de afino, donde el material saliente del proceso se afinará para extraer los materiales impropios, que como es natural no han sufrido ningún proceso biológico. Para el afino final se instalará un trómel de cribado, en el cual el *compost* ya madurado y, por lo tanto, con un tamaño de partícula muy pequeño, será cribado, mientras que los posibles componentes impropios se quedarán en el trómel. Estos materiales serán enviados a rechazo. En la Figura 42 se observa un esquema del proceso.



Figura 42. Diagrama de flujo del proceso de compostaje. Fuente: Elaboración propia

- Resumen del sistema de compostaje

En este apartado se detallarán los procesos llevados a cabo en las tres zonas.

a) Proceso de descomposición

Se lleva a cabo en el reactor de descomposición. Se dimensiona un reactor rectangular con lo que se conoce como pilas extendidas o compostaje en mesetas, siguiendo la denominación de “Ingeniería y aspectos técnicos de la digestión aeróbica” de la Red Española de Compostaje. Este sistema se realiza en naves cerradas y se basa en el movimiento longitudinal u horizontal del material a lo largo del reactor, separando los materiales dependiendo de su estado de descomposición. El desplazamiento se realiza con un volteador-agitador en un puente grúa, que además de desplazar el material, provoca el volteo y por lo tanto la aireación. Además, para tener el mayor control posible sobre las variables del proceso debemos instalar un sistema de ventilación forzada. La aireación forzada es obligada para reactores que tratan una cantidad muy elevada de materia orgánica, como es nuestro caso.

Para el dimensionado del reactor de descomposición, en primer lugar, se debe tener una estimación de la cantidad de materia a tratar. Se estima a partir del flujo máximo de RU entrantes en la planta, teniendo en cuenta el porcentaje de materia orgánica que es cribado en el trómel. Se estima el 48 % perteneciente a la materia orgánica, además de la mitad del vidrio 4%. Por lo tanto, se tendrán:

$$(587.903,03 \text{ kg RU/día}) * 0,52 = 305.709,58 \text{ kg MO/día} \quad (12)$$

Tenemos ahora en cuenta que el tiempo de residencia normal en un proceso de descomposición es entre 1 y 2 semanas, tomaremos este último valor para el dimensionado:

$$(305.709,58 \text{ kg MO/día}) * 12 \text{ días} = 3.668,51 \text{ ton MO} \quad (13)$$

El reactor debe ser capaz de contener esta cantidad de *compost*, que se encontrará en diferentes fases de descomposición según su posición en el reactor. Necesitamos un valor de densidad para estimar el volumen necesario, según diferentes fuentes ésta varía entre los 400 kg/m³ al comienzo de la descomposición hasta los 700 kg/m³ al final de la maduración. Para este reactor tomamos un valor de densidad medio de 500 kg/m³. Luego el volumen necesario se calcula en la ecuación (14).

$$V = m / d \quad V = 3.668,51 \text{ t} / 0,5 \text{ t/m}^3 = 7.337 \text{ m}^3 \quad (14)$$

La profundidad del reactor estará relacionada con la aireación, ya que demasiada profundidad podría dificultar los procesos de volteado. Según el “Manual de Compostaje del Agricultor” de FAO, para un compostaje en pilas sin aireación forzada, el máximo de altura de las pilas sería de 1,5 metros. En ese caso la necesidad de superficie de nuestro reactor sería muy alta. Para el caso de aireación forzada se puede colocar el material con una profundidad de 3 metros, en ese caso:

$$S = 7.337 / 3 = 2.445,67 \text{ m}^2 \quad (15)$$

Como necesitamos un reactor rectangular, diseñamos un espacio de 80 x 30 metros.

En cuanto al sistema de aireación, es necesaria ventilación forzada y, teniendo en cuenta el volumen de material a tratar, además añadir un sistema de volteo con una maquinaria de puente grúa que nos permita ir trasladando el material conforme se va produciendo su descomposición. De esta forma se permite la entrada del nuevo material, que pasará por los diferentes volteos durante 2 semanas hasta su completo tratamiento biológico. Por lo tanto, se instalará un sistema de ventilación por succión en la parte inferior del reactor y un equipo de volteo de las características adecuadas a la necesidad de volteo.

Es importante también diseñar un sistema de regado del material, ya que la humedad es un factor principal a la hora del control del proceso. El regado puede ser de agua, agua de lluvia recogida en la planta o lixiviados recogidos en los procesos de la planta. El regado con lixiviados se realizará en los casos en que se necesite estimular el cultivo de microorganismos. Se puede aprovechar el mecanismo de volteo para realizar el regado, situando el sistema de

regado en el puente grúa. En la Tabla 18 se pueden consultar las características del reactor de descomposición diseñado.

Tabla 18. Características del Reactor de descomposición. Fuente: Elaboración propia

Reactor de descomposición	
Tipo de compostaje	Pilas extendidas
Dimensiones	
Longitud	80 m.
Anchura	30 m.
Profundidad	3 m.
Tipo de oxigenación	
Volteado	Volteadora en puente grúa
Ventilación forzada	Sistema de ventilación en solera
Tiempo de residencia	2 semanas
Riego	Agua y lixiviados

b) *Proceso de maduración*

El proceso de maduración se produce a continuación del de descomposición, cuando termina la fase termofílica. Aquí se obtiene *compost* con las características finales, se trata de un material con mucha menos humedad, con mayor densidad y a una temperatura más baja que en la descomposición.

Debido a la menor actividad microbiana en esta etapa, no es tan importante el control de los diferentes parámetros como en la fase anterior. Si el *compost* llega a la maduración habiendo sufrido una descomposición completa no será necesaria una aireación forzada, aunque el control de la temperatura y el control de la humedad pueden obligar a la instalación de medidas de aireación y de regado. Si utilizamos un reactor cerrado, donde el material se amontona y puede haber una profundidad alta, será necesario algún tipo de aireación para controlar la temperatura del *compost*.

La maduración debe producirse a una temperatura baja hasta llegar a temperatura ambiente, si la disposición del material en el reactor impide el enfriamiento controlaremos la temperatura mediante algún método. Al no haber actividad de los microorganismos la temperatura no subirá en exceso, por lo tanto, será suficiente con un sistema de volteo para mantener la temperatura baja. Además, el volteo permitirá trasladar el material conforme vaya sufriendo el proceso de maduración, desde la entrada hasta la salida del reactor.

Para el dimensionado del reactor de maduración estimaremos en primer lugar el tiempo de residencia del *compost* en la maduración. Para materiales de alta degradabilidad se estima este

tiempo en 4 semanas. En el reactor de maduración se trata todo el material que proviene del reactor de descomposición, además el tiempo de residencia es tres veces mayor que en éste. Por ello la necesidad de volumen será mayor que en la descomposición, aún a pesar del aumento de densidad del material (700 kg/m^3).

$$(305.709,58 \text{ kg MO/día}) * 24 \text{ días} = 7.337,03 \text{ ton MO} \quad (16)$$

De esta manera, el volumen necesario es:

$$V = 7.337,03 / 0,7 = 10.481,47 \text{ m}^3 \quad (17)$$

La disposición en el espacio del compost para que se produzca la maduración debe permitir acoger el volumen que calculamos anteriormente, además debe ser posible el volteo de material mediante alguna tecnología existente. Se consulta en varias fuentes las diferentes posibilidades que se nos ofrecen, encontrándose un resumen de las diferentes tecnologías en el libro “Ingeniería y aspectos técnicos de la digestión aeróbica” de la Red Española de Compostaje. Una posibilidad es el reactor de canales, en el cual el material se dispone en canales de entre 2 y 3 metros de altura separados por muros de hormigón, la máquina volteadora transita por la parte superior de las mesetas produciendo el volteo del material y haciéndolo avanzar unos cuantos metros. La superficie necesaria se calcula teniendo en cuenta la altura de 3 metros de las pilas:

$$S = 10.481,47 / 3 = 3.493,82 \text{ m}^2 \quad (18)$$

Además, se debe tener en cuenta que se dispone el material en canales, por lo tanto, debe haber espacio entre ellos para el paso y las maniobras de las máquinas volteadoras. Por lo cual se pueden estimar 4.000 m^2 para este fin. Un espacio de 80×50 metros sería suficiente. Debemos ahora diseñar la longitud, la anchura y el número de los canales. El tiempo de residencia es de 4 semanas, el tiempo entre volteos es de 3 días y el avance por volteo de 3 metros, por lo tanto:

$$L = (24 \text{ días} / 3 \text{ días por volteo}) * 3 \text{ m} = 24 \text{ m} \quad (19)$$

Los 24 metros de longitud nos permiten construir dos filas de canales. Para la anchura tendremos en cuenta el tamaño de la máquina volteadora, no debe ser ni demasiado pequeño para que no pueda realizar su función ni demasiado grande para que no alcance a voltear todo el material. Una anchura de 5 metros parece adecuada para cumplir las condiciones, por lo tanto,

tendremos:

$$N_{\text{canales}} = 75 / 5 = 15 \text{ por fila} \quad (20)$$

Luego se deben construir 30 canales distribuidos en dos filas de 15. El material saliente del reactor de descomposición se debe trasladar mediante retroexcavadoras a los canales e introducirlos por un extremo. Los reactores de canales pueden ser de dos tipos: de ciclo continuo, en el que se introduce material constantemente en éstos; y de ciclo discontinuo, en el que el material se introduce en lotes cada cierto tiempo. Dada la necesidad que tenemos de hacer circular el material constantemente, el nuestro será de ciclo continuo. El material se irá introduciendo diariamente en los canales en los que se haya realizado el volteo y, en los que, por lo tanto, se haya dejado espacio para la entrada de nuevo material.

En cuanto a las necesidades de humedad, durante todo el proceso de compostaje se produce un descenso en ésta desde el material orgánico de entrada hasta el *compost* final ya afinado. Es importante el control de la humedad también durante la maduración, ya que un secado excesivo provocaría que el *compost* resultante no tuviera las características adecuadas. Por ello se debe instalar un sistema de riego, en este caso, a diferencia de en la descomposición, de agua y no de lixiviados, ya que ahora no nos interesa en ningún caso estimular la actividad microbiana. Se puede consultar un resumen de las características del reactor de maduración en la Tabla 19.

Tabla 19. Características del Reactor de maduración. Fuente: Elaboración propia

Reactor de maduración	
Tipo de compostaje	Canales con volteado mecánico
Dimensiones	
Longitud	80 m.
Anchura	50 m.
Profundidad	3 m.
Tipo de oxigenación	Volteado con máquina volteadora
Tipo de ciclo	Continuo
Tiempo de residencia	4 semanas
Riego	Agua

c) *Proceso de afino*

Conforme el *compost* vaya terminando el proceso de maduración tras completar las 4 semanas, el material saliente se recoge y se traslada hasta el sistema de afino. El afino se instala para asegurar que el *compost* que producimos tiene el mínimo de calidad necesario para ser distribuido. Como sabemos, desde el cribado del trómel, en que la materia orgánica era separada del resto, hasta el punto presente del sistema no ha habido ningún mecanismo por el cual se hayan tratado los materiales impropios, que en ocasiones se introducen en el sistema de

tratamiento de la materia orgánica (vidrios ó chapas). Por lo tanto, este tipo de materiales siguen en el sistema, al no haber sufrido degradación biológica. Además, se pueden encontrar materiales orgánicos con un tiempo de degradación superior al diseñado en nuestro sistema, que también deben ser separados, no pueden formar parte del *compost*.

Por ello es obligada la instalación de un sistema de afino para eliminar estos materiales. Para el afino se utilizará algún equipo de separación física, sabiendo que el *compost* ya madurado debe tener un tamaño de partícula menor que determinado valor, parece apropiada la instalación de un equipo de cribado. Éste separará las partículas del *compost* perfectamente madurado del resto de componentes que pueda haber en el material.

Atendiendo al manual “Manejo del suelo” de la FAO, se ofrece el valor máximo de 10 mm para el tamaño de partícula en el caso de un sistema de compostaje con aireación forzada. Por lo tanto, se instalará un trómel de cribado con ese tamaño de criba.

Se necesitarán de igual manera al menos una cinta transportadora, que introduzca el material en el trómel, el material hundido caerá a unos contenedores móviles reemplazables con los que se transportará el *compost* a la zona de almacenaje. El material no cribado caerá a otro contenedor móvil, con el cual se llevará estos materiales impropios a rechazo. La cinta transportadora inicial debe ser alimentada mediante alguna maquinaria de transporte por un operario, pero el resto del sistema es automático hasta el movimiento de los contenedores que deberá ser realizado por operarios.

4.3.2) Elección de maquinaria

Para el caso de la zona de compostaje se deben seleccionar los siguientes componentes: cintas transportadoras, un trómel para el afino, una máquina volteadora para la descomposición, una máquina volteadora para la maduración, contenedores de final de línea y una pala cargadora.

a) Cintas transportadoras

El material se introduce en la zona de compostaje a través de una cinta transportadora, en la misma cinta se produce la introducción del material en el reactor de descomposición. Esta acción se realizará mediante un sistema de volcado dosificado, que debe ir dejando caer el material orgánico a lo largo del reactor. El transporte entre la descomposición y la maduración no se realiza mediante cinta transportadora. La segunda cinta que hay que instalar es la que recibe el material ya madurado, y lo introduce en el trómel. Por lo tanto, se deben dimensionar estas dos cintas:

Tabla 20. Cintas transportadoras de la zona de compostaje. Fuente: Elaboración propia

Cinta transportadora	Trayecto	Residuo	Capacidad T/h
C-08	De C-02 al Reactor de Descomposición	Materia orgánica	18,2
C-09	Del Reactor de Maduración al Tromel de Afino	Compost madurado	14,6

- Dimensionado de la cinta transportadora C-08

La cinta C-08 presenta unas características que la hacen especial a la hora de su dimensionado. Se trata de una cinta que debe presentar un mecanismo de descarga controlada, que permita realizar el llenado del reactor en su zona de entrada. Por lo tanto, los factores habituales como la velocidad de la cinta o su ancho de banda quedan supeditados al mecanismo de descarga que presente la cinta.

La búsqueda de un equipo con una finalidad tan concreta no es sencilla, en muchas ocasiones esta maquinaria debe ser fabricada a pedido del cliente por una empresa especializada en este tipo de soluciones. El factor principal en el momento de seleccionar la cinta será que ésta ofrezca la posibilidad de ser controlada automáticamente y que permita controlar el volumen de material descargado. En el caso de nuestro reactor la cinta debe rellenar la franja de entrada de material, después de que la volteadora haya trasladado el material unos metros hacia la salida. Esta acción se realiza por sectores, teniendo en cuenta el tiempo de residencia del material en cada zona. Como diseñamos la profundidad del lecho en 3 metros, la cinta debe ir rellenando el espacio vacío con esta profundidad.

La tecnología adecuada para nuestras necesidades es la de los carros tripper. Su funcionamiento es a través de un carro automatizado que se desplaza a lo largo de la cinta, produciendo el volcado del material según la zona que se debe rellenar. En las Figura 43 y 44 se observan un ejemplo de este tipo de maquinaria y su esquema de funcionamiento. Se debe tener en cuenta la gran longitud de cinta que se necesita, ya que el reactor tiene un tamaño longitudinal de 80 metros. Por lo tanto, el criterio de búsqueda será este, una cinta transportadora de 100 metros (se debe tener en cuenta el trayecto entre el límite de entrada a la nave y el reactor) y con un carro tripper instalado que permita la descarga a lo largo del tramo coincidente con el reactor.



Figura 43. Carro tripper. Fuente: igtada.com

Tras una búsqueda en las webs de diferentes fabricantes, llegamos a la página web de Tusa, empresa fabricante de transportadores de todo tipo. Aquí encontramos la posibilidad de instalar el carro tripper en las diferentes cintas transportadoras que ofrecen. En su catálogo encontramos el tipo de cinta con banda de caucho que necesitamos, además ofrecen la posibilidad de realizar la instalación por módulos de 3 ó 1,5 metros. Esta posibilidad nos permite llegar a la longitud de 80 metros que necesitábamos, además en el tramo de entrada podremos diseñar distintas configuraciones para llevar el material al reactor.

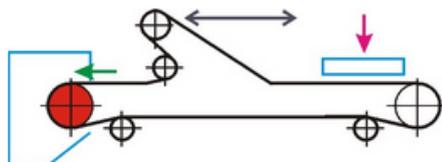


Figura 44. Funcionamiento de una cinta transportadora con carro tripper. Fuente: oocities.org

En cuanto al ancho de banda, el carro tripper se adaptará a los distintos anchos de banda. Seleccionamos el mismo ancho de banda que teníamos en la cinta anterior a esta que era de 500 mm.

- Dimensionado de la cinta transportadora C-09

Esta cinta realiza la función de alimentar el trómel de afino final. Por razones de comodidad, la cinta comenzará a cota cero para permitir la entrada de material mediante una retroexcavadora. El material se cargará en una tolva que dosifique el material en la cinta. Posteriormente la cinta debe elevar el material hasta la altura de entrada en el trómel. Por lo tanto, necesitamos un tramo ascendente, que como ya fijamos en el apartado similar en la zona de pretratamiento tendrá una inclinación de 22°.

Tabla 21. Cinta transportadora C-09. Fuente: Elaboración propia

Material cinta	Caucho MOR
Ancho de banda mm	500
Inclinación °	0 /22

b) Trómel de afino

El afino es un proceso que se realiza al final de la línea de compostaje y permite afinar el *compost*, eliminando los impropios no orgánicos que se introdujeron en el primer trómel, así como los materiales orgánicos con un tiempo de descomposición mayor que el que tenemos en nuestra planta. Para ello se debe utilizar un equipo de cribado, para separar el *compost* madurado que tiene en este momento un tamaño de partícula reducido, del resto de componentes, de mayor tamaño.

El tamaño de criba será de 10 mm, esta decisión ya se justificó en el apartado de diseño, ya que se trata del tamaño que se considera el máximo de partícula del *compost* madurado. Se decide

la instalación de un trómel cilíndrico rotatorio, en el cual el material recuperable se hunde y es transportado por una tolva y una cinta transportadora hasta el almacenaje. El material que no es *compost* transita a lo largo del trómel sin cribarse y sale por el otro extremo, estos componentes impropios se mandan al rechazo a vertedero. Los impropios que se pueden encontrar a estas alturas del proceso son pequeños vidrios, chapas metálicas o materiales orgánicos no degradados. Existiría la opción de introducir estos materiales otra vez en algún punto del sistema que permitiera la recuperación de los componentes metálicos, sobre todo, pero dado el volumen reducido de materiales que tenemos, se descarta esta opción. Además, el vidrio y los orgánicos no degradados no serían recuperables en ningún caso.

Debemos dimensionar ahora el trómel, de la misma manera que se hizo con el mismo de la zona de pretratamiento. En aquel apartado nos basamos en las ecuaciones propuestas por Tchabanougous para el dimensionado del diámetro y de la velocidad de rotación necesaria. Algunas características serán las mismas que en trómel anterior, otras cambian al tratarse de un material distinto y un flujo diferente. Se tendrá en cuenta el descenso de humedad que se ha producido en el material, y se cuantificará el agua evaporada o lixiviada como pérdida de masa. Se sabe que el material introducido suele estar en valores de humedad del 45 ó 50 % y en el compost madurado del 30%, luego se pierde alrededor del 20% de masa durante el proceso. De los 18,2 t/h normales de materia orgánica se pasará a un caudal de 14,6 t/h. Se utiliza la ecuación (10) para el cálculo del diámetro.

$$D_{teórico} = \left[\frac{11.36 \cdot Q_t}{d_b \cdot F \cdot K_v \cdot g^{0.5} \cdot \tan \alpha} \right]^{-0.4}$$

- $Q_t = 3,54 \text{ kg/s}$
- $d_b = 700 \text{ kg/m}^3$
- $F = 0,33$
- $K_v = 1,35$ para un ángulo de 3°
- **$D = 1,1$ metros**

Se trata de un trómel con un diámetro de 1,1 metros, de un tamaño inferior al trómel de entrada en planta como era de esperar. Aplicamos ahora la ecuación (11) para calcular la velocidad de rotación.

$$n_c = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{g}{r}}$$

Se toma un radio de 0,55 metros, a partir del cálculo anterior.

- **$N = 0,675 \text{ rev/s} = 40 \text{ rpm}$**

Luego ya tenemos los factores necesarios para seleccionar el trómel. En el fabricante en el que seleccionamos el trómel anterior, Bianna Recycling, no encontramos trómeles del diámetro necesario en este caso, ya que el diámetro mínimo es de 2.100 mm. Buscamos en Google las webs de otros fabricantes, encontramos la empresa Ritorna Medio Ambiente, que fabrica maquinaria relacionada con el compostaje. En concreto se fabrican trómeles de afino de compost, luego aquí encontraremos el equipo adecuado para nuestras necesidades. Elegiremos el modelo con un diámetro superior a 1.100 mm más cercano, de 1,2 metros de diámetro, similar al mostrado en la Figura 45.



Figura 45. Trómel de afino. Fuente: interempresas.net

c) Máquina rotatoria puente-grúa

La importancia de este equipo es clave a la hora de controlar el proceso de descomposición, su función es doble:

- Voltear el material presente en el reactor de descomposición con el fin de ayudar a la oxigenación necesaria para un correcto proceso de degradación biológica.
- Trasladar el material a lo ancho del reactor, creando zonas con diferente estado de descomposición desde la entrada, por un lado, hasta la salida, por el contrario.

En este tipo de reactores con pilas extendidas, por sus características se suele utilizar un puente grúa con algún equipo de volteo para realizar el volteo y el desplazamiento. No se trata de una tecnología de compostaje muy extendida aún, sólo unas pocas empresas han desarrollado el proceso completo de esta manera, por lo tanto, no será fácil encontrar este tipo de maquinaria más que por pedido. La mayoría de las plantas de este tipo instalan un sistema de tornillos sinfín en puente grúa que permiten, controlando su rotación, controlar el volteo. El puente grúa debe instalarse en dos raíles colgantes del techo, a ambos lados del reactor. Longitudinalmente debe abarcar todo el reactor, durante el volteo se hacen pasadas a lo largo del reactor desplazando las pilas hacia la salida y dejando el espacio necesario al comienzo para la entrada de nuevo

material, a través de la cinta transportadora con el tripper. El material saliente se recoge mediante tolvas que acumulan el material fermentado hasta que es recogido por una retroexcavadora y llevado a los canales de maduración.



Figura 46. Reactor en pilas extendidas. Fuente: sctecno.es

La programación de los volteos y en qué lugares realizarlos es un factor importante, ya que nos va a permitir que el material esté el tiempo de residencia adecuado en el reactor. Además de asegurar que el material ha sufrido las condiciones de temperatura y humedad perfectas para su correcta degradación.

La primera solución posible para adquirir este equipo es el diseño del mismo y el encargo de su fabricación a alguna empresa de ingeniería, ya que no hay empresas en España que la fabriquen comercialmente. Otra solución es contactar con la empresa Sorain Cechini Techno España (SCT) para la gestión de este proceso.

d) Máquina volteadora maduración

El diseño del proceso de maduración estaba basado en un sistema de canales separados por muros de hormigón, con aireación mediante volteo a través de palas rotatorias. En este diseño planteamos unos canales de 5 metros de anchura, así que la maquinaria destinada a recorrer el canal realizando el volteo debe tener un máximo tamaño de 5 metros. La máquina recorrerá el canal cada tres días, desde el extremo de avance hasta el extremo de entrada. El material será trasladado tres metros hacia adelante, dejando un espacio al comienzo para la entrada de nuevo material. Dadas las características de la pila a voltear, la solución adecuada será una máquina con palas rotatorias, con la cabina en la parte superior y los mecanismos de volteo en la parte inferior.

Para el dimensionado, se tiene dos medidas limitantes:

- Ancho de trabajo: debe ser menor de 5 metros y mayor de 4 metros, para aprovechar el tamaño de las pilas.

- Altura de trabajo: 3 metros.

Realizamos una búsqueda entre los fabricantes de maquinaria con fines medioambientales, aquí encontraremos mucha más variedad que en el caso anterior. Se observa que pocos fabricantes se dedican a máquinas volteadoras de pilas de un tamaño grande como el nuestro, pero encontramos en la empresa Ritorna Medio Ambiente máquinas volteadoras autopropulsadas (sin necesidad de tractor) que se adecúan a nuestros canales.

- **Amplia gama productiva:** 500- 2.500 m³/h, volteo pilas de hasta 3 m. de altura y 6,8 m. de anchura

Figura 47. Características de las volteadoras de Ritorna Medio Ambiente. Fuente: ritornamedioambiente.com

El sistema que utilizan estas máquinas volteadoras es el siguiente:

Sistema simple y fiable: único rotor de volteo (acero antidesgaste Hardox) que desmenuza, tritura, mezcla y oxigena el material para acelerar el compostaje

Figura 48. Sistema de volteo para el reactor de maduración. Fuente: ritornamedioambiente.com

Seleccionamos una máquina de este tipo para el volteo de las pilas de maduración. Teniendo en cuenta que instalaremos 30 canales y que el tiempo entre volteos en el mismo canal es de 3 días, parece adecuada la adquisición de una sola máquina.



Figura 49. Máquina volteadora seleccionada. Fuente: ritornamedioambiente.com

e) *Contenedores de final de línea*

Los contenedores móviles se sitúan a la salida del trómel de afino. Uno de ellos recogerá el material cribado y lo enviará a la zona de almacenaje del *compost* madurado; el otro recibe el material que pasa por el trómel y no es cribado, que es enviado a rechazo. Se tendrá un contenedor de sustitución para cada uno, por lo tanto, se adquirirán cuatro contenedores. En teoría en un momento de máxima ocupación se podrán tener hasta 14,6 t/h de flujo, estimando

que todo el material fuera compost madurado, podemos calcular el volumen del contenedor para que la descarga en el almacén no sea constante, y no necesitemos un operario dedicado a esta función. Sabemos que la densidad del *compost* a la salida del proceso es de 700 kg/m³, luego se pueden tener hasta:

$$Q = 14.600 / 700 = 20,86 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (21)$$

En cuanto a las características, no es necesario que el contenedor posea ninguna característica especial, ya que el *compost* no es un material corrosivo ni agresivo con el metal. Además, es conveniente que se trate de un contenedor con sistema de volcado automático. Este tipo de contenedores ya los describimos en el apartado 4.2.2) pero en este caso debemos buscarlos de mayor volumen, ya que con el volumen de los anteriores se harían demasiadas descargas por hora.

La solución de los contenedores manuales podría fijarse para el caso de los materiales a rechazo. Utilizaríamos el contenedor móvil más grande de Fabricaciones Metálicas, de 1.710 litros.

Para el caso del compost, vamos a buscar otro tipo de solución. Una pala cargadora nos permitiría realizar una descarga por hora o incluso menos, ya que se encuentran palas cargadoras de hasta 27 toneladas, compatibles con el espacio disponible en la planta. Por lo tanto, realizamos una búsqueda en la página web Europa-mop.com, un buscador de maquinaria industrial. Encontramos gran variedad de equipos nuevos, con una gran diferencia de precios entre las de pequeña potencia, que cargan entre 2 y 4 toneladas, y las de gran potencia, que llegan como hemos dicho hasta 25 y 27 toneladas.

En la decisión tendremos en cuenta el tiempo de ciclo necesario para retirar y almacenar el compost. En principio tenemos que construir el almacén de compost en un lugar cercano a la salida del afino, aún en ese caso el ciclo no durará menos de 5 minutos. En ese caso se deben descartar las palas de baja potencia, buscaremos una pala de alta potencia y gran tonelaje. Además, el tamaño de la pala debe ser compatible con el hueco existente debajo del trómel.

Encontramos en la página del fabricante Volvo, una pala cargadora que permitirá realizar un ciclo de descarga por hora. Hay que tener en cuenta que la condición de 20 m³/h es para el caso máximo de flujo y una hipótesis de que todo el material que llega al afino es *compost* madurado. Por ello se selecciona el siguiente modelo, **Volvo L-220H** que permite hasta 16,8 m³ de volumen de cuchara, con operador en cabina.



Figura 50. Pala cargadora Volvo seleccionada. Fuente: volvocars.com

4.3.3) Esquema de distribución en planta

Las tres zonas de procesos diferenciados pueden estar situados en el mismo espacio, no hay ninguna razón que nos obligue a instalar un método de separación. La mayor parte del área se destinará a la construcción de los reactores, donde se produce la fermentación aerobia y la posterior maduración. El compost debe pasar posteriormente por el afino final antes de llegar al lugar de almacenaje. Se necesita una gran superficie para albergar los dos reactores, ya que tenemos una planta con gran capacidad de tratamiento y el proceso de compostaje completo dura unas 6 semanas. Se detallan a continuación los elementos que deben situarse en el esquema:

- Reactor biológico aerobio con sistema de ventilación forzada y de volteo por tornillos sinfín.
- Reactor de maduración en canales separados por muros de hormigón y volteo.
- Sistema de afino final mediante trómel de cribado.

La superficie requerida para realizar el compostaje completo de la carga que recibe la planta de tratamiento está ya decidida en gran parte, debido a que tenemos la superficie de los dos reactores. Fueron calculadas en el apartado de diseño, a partir de las necesidades de los procesos biológicos. Además, la necesidad de superficie para el afino es muy baja, el sistema no es más que un trómel y una cinta transportadora. Las superficies necesarias se resumen en la Tabla 22.

Tabla 22. Dimensiones de la zona de compostaje. Fuente: Elaboración propia

Zona	Largo (m)	Ancho (m)	Superficie (m ²)
Reactor de fermentación	80	30	2400
Reactor de maduración	80	50	4000
Afino final	-	-	20
Superficie auxiliar	-	-	400
		Superficie total	6820

El afino final se puede instalar en un espacio de 6 x 3 m para contener la cinta transportadora y el trómel de afino. Dentro de la superficie auxiliar se tiene en cuenta todo el espacio alrededor de los reactores necesario para el tránsito de operarios y de las máquinas, así como para la maniobrabilidad del equipo de transporte. La necesidad estimada de área es de 6.820 m², el mínimo de una de las dimensiones será de 80 metros para contener los reactores, de 90 metros si tenemos en cuenta los necesarios espacios de movimiento y de maquinaria auxiliar. Se puede diseñar un espacio de 90 x 80 m, que permitirá mayor espacio auxiliar.

En cuanto a las conexiones de la zona de compostaje con el resto de las zonas:

- Entrada de la materia orgánica desde el pretratamiento. Mediante una cinta transportadora, que comunica con la cinta transportadora del reactor.
- Salida del *compost* madurado hacia la zona de almacenaje de *compost*. El *compost* se traslada mediante una pala cargadora a través de una puerta automática de lona.

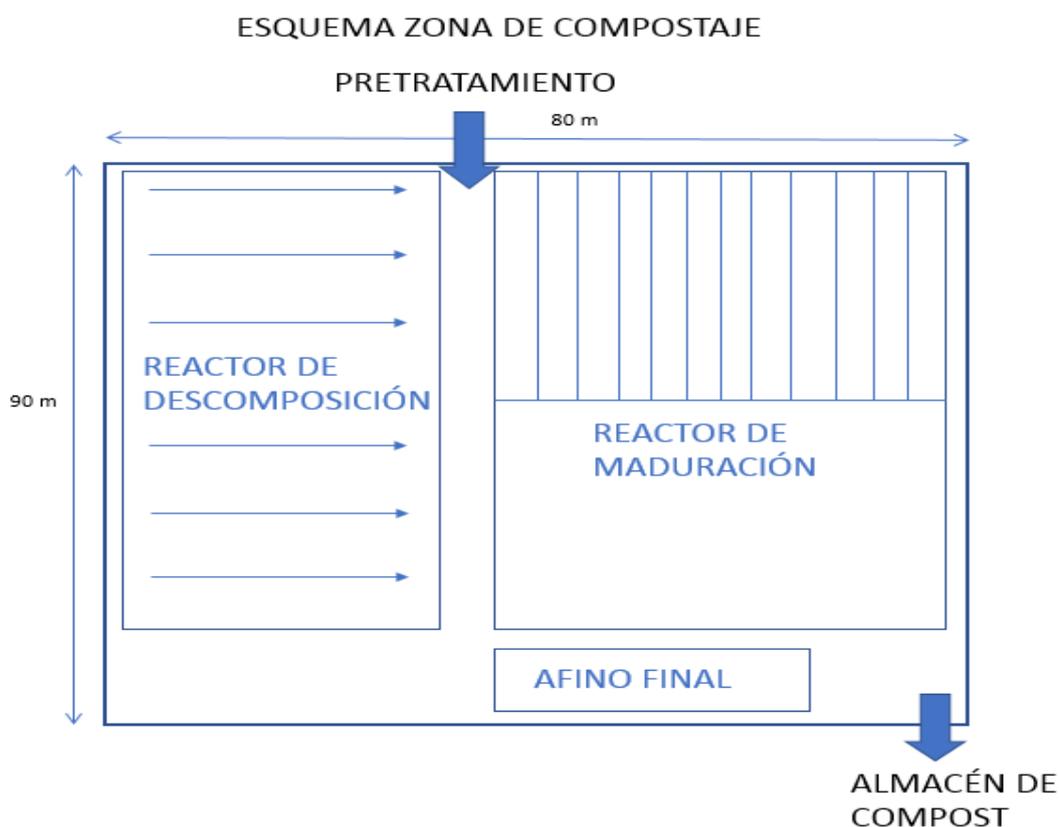


Figura 51. Esquema de distribución en planta de la zona de compostaje. Fuente: Elaboración propia.

4.4) Zonas auxiliares

Se denominan zonas auxiliares, aquellas zonas del conjunto de la planta de tratamiento que no están relacionadas directamente con el proceso de selección y compostaje pero que son

igualmente importantes para el fin de la planta. Estas zonas se pueden dividir en dos tipos: los servicios auxiliares a la producción y los servicios auxiliares para el personal. En el presente apartado se detallarán los diferentes espacios auxiliares que tendrá la planta, aunque no de manera tan detallada como en las zonas de proceso. Se realizará una estimación racional del espacio necesario para cada una de las funciones que se desempeñan alrededor de la planta.

a) Almacén de subproductos

Se necesita un espacio para almacenar las balas o fardos de subproductos antes de su entrega al gestor autorizado del residuo. Las balas son extraídas de la prensa mediante un *transpallet*, posteriormente llevadas al almacén donde, antes de ser apiladas, son pesadas en una balanza para el correcto control de la recuperación de los materiales. Tenemos dos tamaños de balas dependiendo de la prensa en la cual han sido comprimidas, esto nos permite el apilamiento con seguridad en dos tipos de pilas, según el tamaño:

- Pila de envases, con tamaño de bala de 1,08 x 1,2 metros de base y 1,1 metros de altura.
- Pila de metales, con tamaño de bala de 0,4 x 0,3 metros y 1 metro de altura.

En el documento de Ecoembes sobre los subproductos se fija el mínimo de toneladas de cada subproducto que puede recoger el gestor autorizado, es decir la cantidad de cada subproducto que debemos almacenar antes de ser entregado, estos son:

Tabla 23. Superficie necesaria para el almacén de subproductos. Fuente: Elaboración propia

Subproducto	Cantidad a almacenar (t)	Densidad aparente (kg/m3)	Volumen necesario (m3)	Nº de balas a almacenar	Superficie (m2)
PET	10	190	52,63	36,92	47,85
PEAD	10	210	47,62	33,40	43,29
Papel / Cartón	20	350	57,14	40,08	51,95
Bricks	20	400	50	35,07	45,45
Mixtos	10	210	47,62	33,40	43,29
Férricos	5	800	6,25	52,08	6,25
Aluminio	5	500	10	83,33	10
					248,08

Como se observa es necesaria una superficie de aproximadamente 250 m², en el caso de apilar en dos niveles sería de 125 m². Además, se necesita espacio para la balanza y para las maniobras de la maquinaria de transporte. Por lo tanto, parece adecuado fijar la superficie en 175 m². Una nave auxiliar adosada a la nave de pretratamiento de 15 x 12 m será suficiente.

b) Almacén de compost

En el caso del *compost* la necesidad de almacenaje será superior al caso de los subproductos, principalmente porque no existe un sistema normalizado para entregar el *compost* a ningún gestor. En la actualidad el *compost*, que es utilizado como fertilizante agrícola, tiene muy poca salida en el mercado. Las empresas gestoras de residuos que fabrican *compost* se ven obligadas

a entregarla gratuitamente, ya que las propiedades de este son inferiores a los fertilizantes inorgánicos. De todas maneras, los efectos positivos del compostaje respecto al medio ambiente hacen que sea una manera adecuada para “reciclar” la materia orgánica.

El almacén de *compost* se situará lo más cerca posible del afino final, para minimizar el coste del transporte. El *compost* madurado se almacenará en pilas de la máxima altura recomendada para estos casos, distinta de la que fijamos en los reactores. Se puede fijar en 4 metros, observando instalaciones similares. El dimensionado de la superficie se realizará teniendo en cuenta un tiempo de almacenaje de varias semanas, tendremos en cuenta que cada cierto tiempo habrá una recogida y entrega de material. Si fijamos dos semanas de almacenaje, el área necesaria será de:

$$V = 3.668,51 \text{ ton} / 0,7 \text{ kg/m}^3 = 5.240 \text{ m}^3 \quad (22)$$

$$S = 5.240 \text{ m}^3 / 4 \text{ m} = 1.310 \text{ m}^2 \quad (23)$$

Se diseña una nave industrial adosada a la zona de compostaje de 1.310 m².

c) Administración y oficinas

Aquí se incluye las oficinas, los laboratorios, los cuartos de baño, los vestuarios de los operarios, los comedores y las zonas recreativas.

- Oficinas. Se denominan así los espacios de la planta donde se realizan trabajos de administración: dirección, contabilidad, proyectos, control... Su construcción se realizará lo más cerca posible de las zonas de proceso con conexiones sencillas con estas. El edificio de oficinas debe tener el Sistema de Protección contra Incendios del Código Técnico de la Edificación.

En cuanto a la necesidad de superficie, en ocasiones en las Ordenanzas Municipales de la localidad donde se instala la industria ofrece recomendaciones en cuanto a este tema. En el caso de Orihuela no aparece en las O. M. nada sobre este tema. Sin embargo, podemos consultar el Real Decreto 486/1997 donde se especifica un mínimo de 2 m² y 10 m³ de espacio libre por trabajador. La necesidad de superficie para este fin teniendo en cuenta la condición de volumen y 10 trabajadores es de 40 m².

- Laboratorios. Dados los procesos que tienen lugar en la planta es importante poder realizar un control continuo de los productos, en particular del *compost* en los diferentes estados por los que pasa. Debido a los componentes químicos utilizados en los laboratorios se debe tener en cuenta los Reglamentos Específicos para el uso y la eliminación de los diferentes compuestos y residuos generados en ellos. El laboratorio estará situado cerca de la zona de producción para evitar el transporte demasiado largo de piezas o productos.

La superficie necesaria para la instalación del laboratorio depende de si se instala un laboratorio de control de calidad, un laboratorio de investigación o ambos. En nuestro caso instalaremos lo básico, un laboratorio de control de calidad, donde se controle el proceso de compostaje, así como otras variables de los diferentes procesos que se considere necesario. En este caso la superficie necesaria teniendo en cuenta 2 operarios y el espacio para el almacenaje de productos y aparatos del laboratorio es de 20 m².

- Comedor. La opción de instalar un comedor para el personal o no depende de diferentes factores. El primero es la cercanía de la planta a locales de restauración o a sus propios domicilios, dependerá de la localización de la planta. El segundo es el horario de los operarios, se suele programar los turnos de los operarios de producción para que las salidas y entradas coincidan con las comidas principales (6-14 h, 14-22 h, 22-6 h) así se permite a los operarios realizar las comidas principales en sus domicilios. Aun así, parece apropiada la instalación de un pequeño comedor que pueda realizar las funciones de lugar de descanso durante los almuerzos o meriendas. Por ello, se instalarán máquinas de vending de comida y bebida.

La superficie necesaria teniendo en cuenta que el total de operarios que puede haber en la planta en determinado momento es de 30, es de 60 m².

- Servicios de higiene. Aquí se incluyen los vestuarios y WC. Según el RD 486/1997 la instalación de vestuarios es obligada en el caso de que se necesite un vestuario especial para el trabajo. Como este es nuestro caso instalaremos dos vestuarios con duchas y taquillas individuales, para hombres y mujeres. Para el caso de los WC, en el mismo RD se dan indicaciones al respecto:
 - Se debe instalar 1 lavabo cada 10 trabajadores.
 - Se debe instalar un wáter cada 25 trabajadores.

Luego se instalarán 2 cuartos de baño para hombres y 2 para mujeres con un lavabo y un wáter por cada uno.

La necesidad de superficie total será de 30 m².

- Por lo tanto, el sentido común aconseja reunir estos servicios en el mismo edificio, que se encontrará adjunto a las zonas de proceso, así cumpliremos la condición de cercanía con la producción. La necesidad total de superficie es de 150 m², si añadimos pasillos, entrada y demás zonas auxiliares se puede estimar en 200 m², que debido a la naturaleza de las actividades realizadas en el interior se pueden construir en dos alturas de 100 m². En principio será suficiente con una planta de 10 x 10 metros.

4.5) Zona perimetral

Se deben incluir en este espacio los aparcamientos y las zonas de entrada, de pesado y de maniobrabilidad alrededor de la planta.

a) *Aparcamientos*. En la Ordenanza Municipal de Orihuela relativa a Edificación se especifica la necesidad de plazas de aparcamiento:

g) Edificios Industriales o naves almacén sin uso específico.
Según las características de la actividad. En cualquier caso, y aun desconociendo el uso, se dispondrá al menos:
1 aparcamiento/100 m² .construidos.

Figura 52. Detalle de la Ordenanza Municipal de Orihuela relativa a Edificación. Fuente: O.M.

Tenemos hasta ahora 10.105 m² de construcción lo que significarían 100 plazas de aparcamiento, lo cual parece excesivo dado el hecho de que en la planta simultáneamente se encuentran como máximo 30 operarios. Esto es debido a la alta automatización de la planta, ya que una industria de 10.000 m² de superficie construida sin la automatización que tenemos, necesitaría de muchos más operarios.

En la O.M. no aparecen dimensiones de referencia en cuanto a los aparcamientos, pero se toman las habituales de 5 x 2,5 m. En este caso para 100 vehículos se necesitan 1.250 m², más las zonas de acceso y tránsito, que se pueden aproximar a la mitad del espacio para aparcamientos, luego el total necesario es de 1.875 m². Se diseña una zona rectangular de 45 x 42 m debidamente señalizada marcando con pintura en el asfalto cada plaza.

b) *Zona de acceso, pesado y perimetral*. Se trata del vial de acceso a la parcela, una zona con un control de acceso con balanza y del espacio asfaltado alrededor de la planta.

- Zona de acceso y pesado. Debido a la afluencia masiva de camiones para la descarga diaria, se debe acondicionar una carretera asfaltada y con una anchura suficiente. El vial de doble sentido recorrerá el trayecto entre el límite de la parcela y una zona de paso, donde el vial se bifurcará entre un control de acceso para camiones con cabina de control y un control de acceso para los vehículos de los operarios. Los camiones accederán a los muelles de descarga, realizarán el volcado y volverán a la salida a través de otro vial del mismo punto de control con otra balanza. Volverán a ser pesados para el seguimiento del balance de masas que se tiene en la planta. Los vehículos de los operarios tendrán acceso al aparcamiento y al acceso peatonal a la planta. Se estiman 400 m² de superficie.
- Zona perimetral. Se entiende por zona perimetral los alrededores de la planta que han sido urbanizados y asfaltados para el tránsito de vehículos o personas. Además, habrá que instalar zonas verdes, que según el Plan de Ordenamiento Urbanístico de Orihuela deben ocupar como mínimo el 10% de la superficie total construida. Luego se necesitan 1.000 m² de zona verde, que estará situada a lo largo del perímetro de la planta.

La zona perimetral se diseñará para reducir al mínimo los trayectos de camiones y vehículos en general. De todas formas, será necesario realizar la urbanización y asfaltar todo el perímetro de

las naves, para facilitar el posible movimiento de maquinaria o de operarios. Por lo tanto, se tienen alrededor de 10.000 m² de construcción, se calcula en una estimación la superficie perimetral necesaria en el caso de unos retranqueos con el límite de la parcela de 10 metros. Este cálculo es aproximado ya que las naves no formarán un cuadrado perfecto, además será necesario más espacio en algunas partes que en otras. Si se estima un cuadrado de 100 x 100 metros se tiene una superficie de:

$$S = (120 \times 120) - (100 \times 100) = 4.400 \text{ m}^2$$

4.6) Sistema de control de olores

La necesidad de instalar un sistema de control de olores en la planta de tratamiento nace de la localización de ésta. Se decidió localizar la planta en una parcela de un polígono industrial, que dista 1,2 km del núcleo urbano más cercano. Este hecho provoca que no cumplamos la condición estricta de distancia mínima de una instalación de gestión de residuos según el PIR, que es de 2 kilómetros. Se debe cumplir la condición que expresa este mismo documento en su epígrafe 1.2.7 para el caso de instalar la planta a una distancia de entre 0,5 y 2 kilómetros, que es *“Las instalaciones que se ubiquen entre los 500 y los 2000 m deberán justificar la no afección al suelo bien mediante medidas correctoras que se definan en el proyecto bien porque las condiciones naturales del área garantizan la no afección a dichos suelos”*. Por ello se realiza una investigación para diseñar el sistema de control de olores más adecuado.

En primer lugar, se analiza el problema de los olores en la industria. Se define el olor como una propiedad organoléptica perceptible por el órgano olfativo cuando se inspiran ciertas sustancias volátiles. Para comprender como se miden los olores se debe entender la diferencia entre la emisión y la inmisión. La medida de emisión se refiere a la que se realiza en la salida del foco emisor. La medida de inmisión mide la concentración de determinadas sustancias en un punto determinado, y está relacionada con el nivel de calidad del aire y con el impacto sensorial que reciben los seres humanos.

La percepción de los olores es como tal subjetiva, depende de ciertas condiciones personales o psicológicas de la persona que reciba el olor. Para afrontar el problema de los olores en los procesos industriales necesitamos formas de cuantificarlos objetivamente. La mejor manera de medir los olores es a partir de la medida de concentración de ciertas sustancias en el aire, las consideradas sustancias con olores ofensivos. La unidad habitual de medida de tales sustancias volátiles es el microgramo por m³, aunque la normativa europea relativa a olores proporciona otra unidad de medida también relacionada con la concentración, la UOE (Unidad de Olores Europea). Se define la UOE como el número de diluciones que debe realizarse a una muestra olorosa para que sea detectada por el 50% de un grupo de personas.

En la normativa relativa a este apartado de la Ley de Residuos 10/2000 y en el Plan Zonal se alude a la necesidad de que los olores no afecten a la población, pero no se fijan umbrales de emisión ni de inmisión límite. El hecho de que nos encontremos a una distancia menor a la

distancia límite a un suelo urbano o urbanizable obliga a instalar algún sistema de control de olores. La planta contará con un sistema de ventilación y de renovación de aire, que antes de emitir a la atmósfera recibirá un tratamiento para reducir el impacto de los olores.

En una planta de tratamiento de residuos urbanos se producen olores en todos los procesos, debido a la naturaleza de dichos residuos, pero donde se producen olores ofensivos de mayor intensidad es durante el compostaje. Se producirán olores relativos a distintos componentes según esté ocurriendo el proceso de descomposición:

- Olor a amoníaco (NH_3), debido a un material entrante con mucho nitrógeno y a una mala oxigenación.
- Olor a huevo podrido (H_2S), causado por una humedad elevada en el reactor.

Por lo tanto, además del sistema de control de olores es importante el control de los procesos que ocurren en el compostaje, manteniendo siempre el proceso en los valores adecuados de las diferentes variables a controlar.

Existen diferentes tecnologías que se utilizan en la industria para controlar olores, son las mismas que se utilizan para controlar la concentración de partículas, se detallan a continuación:

- Destrucción térmica. Se hace pasar el flujo de aire por un quemador, que transforma las sustancias olorosas en otras menos dañinas. Requiere de un gran gasto de energía, aunque en determinadas industrias se puede recuperar parte del calor cedido en otros procesos para reducir el gasto de energía. La instalación también es compleja y tiene un elevado coste de adquisición. Esta tecnología se utiliza en la mayoría de los casos para industrias que emiten al ambiente una concentración alta de sustancias volátiles, para reducir su concentración y cumplir la ley.
- Carbón activo. La tecnología se basa en la instalación de lechos de carbón activo, a través de los cuales se hace pasar el flujo de aire a descontaminar. Por sus características no es la más adecuada para la limpieza constante de partículas, ya que el coste aumentaría mucho al tener que renovar los lechos de carbón activo al agotarse. Además, es sabido que tiene poca eficacia tratando partículas pequeñas como el amoníaco, que es el principal causante de olor en nuestra planta.
- Lavado químico. Se utilizan disoluciones a través de las cuales se hace transitar el flujo de aire. Los diferentes reactores en disolución reaccionan con las sustancias que se pretenden eliminar, dejando libre de sustancias el aire. Es una tecnología de alto coste, por el alto precio de los reactores y la necesidad de renovarlos. Aun así, el coste por m^3 de flujo tratado no es más alto que el resto de las opciones, ya que permite el tratamiento de un gran caudal. Por otra parte, se requiere mantenimiento constante por parte de operarios.
- Biofiltros. Esta tecnología utiliza lechos de material orgánico vegetal húmedo para absorber las partículas contaminantes de un flujo de aire contaminado. Es muy utilizado

para el control de olores, debido a su bajo coste de renovación en comparación con el lavado químico o el carbón activo. Se adapta a una gran variedad de partículas, ya que no se produce una separación química sino física. El coste de mantenimiento consiste en la renovación del material del lecho (de bajo coste) y en el regado constante para conservar el lecho en las condiciones adecuadas.

Ya conocemos los diferentes sistemas existentes en el mercado, ahora vamos a intentar caracterizar las partículas que tendremos, teniendo en cuenta los procesos que se llevan a cabo en la instalación. Tenemos un proceso de compostaje por aireación forzada, que produce mayor cantidad de olores que una con aireación natural, debido a la aceleración del proceso que se produce. Las principales sustancias que producen un olor desagradable en un proceso de compostaje son: el amoníaco, el ácido sulfhídrico y los COVs producidos a partir del metano. Por lo tanto, la elección del sistema de control de olores tendrá como fin la eliminación de la mayor cantidad posible de estas partículas. Se tienen en cuenta los olores producidos en el proceso de compostaje ya que son de mayor intensidad que los producidos en el resto de los procesos, aunque se tratará todo el aire de la instalación. El gráfico de la Figura 53, obtenido de un manual de eliminación de contaminantes de Isagen, basado en recomendaciones del IPPC (Prevención y Control Integrado de la Contaminación) nos ayuda a seleccionar el sistema.

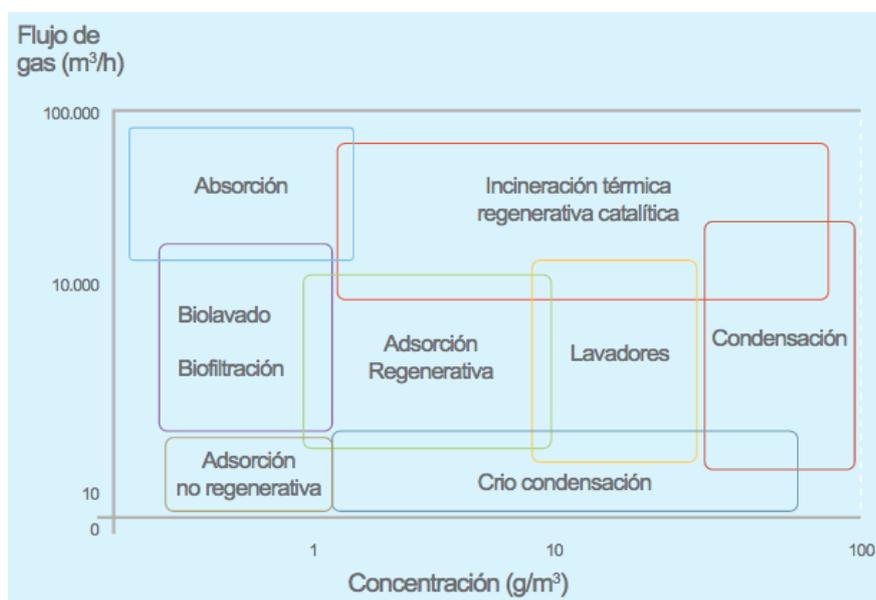


Figura 53. Gráfico de elección del sistema de control de olores. Fuente: isagen.com.co

Se observa que se tienen en cuenta dos factores a la hora de movernos por la gráfica: la concentración de las partículas y el flujo de gas en m³/h. En nuestro caso la concentración es de menos de 1 g/m³ en todos los casos. En el caso de un proceso de compostaje controlado no debe emitirse una concentración mayor que esta. En cuanto al flujo de gas se tiene en cuenta el

Real Decreto RD 427, en el cual se explicita una renovación de aire mínima para instalaciones industriales de 30 m³/h, y de 50 m³/h para instalaciones con características especiales. En nuestro caso nos moveríamos entorno a los 1.000 m³/h para 20 operarios. Además, hay que tener en cuenta la ventilación forzada del reactor de descomposición, cuyo producto se debe canalizar por tuberías para expulsarlo al exterior. Es difícil de cuantificar, pero al ser un gráfico orientativo nos sirve con saber que nos encontramos en la zona superior izquierda, entre la absorción y los biofiltros.

Antes de tener en cuenta el gráfico, analizando las características de cada sistema, los biofiltros parecían el sistema más adecuado para el tratamiento de olores en la instalación. Ofrece un coste bajo de mantenimiento e instalación, un gran caudal de trabajo y permite eliminar todas las sustancias que pueden aparecer en una planta de estas características. Vamos a comparar este sistema con la bioabsorción, que en el gráfico aparece como adecuada para nuestro caso y se trata de un sistema muy similar a los biofiltros. La bioabsorción se basa en el uso de microorganismos para depurar las sustancias odoríferas del flujo de aire. Se trata de un sistema más eficiente pero más costoso que los biofiltros, además se necesita de un gran mantenimiento y de personal cualificado para hacerlo. Estas razones hacen que no sea una tecnología muy utilizada en la industria. Teniendo en cuenta que el control de olores no es la prioridad a la hora del diseño de la planta, ya que la condición que aportaba la ley no hacía referencia al nivel de control, no merece la pena aumentar el presupuesto en este aspecto.



Figura 54. Ejemplo de sistema de biofiltros con riego automático. Fuente: mspesp.com

Se decide la instalación de biofiltros para controlar los olores en las emisiones de la planta. La instalación constará de una construcción rectangular de hormigón, donde se colocará el material de filtrado. El aire contaminado se introduce por la parte inferior mediante grandes ventiladores, donde hay un espacio separado por una rejilla del material de filtrado. El aire se filtra por convección y en el material orgánico húmedo se producen cultivos microbianos que absorben las sustancias contaminantes, reduciendo la potencia de los olores. El material de filtración utilizado suele ser turba, cortezas de árboles, en ocasiones se añade grava para aumentar la porosidad del material. Se debe mantener una humedad adecuada para que el proceso biológico se produzca en perfectas circunstancias, para ello existe la opción de instalar un sistema de

regado automático, controlado desde un puesto de control. El coste de renovación de los materiales no es elevado, ya que la vida útil puede alcanzar los 10 años en los basados en fibra de turba o los 5 años en los de fibras vegetales. El proceso de biofiltrado se basa en la oxidación de los componentes contaminantes, produciendo material no peligroso, que por lo tanto no debe ser retirado inmediatamente. Las características del lecho serán las siguientes:

- Profundidad del lecho. Los datos basados en la experiencia demuestran que la profundidad adecuada es entre 1 y 2 metros. La más habitual es de 1,5 metros, que es la que instalaremos.
- Superficie del lecho. El valor típico de velocidad de filtración es de $0,02 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$. Estimamos un flujo de aire máximo de $50.000 \text{ m}^3/\text{h}$, con el que se obtienen 695 m^2 de superficie. Para trabajar con cifras redondas, se diseña un espacio rectangular de 20 metros de ancho por 35 metros de largo que hacen 700 m^2 de superficie.
- Material del biofiltro. El material con mayor vida útil es el de fibra de turba. Se decide utilizar este material por su larga vida útil y por su comportamiento similar al de las fibras vegetales.
- Humedad óptima. Para el material de fibra de turba se debe mantener una humedad de alrededor del 40 %. Se instalará un sistema de riego automático que lo ponga en marcha cuando la humedad descienda de un valor límite y lo detenga cuando supere el valor máximo. Fuera de un determinado rango de humedad, el comportamiento de los microorganismos no es el adecuado para producir la depuración de olores, por lo tanto, no se cumpliría el fin del sistema.
- pH óptimo. El pH del biofiltro debe ser controlado, ya que dependiendo de las sustancias que se eliminen, se forman ácidos o bases que pueden afectar al comportamiento del cultivo microbiano. El pH adecuado es el neutro 7, si se observan desviaciones importantes se deben adicionar al biofiltro compuestos especiales para equilibrar el pH.

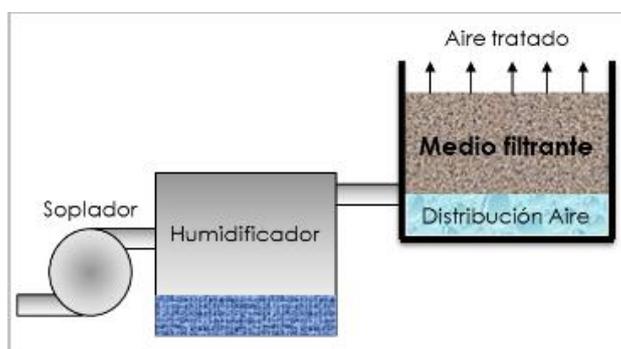


Figura 55. Esquema de un sistema de biofiltros. Fuente: isagen.com.co

4.7) Sistema de recolección de lixiviados

Según la Ley de Residuos 10/2000, es obligatorio para instalaciones de gestión de residuos controlar los lixiviados producidos en toda su superficie. En dicha ley se exponen varias posibilidades: en el caso de que el lixiviado no supere ciertos valores de ecotoxicidad, este podría ser vertido a la naturaleza sin mayor control; pero en el caso de que estos lixiviados tengan cierta ecotoxicidad (lo habitual en una planta de residuos) estos deben ser gestionados por los gestores autorizados.

En la planta los lixiviados serán recogidos por un sistema de saneamiento y almacenados en una balsa. Dependiendo de factores como la evaporación o la pluviometría estos lixiviados deberán ser gestionados y eliminados por un gestor autorizado cada cierto tiempo. Además, el lixiviado será utilizado para el riego del reactor de fermentación si se considera necesario estimular la actividad de los microorganismos.

Los lixiviados se producen en las tres zonas de proceso de la planta, aunque en cada zona poseerán características y tasas de producción diferentes. Se explican a continuación los sistemas de recolección de lixiviados en cada zona:

- **Recepción.** Sistema de recogida en el foso mediante suelos inclinados y sumideros. En el foso se reciben los RU en forma de bolsas de basura en su mayor parte. La fracción líquida de tales residuos no será elevada, salvo en el caso de que haya habido lluvias recientes. Los sumideros conectan con el sistema de tuberías que desagua en la balsa de lixiviado.
- **Pretratamiento.** Sistema de recogida mediante múltiples sumideros en el suelo. Durante este proceso no se producen apenas lixiviados, pero se debe instalar el sistema de todas maneras.
- **Compostaje.** Sistema de recogida de lixiviados en la solera de ambos reactores. En este proceso se produce la mayor parte de los lixiviados de la planta. El material orgánico que se introduce pierde alrededor del 20% de su humedad durante su paso por ambos reactores, una parte se produce por evaporación y otra por lixiviado. En ambos reactores habrá un sistema de recogida de lixiviados, que serán canalizados hacia la balsa de lixiviados en condiciones normales, pero se tendrá la posibilidad de realizar la conexión para el caso de que sea necesario el riego del reactor de fermentación.

Los lixiviados deben recogerse y almacenarse, su gestión posterior puede ser de diferentes maneras:

- Riego del reactor de fermentación
- Tratamiento en depuradora propia
- Transporte por gestor autorizado

En nuestro caso se utilizarán para riego cuando sea necesario, el caudal de lixiviado que no sea

utilizado para riego deberá ser entregado a un gestor autorizado para su eliminación. Para esta segunda opción se necesita la construcción de una balsa de lixiviados que almacene el caudal de lixiviados hasta que sean entregados. Según la legislación, la balsa debe poseer un vallado perimetral de 2 metros de altura con puerta de acceso cerrada, además del material de seguridad

$$\text{Volumen balsa (m}^3\text{)} = [\text{Qfo (t/año)} \times 6 \text{ (semanas)} \\ \times 0,05 \text{ (m}^3\text{/t)} \times 1,3] / 52 \text{ (semanas/año)}$$

normal de salvavidas. La estimación de la superficie se realiza teniendo a partir del volumen necesario por la fórmula de la Figura 56.

Figura 56. Fórmula de la superficie de la balsa. Fuente: consultoriapv.com

Con Q_{fo} = Materia orgánica tratada anualmente en la planta, el resultado se muestra en (24).

$$V = 772,5 \text{ m}^3 \quad (24)$$

Se suelen diseñar balsas trapezoidales con 1,5 metros de profundidad en su parte más honda, con lo cual se necesitarán al menos:

$$S = 772,5 / 1,5 = 515 \text{ m}^2 \quad (25)$$



Figura 57. Balsa de lixiviado. Fuente: consultoriapv.com

En algunas instalaciones es necesario también gestionar las llamadas aguas pluviales sucias, que son las aguas de escorrentía que han tenido contacto con los materiales dentro del proceso. Las aguas pluviales sucias suelen producirse cuando se tienen zonas semiabiertas o directamente abiertas. En nuestro caso todos los procesos tienen lugar en naves cerradas, luego no se tendrán pluviales sucias. Se gestionarán las pluviales vertiéndolas en la red de saneamiento normal.

4.8) Diagrama de flujo

En la fase de selección debemos separar las fracciones del residuo sólido urbano entrante en partes reciclables o valorizables. Nuestro objetivo debe ser recuperar la mayor parte posible de los siguientes materiales:

- Materia orgánica, que utilizaremos en la misma planta para obtener *compost*.
- Papel y cartón.
- Aluminio.
- Envases de plástico.
- Materiales férricos.
- Otros materiales, que deberán enviados al vertedero.

Para ello debemos utilizar maquinaria automática que nos permita la separación, y en los casos que no se pueda realizar automáticamente se instalarán puestos de separación manual, con operarios que separen el material indicado.

Los RSU se descargan en un foso o playa de descarga a través de los muelles de descarga, donde los camiones especializados depositan su carga. Aquí se acumulan los residuos, ya que la descarga se realiza habitualmente en las primeras horas del día, pero la línea de tratamiento debe recibir material continuamente durante las horas de los turnos de trabajo. Para dosificar la entrada de residuos en la línea de tratamiento se utiliza un pulpo hidráulico. Además, el pulpo permite la separación de residuos impropios de gran tamaño (colchones, muebles...), los cuales hay que evitar que entren en el sistema de triaje. En la Figura 58 se observa un pulpo hidráulico en su trabajo.



Figura 58. Pulpo hidráulico en foso de descarga. Fuente: ghcranes.com

El pulpo deposita los residuos en una máquina abre Bolsas, por la que deben pasar todos los residuos. Esta máquina destruye las bolsas de plástico y permite que los diferentes componentes se transporten separadamente. Funciona mediante un sistema de tornillos sin fin con movimiento rotatorio, que permite abrir las bolsas sin triturar su contenido, como se observa en la Figura 59.



Figura 59. Máquina abre Bolsas. Fuente: grupo-spr.com

Los residuos se transportarán por la planta mediante cintas transportadoras de plástico que funcionan mediante rodillos. Las cintas transportadoras permitirán el paso de los residuos, ya fuera de las bolsas, por las diferentes estaciones de separación.



Figura 60. Cinta transportadora. Fuente: mtc-arm.com

En primer lugar, debemos separar la materia orgánica de la inorgánica. La materia orgánica será tratada posteriormente para la producción de *compost*, la materia inorgánica debe continuar siendo separada en sus fracciones. Para esta separación la opción más adecuada es un trómel, que permite el cribado de la materia orgánica. El cribado se realiza entre la fracción húmeda (orgánica) y la fracción seca (inorgánica). El trómel es un cilindro giratorio metálico de gran tamaño, con aberturas en toda su superficie interior, que permiten el cribado de los residuos menores de determinado tamaño, un ejemplo se puede observar en la Figura 61. El trómel debe ser alimentado por un alimentador tras el paso por el abre Bolsas, que realizará la función de dosificar la entrada de residuos en el trómel. Los residuos pasan longitudinalmente a través del trómel, produciéndose la separación. Para la configuración de planta que se diseña, es un factor muy importante conseguir un alto rendimiento en la separación de la materia orgánica del resto, ya que este hecho permitirá aumentar por un lado la eficacia del proceso de compostaje y por otro la calidad del *compost*.



Figura 61. Trómel de cribado. Fuente: tusa.es

La fracción de materia inorgánica debe continuar por la planta, hasta conseguir la separación de los subproductos que queremos obtener. El primer paso es la división entre envases de plástico y el resto. Para ello una opción que trabaja con un gran rendimiento es la separación por aspiración. Se va a instalar un separador aerodinámico (ciclón), alimentado por la cinta transportadora que viene del trómel con la materia inorgánica. Al ser introducidos en el ciclón en funcionamiento los envases de plástico son aspirados por la parte superior, mientras que los productos más pesados caen a la parte inferior. Los envases de plástico son depositados en una cinta transportadora que llevará los envases a los siguientes puntos de separación, ya que entre ellos se debe hacer un triaje antes de que se conviertan en subproductos adecuados para la venta. Los materiales pesados se introducen en otra cinta transportadora, para llevarlos a las siguientes estaciones.



Figura 62. Ciclón o separador aerodinámico. Fuente: tamaaernova.com

La fracción pesada está compuesta de materiales metálicos, restos de obras y demás elementos no aprovechables para valorización. Esta fracción no posee interés a la hora de ser valorizado, a excepción de los materiales férricos, que son reciclables. Por lo tanto, se hace transitar estos productos por un separador magnético, que nos va a permitir separar los materiales ferromagnéticos del resto. El resto se va a la cinta de rechazo a vertedero.



Figura 63. Vertedero de residuos. Fuente: laverdad.es

Por el otro lado, tenemos la fracción más ligera, los envases de plástico. Los envases se transportan por una cinta transportadora hasta la cabina de triaje manual de papel y cartón. Esta es la única estación de separación donde se utilizan operarios para el triaje, esto es debido a la imposibilidad tecnológica de separar el papel-cartón del resto del plástico automáticamente. El proceso es el siguiente, a partir de una inspección visual varios operarios colocados a ambos lados de la cinta separan manualmente el cartón y el papel del resto de productos. El flujo debe ser constante y dosificado, para facilitar la detección visual de los materiales buscados. El papel y cartón separado será enviado a la prensa como subproducto.



Figura 64. Cabina de triaje manual de papel y cartón. Fuente: milanuncios.com

La fracción de residuos restante está formada por diferentes tipos de plásticos. Vamos a instalar una serie de separadores automáticos en cascada que dé como resultado los subproductos separados. En primer lugar, un separador por corrientes de Foucault nos permite separar los envases de papel de aluminio. El flujo pasa a través de una cinta transportadora por el separador y mediante un sistema de corrientes de Foucault los materiales que están formados, aunque sea parcialmente por aluminio son atraídos y separados. En nuestro caso se trata de papel de aluminio, que debe ser enviado a la prensa mediante una cinta transportadora. Posteriormente se instalarán dos separadores ópticos, donde se deben identificar y separar mediante sensores ópticos los diferentes tipos de plástico que se pueden valorizar como subproductos: PET, PEAD, bricks y plásticos mixtos (PP, PS y PVC). El funcionamiento de un separador óptico es el que se puede ver en la Figura 65. Se trata de una maquinaria de alta tecnología que separa los tipos

subproducto. Este transporte se realiza mediante los contenedores móviles de final de línea. En las prensas se obtienen balas, que también deben ser transportadas hasta los lugares de almacenaje. En la Figura 67 se puede observar una bala prensada de material plástico. Este transporte se realizará mediante un transpallet u otra maquinaria móvil adecuada para este tipo de producto. Las balas se almacenarán hasta que sean recogidas por los compradores.



Figura 67. Bala de subproducto plástico. Fuente: heco.biz

Aquí termina el proceso relacionado con la materia inorgánica, separada en el trómel al comienzo del pretratamiento. En el caso de la materia orgánica, se diseña un sistema de producción de compostaje mediante su fermentación. Existen diferentes sistemas para la obtención de *compost*. En el apartado 4.3) del presente trabajo se explican las diferentes posibilidades, se elige el sistema que se considera más adecuado y se justifica su elección. Como se verá vamos a diseñar un sistema de compostaje aerobio con aireación forzada y por volteado. En el reactor de descomposición se formarán pilas de biomasa que, al ser una fermentación aerobia, deberán ser volteadas regularmente para que se oxigene todo el volumen de biomasa además del sistema de ventilación. La fracción orgánica separada en el trómel es llevada a la nave contigua a la zona de tratamiento, allí debe ser depositada de manera uniforme a lo largo y ancho del reactor.



Figura 68. Compostaje en pilas volteadas. Fuente: maestrocompostador.es

Tras el tiempo de fermentación adecuado, el material obtenido debe pasar al reactor de maduración. El transporte se realiza por mediación de una retroexcavadora, deposita el material fermentado en los canales del reactor de maduración. La maduración del compost se produce en el reactor sufriendo una aireación por volteado. Al haberse realizado ya el proceso biológico aerobio, la necesidad de aireación en la maduración es menor y por lo tanto no será necesaria la instalación de un sistema de ventilación. Tras el tiempo adecuado, con el compost ya madurado, se hace pasar el *compost* por un sistema de afino. En la zona de afino se hace pasar el material por un trómel de cribado para separar cualquier material impropio que quedara en el *compost*. La necesidad del afino es debido a que en el sistema no había ningún mecanismo para desechar los materiales que en el trómel pasan como materia orgánica y no lo son. Además, se separan los materiales orgánicos que poseen un tiempo de descomposición mayor que el realizado en la zona de fermentación, al no haber sufrido la descomposición no deben formar parte del compost. Tras el afino el *compost* ya está preparado para su comercialización, luego se debe enviar a la zona de almacenaje. El aspecto final del *compost* se muestra en la Figura 69.



Figura 69. Saco de compost final. Fuente: maestrocompostador.es

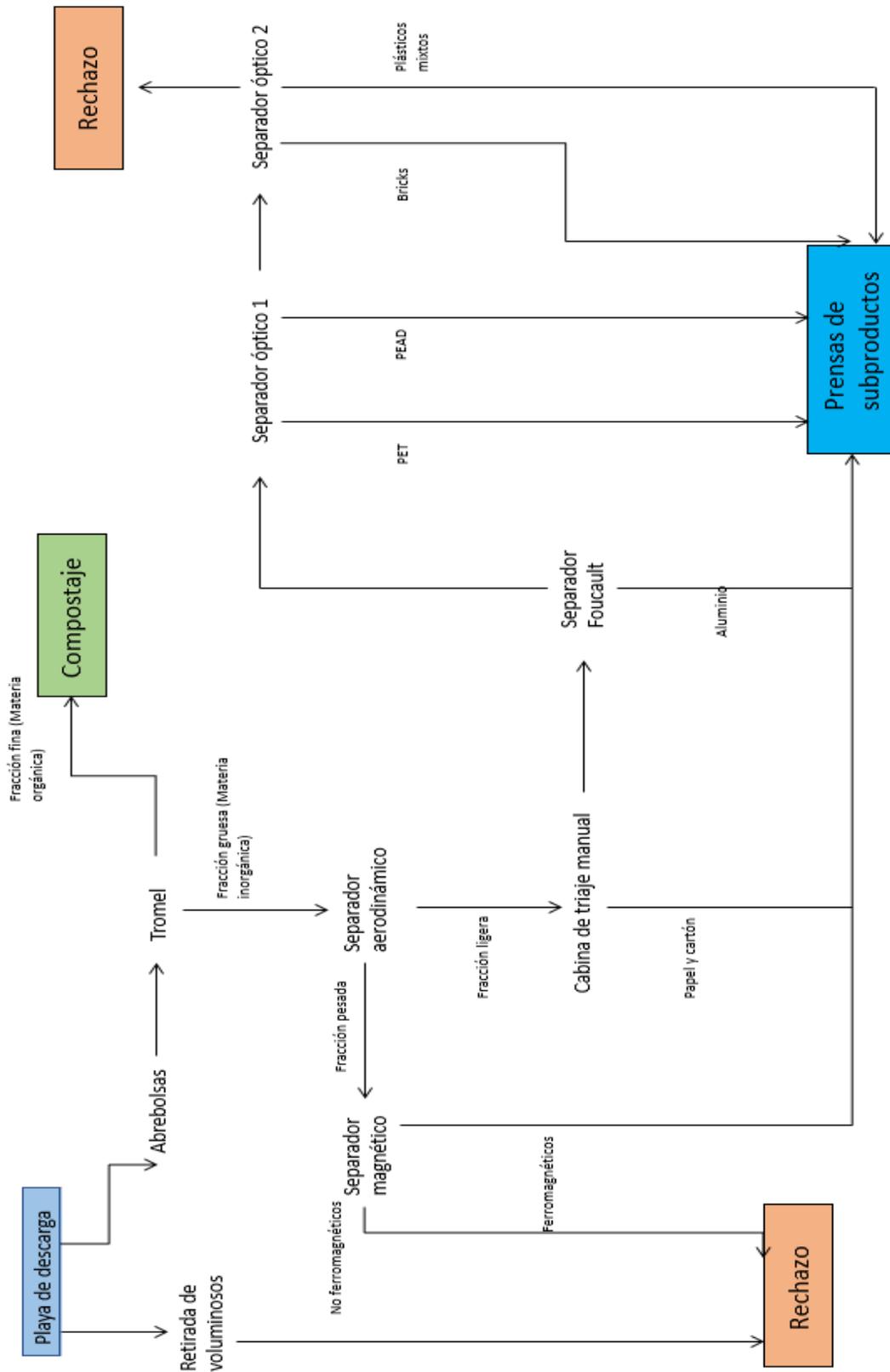


Figura 70. Diagrama de flujo de la planta. Fuente: Elaboración propia.

4.9) Superficie total de la planta de tratamiento

Ya hemos dimensionado los procesos que se llevan a cabo y la necesidad de superficie de cada uno de ellos. En algunos casos se definió la geometría debido a que estaba relacionada con el proceso, en otros está por definir, y se hará en el momento de establecer la distribución de espacios en la parcela. En la siguiente tabla se hace un resumen de los diferentes espacios de la planta con la superficie estimada en cada caso:

Tabla 24. Superficie total de la planta de tratamiento de residuos. Fuente: Elaboración propia

ÁREAS DE PROCESO	Geometría	Superficie (m ²)
Descarga y recepción	30 x 33	1.000
Pretratamiento	30 x 20	600
Compostaje	90 x 80	7.200
ÁREAS DE ALMACENAJE		
Almacén de subproductos	15 x 12	180
Almacén de compost		1.310
ÁREAS AUXILIARES		
Oficinas		40
Laboratorio		20
Comedor		60
Servicios de higiene		30
Auxiliar		50
ÁREAS EXTERNAS		
Aparcamientos	45 x 42	1.890
Acceso y pesado		400
Perimetral		4.400
Zonas verdes		1.000
		18.180

La necesidad de 18.180 m² está por debajo de la estimación que se realizó al comienzo, luego el proceso de elección de parcela se da por válido. El último paso es definir la situación de cada espacio dentro de la parcela, para ello nos basamos en las condiciones de cercanía y de flujo de proceso que hemos fijado anteriormente. La distribución de las zonas se muestra en el plano siguiente:

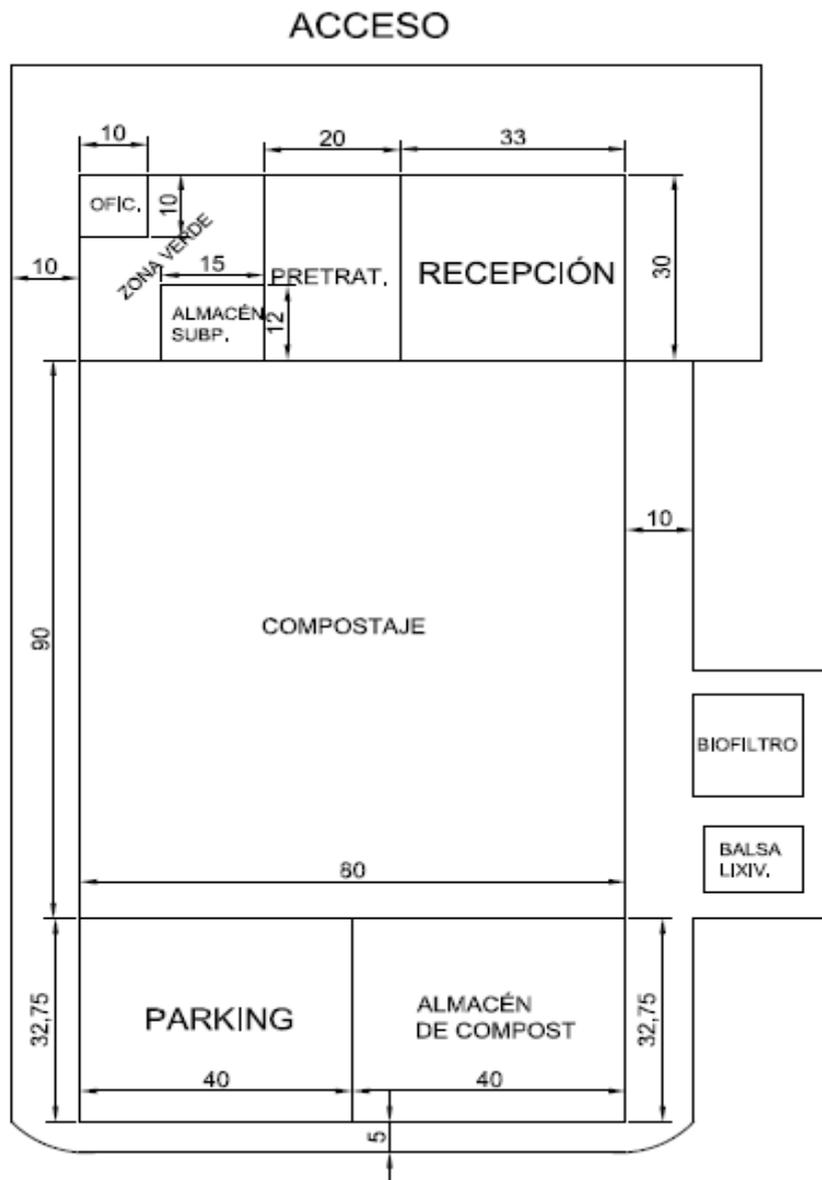


Figura 71. Plano de la parcela con distribución en planta. Fuente: Elaboración propia

5) CONCLUSIONES

Tras la realización del Trabajo Fin de Máster, las conclusiones principales son las siguientes:

1. El objetivo de la localización de la planta en un determinado lugar real era proponer una solución válida a un problema real. En concreto, se detectó un déficit en el tratamiento de residuos del área de gestión A6 de la Comunitat Valenciana. La localización de una planta de tratamiento de residuos en esta área ha encontrado diferentes problemas a la hora de la aprobación del proyecto, relacionados con su impacto ambiental. De esta manera, además de proponer una solución para la gestión de residuos mediante una planta de triaje y compostaje, hemos propuesto diferentes medidas para controlar el impacto ambiental (sistema de control de olores, de control de lixiviados). Se han conseguido aportar las soluciones necesarias para una necesaria aprobación del proyecto en cuanto al impacto ambiental.

2. La decisión de instalar una planta de triaje y compostaje está basada en las características diferenciales de la Comunitat Valenciana en cuanto al tipo de residuos, a las características de la economía doméstica y a las soluciones tecnológicas disponibles. Para el tratamiento de la materia orgánica existen alternativas, como la eliminación mediante confinamiento en vertedero (con la posibilidad de valorización energética a través del biogás) o la eliminación y valorización energética mediante incineradoras.

La solución más habitual en la C.V. es la del compostaje. La principal razón para este hecho es la posibilidad de obtener beneficios mediante la venta del compost, ya que la importancia, el volumen y el tipo de agricultura en la C.V. hace necesario el uso de fertilizantes químicos. Ofreciendo el compost a los agricultores se consigue la reutilización de la fracción orgánica de los residuos, y de esta manera, reducir el impacto global sobre el medio ambiente.

3. Un factor importante, ya citado en el apartado 1), es la reducción y el control del impacto sobre las poblaciones cercanas. En el apartado 3) del trabajo “Localización de la planta” apareció como una necesidad, debido a la cercanía de la parcela elegida al suelo urbano o urbanizable, la instalación de sistemas de control: de olores y de lixiviados. Por ello se ha dedicado parte del espacio dedicado al diseño de la planta, al diseño de estos sistemas. Se han diseñado siguiendo los correspondientes consejos que aparecen en la legislación.

En cuanto al sistema de control de olores, se ha propuesto un sistema de biofiltros, que, aunque requiere una inversión inicial elevada debido a la necesidad de obra civil, posteriormente permite un control eficaz de los olores de la planta con un coste de mantenimiento reducido.

Para el control de lixiviados se instala una red de tuberías y una balsa de lixiviados, donde se

depositan los residuos líquidos de la planta hasta que sean gestionados por una empresa externa.

4. La solución propuesta permitiría la presentación de un proyecto realizable, que da solución a un problema particular en una de las áreas de gestión en que se divide la C.V. Se ha conseguido ofrecer alternativas de control del impacto ambiental sobre las poblaciones, que era el principal obstáculo con que se encontraban las empresas de gestión al presentar los proyectos a la Administración.

6) BIBLIOGRAFÍA

Páginas Web

- *Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural – Generalitat Valenciana* (www.agroambient.gva.es) [Consulta 08/08/2018]
- *Instituto Nacional de Estadística* (www.ine.es) [Consulta 07/08/2018]
- *Página oficial de Ecoembes* (www.ecoembes.es) [Consulta 25/08/2018]
- *Manual de compostaje del agricultor de FAO* (www.fao.org/home/es) [Consulta 26/08/2018]
- *Manual de eliminación de contaminantes Isagen* (www.isagen.com.co) [Consulta 27/08/2018]
- *Manual de Seguridad de los útiles de elevación de cargas. FREMAP.* (<https://prevencion.fremap.es/Buenas%20prcticas/LIB.015%20-%20M.S.%20Util%20Elevacion%20Cargas.pdf>) [Consulta 21/08/2018]
- *Mapas geológicos del IGME.*
(<http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx>) [Consulta 12/08/2018]
- *Universidad Politécnica de Valencia - Gestión de RSU – Procesos, tecnologías y rendimientos. II Jornada Gestión de Residuos Urbanos UPV* (www.upv.es/contenidos/ACALCISO/noticia_963863v.html) [Consulta 12/08/2018]
- *Visor del SIGPAC Nacional.* (<http://sigpac.mapama.gob.es/fega/visor/>) [Consulta 11/08/2018]
- www.compostandociencia.com – [Consulta 29/08/2018]
- www.directindustry.es – [Consulta 05/09/2018]
- www.europa-mop.com – [Consulta 21/08/2018]
- www.grupo-spr.com – [Consulta 16/08/2018]
- www.google.es – [Consulta 13/09/2018]
- www.heco.biz – [Consulta 03/09/2018]
- www.interempresas.net – [Consulta 20/08/2018]
- www.maestrocompostador.es – [Consulta 01/09/2018]
- www.milanuncios.com – [Consulta 02/09/2018]

- www.ritornamedioambiente.com – [Consulta 25/08/2018]
- www.sctecno.es – [Consulta 26/08/2018]
- www.tusa.es – [Consulta 01/09/2018]
- www.tamaernova.com – [Consulta 26/08/2018]
- www.volvocars.com – [Consulta 23/08/2018]

Libros y apuntes

- *Apuntes Asignatura “Gestión de residuos y espacios contaminados”*. Máster Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Valencia.
- *Apuntes Asignatura “Control y corrección de emisiones atmosféricas”*. Máster Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Valencia.
- *Ingeniería y aspectos técnicos de la digestión aeróbica*. Red española de compostaje, Google Books.
- *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. George Tchabanoglous, McGraw Hill, Madrid, 1994.
- *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. Julius Panero, Editorial Gustavo Gili, Madrid, 2007.
- *Manual McGraw Hill de Reciclaje*. Herbert F. Lund, McGraw Hill, Madrid, 1996.

Legislación

- *Boletín Oficial del Estado*. Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos.
- *Boletín Oficial del Estado*. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- *Boletín Oficial del Estado*. Ley 11/1997, de 24 de abril, de envases y residuos de envases.
- *Boletín Oficial del Estado*. Real Decreto 486/1997, de seguridad en el trabajo.
- *Diario Oficial de la Generalitat Valenciana*. Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de envases de la Comunidad Valenciana.
- *Diario Oficial de la Generalitat Valenciana*. ORDEN de 15 de abril de 2005, del conseller de Territorio y Vivienda, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de la Zona XVII.
- *Plan General de Ordenación Urbana de Orihuela*. Ordenanza Municipal relativa a la Edificación.

ANEXOS

ANEXO I: ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Jerarquía en la gestión de residuos.....	4
<i>Figura 2.</i> Residuos generados en España y su fin.....	6
<i>Figura 3.</i> Zonas de gestión de residuos en la C. Valenciana.....	8
<i>Figura 4.</i> Municipios del área de gestión A6 de la Comunitat Valenciana.....	10
<i>Figura 5.</i> Zonas no aptas para la localización de la planta.....	14
<i>Figura 6.</i> Localización de la parcela escogida (mapa lejano)	16
<i>Figura 7.</i> Localización de la parcela escogida (mapa cercano)	16
<i>Figura 8.</i> Localización de la parcela escogida (satélite)	17
<i>Figura 9.</i> Mapa geológico de la parcela escogida.....	18
<i>Figura 10.</i> Leyenda del mapa geológico correspondiente a la parcela escogida.....	18
<i>Figura 11.</i> Infraestructuras cercanas a la parcela escogida.....	19
<i>Figura 12.</i> Distancia del emplazamiento a suelo urbano.....	19
<i>Figura 13.</i> Catálogo de pulpos hidráulicos.....	23
<i>Figura 14.</i> Pulpo hidráulico seleccionado.....	23
<i>Figura 15.</i> Catálogo de giros rotatorios	24
<i>Figura 16.</i> Giro rotatorio seleccionado.....	24
<i>Figura 17.</i> Catálogo de abrebolsas de SPR	25
<i>Figura 18.</i> Esquema de distribución en planta de la zona de recepción y descarga.....	27
<i>Figura 19.</i> Catálogo de cintas transportadoras de la empresa Savatech.....	35
<i>Figura 20.</i> Cinta transportadora de alimentación al pretratamiento.....	36
<i>Figura 21.</i> Características del tipo de banda con material MOR	37
<i>Figura 22.</i> Esquema de funcionamiento de los separadores ópticos	40
<i>Figura 23.</i> Catálogo de trómeles para RU de la empresa Bianna Recycling.....	41
<i>Figura 24.</i> Trómel de cribado cilíndrico rotatorio seleccionado.....	42
<i>Figura 25.</i> Separador aerodinámico seleccionado.....	43
<i>Figura 26.</i> Funcionamiento del separador por corrientes de Foucault.....	44
<i>Figura 27.</i> Catálogo de separadores por corrientes de Foucault de Regulator Cetrisa.....	44
<i>Figura 28.</i> Separador por corrientes de Foucault seleccionado.....	45

<i>Figura 29.</i> Catálogo de separadores ferromagnéticos de Grupo Fem.....	46
<i>Figura 30.</i> Separador Ferromagnético seleccionado.....	46
<i>Figura 31.</i> Catálogo de separadores ópticos de la empresa Ecopack.....	47
<i>Figura 32.</i> Separador óptico seleccionado.....	48
<i>Figura 33.</i> Especificaciones de la prensa de material ligero seleccionada.....	49
<i>Figura 34.</i> Especificaciones de la prensa de metales seleccionada.....	50
<i>Figura 35.</i> Contenedor móvil	51
<i>Figura 36.</i> Dimensiones de los contenedores de Fabricaciones Metálicas.....	51
<i>Figura 37.</i> Coeficiente “K” de Guerchet	52
<i>Figura 38.</i> Esquema de distribución en planta de la zona de pretratamiento.....	54
<i>Figura 39.</i> Pilas estáticas con volteo	56
<i>Figura 40.</i> Sistema cerrado de compostaje en túneles	57
<i>Figura 41.</i> Fases del proceso de compostaje	57
<i>Figura 42.</i> Diagrama de flujo del proceso de compostaje	61
<i>Figura 43.</i> Carro tripper	67
<i>Figura 44.</i> Funcionamiento de una cinta transportadora con carro tripper.....	68
<i>Figura 45.</i> Trómel de afino	70
<i>Figura 46.</i> Reactor en pilas extendidas	71
<i>Figura 47.</i> Características de las volteadoras de Ritorna Medio Ambiente.....	72
<i>Figura 48.</i> Sistema de volteo para el reactor de maduración.....	72
<i>Figura 49.</i> Máquina volteadora seleccionada.....	72
<i>Figura 50.</i> Pala cargadora Volvo seleccionada.....	74
<i>Figura 51.</i> Esquema de distribución en planta de la zona de compostaje	75
<i>Figura 52.</i> Detalle de la Ordenanza Municipal de Orihuela relativa a Edificación.....	79
<i>Figura 53.</i> Gráfico de elección del sistema de control de olores.....	82
<i>Figura 54.</i> Ejemplo de sistema de biofiltros con riego automático.....	83
<i>Figura 55.</i> Esquema de un sistema de biofiltros	84
<i>Figura 56.</i> Fórmula de la superficie de la balsa.....	86
<i>Figura 57.</i> Balsa de lixiviado	86
<i>Figura 58.</i> Pulpo hidráulico en foso de descarga.....	87

<i>Figura 59.</i> Máquina abre Bolsas	88
<i>Figura 60.</i> Cinta transportadora	88
<i>Figura 61.</i> Trómel de cribado	89
<i>Figura 62.</i> Ciclón o separador aerodinámico.....	89
<i>Figura 63.</i> Vertedero de residuos	90
<i>Figura 64.</i> Cabina de triaje manual de papel y cartón	90
<i>Figura 65.</i> Esquema de funcionamiento de un separador óptico	91
<i>Figura 66.</i> Diagrama de los RU y productos finales de la planta.....	91
<i>Figura 67.</i> Bala de subproducto plástico.....	92
<i>Figura 68.</i> Compostaje en pilas volteadas	92
<i>Figura 69.</i> Saco de <i>compost</i> final	93
<i>Figura 70.</i> Diagrama de flujo de la planta.....	94
<i>Figura 71.</i> Plano de la parcela con distribución en planta.....	96

ANEXO II: ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i> Composición RU en la Comunitat Valenciana.....	7
<i>Tabla 2.</i> Residuos generados en la C.V. y su fin.....	7
<i>Tabla 3.</i> Plantas de valorización de residuos de la C.V.....	9
<i>Tabla 4.</i> Superficie ocupada por plantas similares a la de diseño.....	13
<i>Tabla 5.</i> Cintas transportadoras del pretratamiento	33
<i>Tabla 6.</i> Ancho de banda según el tamaño del material	34
<i>Tabla 7.</i> Cinta transportadora C-01.....	36
<i>Tabla 8.</i> Cinta transportadora C-02	37
<i>Tabla 9.</i> Cinta transportadora C-03.....	37
<i>Tabla 10.</i> Cinta transportadora C-04	38
<i>Tabla 11.</i> Cinta transportadora C-05	38
<i>Tabla 12.</i> Cinta transportadora C-06	39
<i>Tabla 13.</i> Cinta transportadora C-07	39
<i>Tabla 14.</i> Tamaño de las balas de subproductos	48
<i>Tabla 15.</i> Aplicación del método de Guerchet para la zona de pretratamiento	53
<i>Tabla 16.</i> Sistemas de compostaje.....	55
<i>Tabla 17.</i> Comparación de los sistemas de compostaje	60
<i>Tabla 18.</i> Características del Reactor de descomposición	63
<i>Tabla 19.</i> Características del Reactor de maduración	65
<i>Tabla 20.</i> Cintas transportadoras de la zona de compostaje	66
<i>Tabla 21.</i> Cinta transportadora C-09	68
<i>Tabla 22.</i> Dimensiones de la zona de compostaje	74
<i>Tabla 23.</i> Superficie necesaria para el almacén de subproductos	76

Tabla 24. Superficie total de la planta de tratamiento de residuos..... 95

II. PRESUPUESTO

PRESUPUESTO

1) PRESUPUESTOS PARCIALES

a) Adquisición de la parcela

Debemos atender nuestras necesidades de superficie, que son de 18.180 m². Se debe tener en cuenta la partición de parcelas en el momento de adquirir el terreno. No sabemos de cuantos propietarios es la parcela que queremos, por lo tanto, estimaremos un mínimo de 20.000 m². A partir de la estimación acudiremos a los indicadores de precios industriales para obtener un precio medio por metro cuadrado en la zona. Se pondera el precio medio por m² del suelo industrial en la zona, obteniendo un valor de 56 €/m².

Recurso	Unidades	€/ud	Coste
Parcela en Orihuela (Alicante)	20.000	56	1.120.000,00

b) Obra civil

Se incluyen todos los trabajos realizados por el constructor desde el acondicionamiento del terreno a las instalaciones auxiliares necesarias (eléctrica, saneamiento, agua). Se calculan un 13% de gastos generales y un 6% de beneficio industrial.

Trabajo	Coste
Movimiento de tierras	65.000,00
Cimentaciones	110.000,00
Construcción y acond. de naves	4.500.000,00
Construcción y acond. de oficinas	655.000,00
Pavimento exterior	36.000,00
Vallado	22.000,00
Punto de acceso y báscula	38.500,00
Iluminación	58.000,00
Instalaciones de agua	60.500,00
Instalaciones de saneamiento	62.000,00
Biofiltros	75.000,00
Balsa de lixiviados	23.000,00
Instalaciones eléctricas	105.000,00
PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL	5.810.000,00
GASTOS GENERALES (13%)	755.300,00
BENEFICIO INDUSTRIAL (6%)	348.600,00
IVA (21%)	1.451.919,00
PRESUPUESTO DE CONTRATA	8.365.819,00

c) Adquisición, montaje y puesta en marcha de los equipos

Se computa toda la maquinaria detallada en los apartados de “Elección de maquinaria” en los diferentes espacios. Se debe incluir el coste de compra, montaje y puesta en marcha, en caso de que exista alguna razón especial para que deba ser realizada por el fabricante. Se debe tener en cuenta la alta especificidad de la mayoría de los equipos de una planta de gestión de residuos, de igual manera la dificultad de acceder a los precios en la mayoría de los casos. En estos casos se ha realizado una búsqueda entre los equipos similares de 2ª mano, realizando una estimación para equipos nuevos. Por lo tanto, los precios de los modelos indicados no corresponden en ningún caso a los precios que los fabricantes ofrecen, se trata de una simulación.

Recurso	Unidades	€/ud	Coste
Pulpo hidráulico BLUG PNA-6000-0,7	1,00	3.150,00	3.150,00
Giro rotatorio Baltrotor GR-603	1,00	2.225,50	2.225,50
Abrebolsas SPR AB-2200	1,00	11.250,00	11.250,00
Cintas transportadoras caucho liso (modulos 1,5 metros)	50,00	1.382,95	69.147,50
Cintas transportadoras caucho MOR (modulos 1,5 metros)	65,00	1.510,00	98.150,00
Carro tripper	1,00	4.595,00	4.595,00
Cabina Triage Manual	1,00	55.000,00	55.000,00
Tromel principal Bianna TR2,1/7/9	1,00	115.000,00	115.000,00
Tromel de afino Ritorna 1.200 mm	1,00	86.000,00	86.000,00
Separador aerodinámico Goettsch	1,00	122.000,00	122.000,00
Separador Foucault Regulator Cetrisa R-SPM 1500	1,00	85.000,00	85.000,00
Separador ferromagnético FEM OPFEM 8.5	1,00	79.500,00	79.500,00
Separador óptico Ecopack EP-1500	1,00	142.500,00	142.500,00
Separador óptico Ecopack EP-2000	1,00	175.000,00	175.000,00
Prensa de envases Abba Acomat 900 H5	1,00	98.000,00	98.000,00
Prensa de metales Jimol HJM 30S	1,00	49.000,00	49.000,00
Contenedores móviles Fammisa (1.710 litros)	12,00	2.100,50	25.206,00
Sistema volteador Puente grúa	1,00	280.000,00	280.000,00
Volteadora maduración Ritorna	1,00	25.500,00	25.500,00
Pala cargadora Volvo L-220H	1,00	33.500,00	33.500,00
Sistema ventilación Reactor descomposición	1,00	130.500,00	130.500,00
PRESUPUESTO TOTAL DE EQUIPOS			1.690.224,00

2) PRESUPUESTO TOTAL

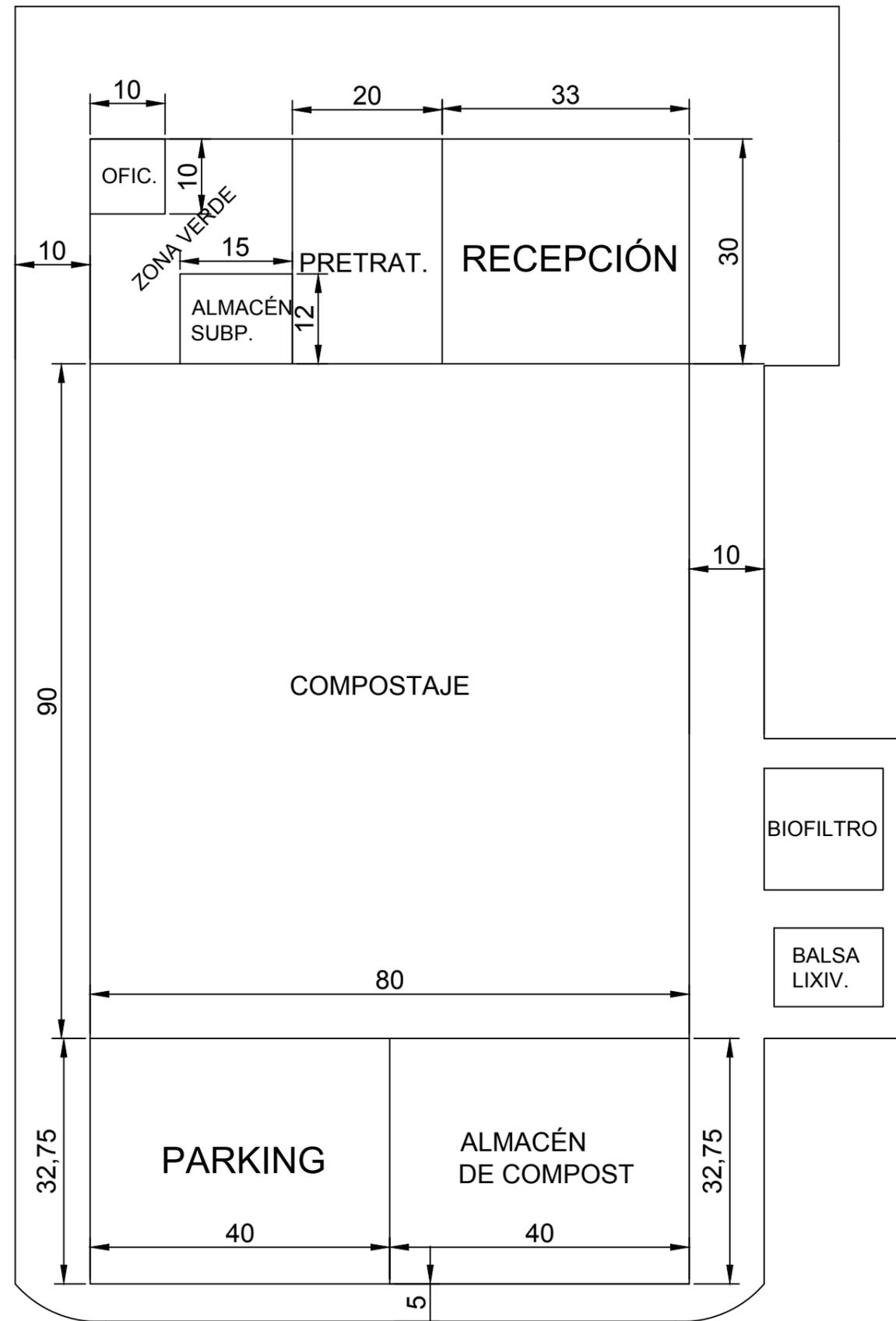
Concepto	Coste
Adquisición de la parcela	1.120.000,00
Obra civil	8.365.819,00
Maquinaria	1.690.224,00
PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO	11.176.043,00

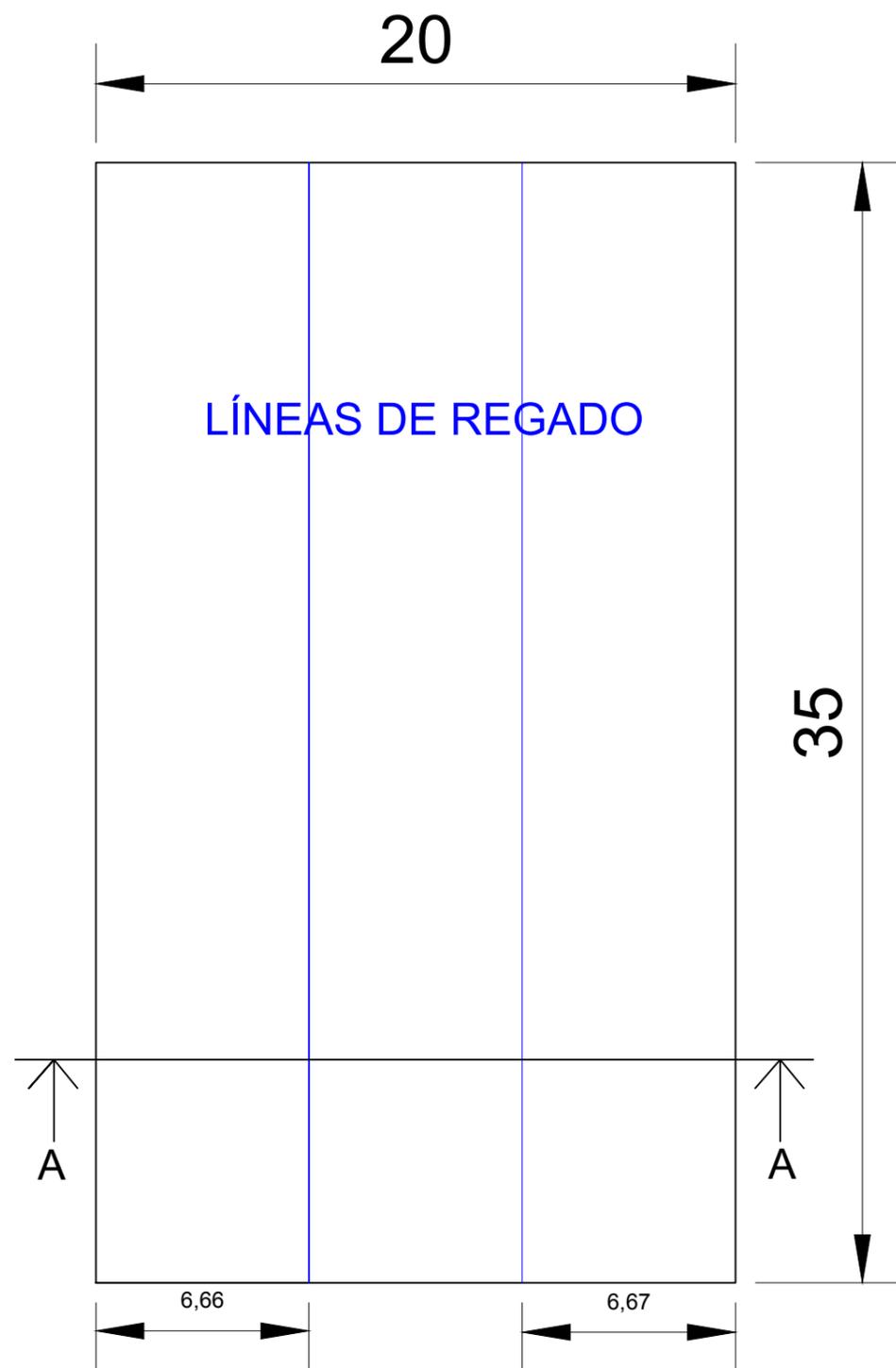
EL PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO ES DE ONCE MILLONES, CIENTO SETENTA Y SÉIS MIL, CUARENTA Y TRES EUROS (11.176.043 €).

III. PLANOS



ACCESO





A

