

# Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Trabajo Fin de Máster

## **Estudio de viabilidad y Anteproyecto de una planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)**

Autora: Patricia Barbero Dorta

Tutor: Ricardo Mesa Cruz

Cotutora: Nuria Regalado Rodríguez

Julio de 2023

*La publicación de este Trabajo Fin de Máster solo implica que el estudiante ha obtenido al menos la nota mínima exigida para superar la asignatura correspondiente, no presupone que su contenido sea correcto, aunque si aplicable. En este sentido, la ULL no posee ningún tipo de responsabilidad hacia terceros por la aplicación total o parcial de los resultados obtenidos en este trabajo. También pone en conocimiento del lector que, según la ley de protección intelectual, los resultados son propiedad intelectual del alumno, siempre y cuando se haya procedido a los registros de propiedad intelectual o solicitud de patentes correspondientes con fecha anterior a su publicación.*

## Resumen

El siguiente Trabajo de Fin de Máster (TFM) consiste en el estudio de viabilidad técnica, ambiental y económica de una planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en la isla de Tenerife, así como el anteproyecto de la misma.

A lo largo del TFM se recogen conceptos teóricos con los cuales se pretende contextualizar la situación actual de la gestión y el tratamiento de residuos, como puede ser el estudio teórico del proceso de tratamiento de RCD o el estudio del mercado al que pertenece la planta. Asimismo, se plantean diferentes alternativas de diseño para la planta de tratamiento, y se concluye con la elección del diseño a implementar para comenzar con su estudio de viabilidad.

A continuación, se realiza el estudio de viabilidad. La viabilidad técnica se analiza en función del emplazamiento, la capacidad, el proceso productivo, la maquinaria, las actividades y la distribución de la planta de tratamiento. El estudio ambiental determina si el impacto ambiental de la planta de tratamiento cumplirá con las regulaciones pertinentes en materia ambiental, además de caracterizar el emplazamiento de la planta. Por último, el estudio económico estima los costes derivados de la construcción y operación de la planta, y lo compara con los ingresos esperados derivados de la actividad para determinar si incurre en beneficios económicos.

Se realiza, para finalizar, el anteproyecto de la planta de tratamiento de RCD objeto de estudio. En él, se analizan algunos conceptos tales como los objetivos del proyecto, los antecedentes del mismo, la planificación temporal o la evaluación de riesgos.

En definitiva, el objetivo general del proyecto es el planteamiento de una planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición que permita revalorizar los residuos derivados de obras y construcciones en la isla de Tenerife, con el fin de reducir los residuos no aprovechados y sacar beneficio económico de los mismos.

Palabras clave: Planta de tratamiento, residuos de construcción y demolición, áridos reciclados, valorización, estudio de viabilidad.

## **Abstract**

The following Master's Degree Final Project (MDFP), consists of the technical, environmental and economic feasibility study of a construction and demolition waste (CDW) treatment plant on Tenerife Island, as well as the preliminary project thereof.

Throughout the MDFP, theoretical concepts are collected with which it is intended to contextualize the current situation of waste management and treatment, such as the theoretical study of the CDW treatment process or the study of the market to which the plant belongs. Likewise, different design alternatives are proposed for the treatment plant, and we conclude with the choice of a design to implement in order to start the feasibility study.

Then, the feasibility study is carried out. The technical feasibility is analysed according to the location, capacity, production process, machines, activities and distribution of the treatment plant. The environmental study determines whether the environmental impact of the treatment plant will fulfill the relevant environmental regulations, in addition to characterizing the location of the plant. Finally, the economic study estimates the costs arising from the construction and operation of the plant, and compares it with the expected revenues derived from the activity to determine whether it incurs economic benefits.

Finally, the preliminary project of the CDW treatment plant under study is carried out. It discusses concepts such as project objectives, project background, time planning or risk assessment.

Ultimately, the general objective of the project is the design of a construction and demolition waste treatment plant that allows to revalue the waste derived from works and constructions on Tenerife Island, in order to reduce untapped waste and to derive economic benefit from it.

Keywords: Treatment plant, construction and demolition waste, recycled aggregates, valorization, feasibility study.

# **ÍNDICE GENERAL**

I. MEMORIA

II. ANTEPROYECTO

III. PLANOS

# **I. MEMORIA**

# Índice de contenidos: Memoria

1. <i>Introducción al proceso de tratamiento de residuos</i> .....	11
1.1. Clasificación de residuos .....	11
1.1.1. Según su peligrosidad.....	12
1.1.2. Según su origen .....	12
1.1.3. Según su composición.....	14
1.2. Clasificación de tratamientos .....	14
2. <i>Estudio del proceso de tratamiento de residuos de construcción y demolición</i> .....	16
2.1. Justificación de la necesidad.....	16
2.2. Caracterización de los RCD.....	17
2.3. Caracterización del tratamiento .....	21
2.4. Legislación aplicable .....	24
2.4.1. Legislación europea.....	24
2.4.2. Legislación estatal.....	25
2.4.3. Legislación autonómica.....	27
3. <i>Estudio de mercado</i> .....	28
3.1. Generación de residuos de construcción y demolición.....	28
3.2. Consumo de áridos reciclados .....	29
3.3. Consumo de productos valorizables .....	31
3.4. Competidores y problemáticas del sector .....	33
3.5. Análisis DAFO.....	33
4. <i>Estudio de diferentes alternativas de diseño</i> .....	35
5. <i>Estudio de viabilidad técnica</i> .....	37
5.1. Situación y emplazamiento .....	37
5.2. Capacidad de tratamiento.....	40
5.3. Proceso de tratamiento/producción.....	40
5.3.1. Recepción .....	41
5.3.2. Clasificación.....	41
5.3.3. Pretratamiento .....	42
5.3.4. Tratamiento primario.....	42
5.3.5. Tratamiento secundario .....	43
5.3.6. Productos resultantes del tratamiento.....	43
5.3.7. Diagrama de flujo del proceso .....	46
5.4. Descripción de la maquinaria.....	47
5.5. Definición de actividades y puestos de trabajo.....	53

5.6. Distribución en planta .....	53
6. <i>Estudio de viabilidad ambiental</i> .....	55
6.1. Caracterización del emplazamiento.....	55
6.2. Análisis de impacto ambiental .....	56
7. <i>Estudio de viabilidad económica</i> .....	60
7.1. Inversión inicial.....	60
7.2. Costes .....	63
7.2.1. Costes de financiación .....	63
7.2.2. Costes de explotación .....	65
7.3. Ingresos .....	69
7.4. Flujos de caja, VAN y TIR.....	71
<i>Conclusión</i> .....	74
<i>Conclusion</i> .....	75
<i>Referencias</i> .....	76



# Índice de figuras: Memoria

Figura 1.2. Esquema del ciclo de gestión de los residuos de construcción y demolición.....	23
Figura 1.3. Consumo de áridos para la construcción por Comunidades Autónomas en 2021 .....	30
Figura 1.4. Polígono Industrial de Granadilla, Municipio de Granadilla de Abona, Tenerife.....	38
Figura 1.5. Emplazamiento de la parcela en el Polígono Industrial de Granadilla .....	38
Figura 1.6. Vista aérea de la parcela .....	39
Figura 1.7. Datos catastrales de la parcela en el Polígono Industrial de Granadilla .....	40
Figura 1.8. Suelos reciclados.....	44
Figura 1.9. Zahorras .....	44
Figura 1.10. Arenas .....	45
Figura 1.11. Gravas .....	45
Figura 1.12. Material drenante grueso .....	46
Figura 1.13. Diagrama de flujo del proceso .....	46
Figura 1.14. Báscula puente metálica.....	47
Figura 1.15. Pala mecánica de ruedas .....	48
Figura 1.16. Martillo hidráulico .....	48
Figura 1.17. Tolva de alimentación.....	49
Figura 1.18. Trituradora de mandíbula sobre orugas .....	49
Figura 1.19. Separador magnético tipo overbelt .....	50
Figura 1.20. Criba vibratoria horizontal.....	50
Figura 1.21. Soplador separador .....	51
Figura 1.22. Cinta transportadora.....	51
Figura 1.23. Molino de impacto de martillos .....	52
Figura 1.24. Sistema supresor de polvo .....	52
Figura 1.25. Plano de la planta de tratamiento de RCD separada por áreas .....	55

# Índice de tablas: Memoria

Tabla 1.2. Consumo de áridos en España en 2021 .....	30
Tabla 1.3. Análisis DAFO de la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición .....	35
Tabla 1.4. Inversión relativa al equipo de ingeniería y a la construcción de la planta.....	61
Tabla 1.5. Inversión relativa a la maquinaria de la planta.....	62
Tabla 1.6. Inversión relativa al resto de equipamiento de la planta .....	62
Tabla 1.7. Inversión total del proyecto .....	63
Tabla 1.8. Cuadro de amortización del préstamo .....	64
Tabla 1.9. Costes derivados del personal .....	65
Tabla 1.10. Costes derivados de costes fijos varios .....	66
Tabla 1.11. Consumo eléctrico estimado en planta.....	67
Tabla 1.12. Consumo de combustible estimado en planta .....	67
Tabla 1.13. Costes derivados del consumo de energía.....	68
Tabla 1.14. Costes derivados del suministro de agua.....	68
Tabla 1.15. Resumen de costes anuales en planta .....	68
Tabla 1.16. Ingresos derivados de la recepción de RCD.....	69
Tabla 1.17. Ingresos derivados de la venta de áridos reciclados.....	70
Tabla 1.18. Ingresos derivados de la venta de productos valorizables.....	70
Tabla 1.19. Resumen de ingresos anuales en planta.....	71
Tabla 1.20. Flujo de caja para un período de 20 años .....	72

## **1. Introducción al proceso de tratamiento de residuos**

El proceso de tratamiento de residuos es aquel que se lleva a cabo una vez completadas las etapas de recogida y transporte de residuos, siendo el proceso el cual incluye las operaciones que modifican las características físicas, químicas o biológicas de un residuo, como por ejemplo reducir o neutralizar las sustancias peligrosas que contienen los residuos, recuperar materias o sustancias valorizables, facilitar el uso como fuente de energía o adecuar el residuo para su posterior tratamiento finalista.

Este es un proceso fundamental en la economía circular, debido a la importancia de dar una segunda vida a los residuos para minimizar la contaminación del entorno y la extracción de materia prima procedente de la naturaleza. El origen de esta problemática se remonta a mediados del siglo XX, cuando la sociedad se comportaba como si las materias primas fueran inagotables, generando múltiples tecnologías de transformación de dichas materias en bienes de consumo. Esto llega a ocasionar un círculo vicioso, en el que cuanta más tecnificación hay, más producción y más consumo se genera, suponiendo esto el agotamiento de recursos y la acumulación de residuos.

Esta acumulación es relevante porque los residuos constituyen un grave problema ambiental en sí mismos, y a su vez son responsables de otros problemas como la contaminación de las aguas, del suelo y del aire, con sus correspondientes riesgos asociados para la salud pública y la vida animal y vegetal. Además, pueden ser una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo de este modo al cambio climático, uno de los problemas ambientales más importantes de la historia de la humanidad.

### **1.1. Clasificación de residuos**

Para realizar el tratamiento de ciertos residuos es necesario conocer las características de los mismos. Es por ello por lo que los diversos tipos de residuos que existen se clasifican atendiendo a diferentes aspectos, como pueden ser su peligrosidad, su origen o su composición.

### 1.1.1. Según su peligrosidad

- Residuos inertes: Son residuos que no afectan negativamente a otras materias con las que entran en contacto de forma que pueda contaminar el medio ambiente o perjudicar la salud humana. Esto es debido a que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, pues no son solubles, combustibles, biodegradables y no reaccionan física o químicamente de ninguna otra manera. Un ejemplo de estos puede ser el material de construcción.
- Residuos peligrosos: Residuos que, debido a sus características, suponen un riesgo para los seres vivos y el medio ambiente general. Es por ello por lo que figuran en la lista de residuos peligrosos aprobada en el Real Decreto 952/1997, de 20 de junio, así como los recipientes y envases que los hayan contenido. Algunos ejemplos son los aceites y los disolventes.
- Residuos no peligrosos: Aquellos que no son considerados inertes o peligrosos, como por ejemplo el plástico, el papel, el cartón o el metal (siempre que no estén contaminados por alguna sustancia peligrosa).
- Residuos específicos: Son una serie de grupos de residuos que tienen una normativa específica y forman un grupo diferenciado, en función de ciertas características especiales en cuanto a generación, naturaleza o gestión. Algunos de estos grupos son los residuos urbanos, los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), los residuos sanitarios, los vehículos al final de su vida útil (VFVU), etc.

### 1.1.2. Según su origen

- Residuos domésticos: Aquellos que son generados en casas debido a las diferentes actividades domésticas, así como residuos procedentes de objetos que se encuentren en las casas (aparatos eléctricos y electrónicos, ropa, pilas, muebles, etc.). Además, se contemplan en este grupo residuos como escombros procedentes de obras de construcción y reforma domiciliaria.

- Residuos comerciales: Los que se generan debido a la actividad comercial (al por mayor y al por menor) y a los servicios de restauración, oficinas, mercados y resto de actividades pertenecientes al sector servicios.
- Residuos industriales: Residuos generados en los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento debidos a la actividad industrial, excluidas las emisiones a la atmósfera reguladas en la Ley 34/2007, del 15 de noviembre.
- Biorresiduos: Desechos biodegradables, tanto los procedentes de jardines y parques, como los residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, servicios de restauración, establecimientos de venta al por menor o plantas de procesado de alimentos.
- Residuos de construcción y demolición (RCD): Residuos generados en obras de construcción o demolición.
- Residuos sanitarios: Se contemplan los generados en centros, servicios y establecimientos sanitarios, como pueden ser centros de promoción de la salud, de atención sanitaria y sociosanitaria, de investigación biomédica y sanitaria o de veterinaria asistencial.
- Residuos mineros: Son los residuos sólidos, acuosos o en pasta que generan debido a la investigación y aprovechamiento de un recurso geológico.
- Residuos radiactivos: Aquellos que contienen elementos químicos radiactivos que no tienen un propósito práctico. Estos se clasifican en exentos, de baja, media y alta radioactividad.
- Subproductos animales: Se definen como cuerpos enteros, partes de animales y productos de origen animal u obtenidos a partir de animales, que no están destinados al consumo humano.

### 1.1.3. Según su composición

- Residuo orgánico: Todo desecho de origen biológico que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, como pueden ser hojas, ramas, o residuos alimenticios.
- Residuo inorgánico: Aquellos sin origen biológico, de índole industrial o de algún otro proceso artificial, como por ejemplo los plásticos o las telas sintéticas.
- Mezcla de residuos: Residuos mezclados que dan como resultado una combinación de desechos orgánicos e inorgánicos.
- Residuo peligroso: Todo residuo con potencial peligroso, sea orgánico o inorgánico.

## 1.2. Clasificación de tratamientos

Una vez conocidos los posibles tipos de residuos a tratar, se procede a clasificar los tratamientos a los que se pueden someter dichos residuos en función de sus características y de lo que se pretende obtener de ellos.

- Preparación para su reutilización: Preparación de los residuos para su uso, mediante su limpieza y/o reparación, sin alterar sus características previas a ser residuos.
- Compostaje: Proceso biológico en el cual, bajo ciertas condiciones controladas, se transforman los residuos orgánicos en compost. El proceso se realiza en presencia de oxígeno.
- Biometanización: Proceso biológico que, en ausencia de oxígeno y gracias a microorganismos, transforma los residuos orgánicos en biogás, que será posteriormente utilizado para producir calor y electricidad.
- Clasificación de materiales: Separación de los residuos en fracciones valorizables de la mezcla de residuos para su comercialización, a través de procesos automáticos y manuales.

- Tratamiento biológico: Tratamiento de residuos orgánicos procedentes de la fracción resto.
- Incineración: Combustión de los residuos con recuperación y/o generación de energía eléctrica.
- Pirólisis: Degradación térmica de los residuos en ausencia de oxígeno, cuyo resultado serán gases, líquidos o materiales de naturaleza inerte.
- Gasificación: Transformación de los residuos orgánicos urbanos en gas valorizable.
- Tratamiento de plásticos:
  - Si el proceso es mecánico, se realiza la división de residuos plásticos en trozos para su posterior moldeado en nuevos productos.
  - Si el proceso es químico, se recupera materia prima a partir de plástico degradado.
  - Si el proceso es de valorización energética, se incineran los residuos que están muy degradados para la recuperación de energía.
- Tratamiento de metales: Separación entre metales ferrosos de los no ferrosos, siendo un proceso con altos costes. Una vez separados, se procede a dividir en trozos el material y este es enviado a fundiciones para producir nueva materia prima.
- Tratamiento de papel y cartón: Recuperación de las fibras de celulosa mediante la separación de los demás materiales y sustancias, como puede ser la tinta.
- Tratamiento de escombros: Trituración de los residuos y su posterior cribado, para separar así los residuos no deseados (cartones, plásticos, etc.) de los diferentes residuos de tierras, piedras, arenas, etc.

- Tratamiento de voluminosos: Tratamiento de residuos tales como muebles y similares producidos en los municipios. Las plantas de tratamiento tienen como misión dividirlos en trozos más pequeños y separar los diferentes materiales que componen el residuo (madera, plásticos, metales, etc.) para su posterior reciclaje.
- Tratamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): Tras la recogida de estos residuos separados del resto, se lleva a cabo su descontaminación de las sustancias contaminantes que los componen y su separación en diferentes materiales (plástico, metales, etc.) para la trituración de estos.
- Tratamiento de vidrio: Trituración de los residuos para formar un polvo que, en hornos a altas temperaturas, se funde en moldes para generar productos nuevos.
- Depósito en vertedero: Colocación de los residuos en una instalación de eliminación de residuos (el vertedero). Puede ser un depósito subterráneo o en superficie, donde los residuos se sitúan en condiciones seguras para evitar contaminación del agua, aire y suelo. [1] [2]

## **2. Estudio del proceso de tratamiento de residuos de construcción y demolición**

Tras conocer en qué consiste el tratamiento de los residuos, los diversos tipos de residuos que pueden ser tratados y los posibles tratamientos a los que pueden ser sometidos, es conveniente centrarse específicamente en el residuo a tratar en la planta que será objeto de este estudio, los residuos de construcción y demolición.

### **2.1. Justificación de la necesidad**

El diseño de una planta de tratamiento de dichos residuos se basa en diversos factores que justifican la importancia de gestionar adecuadamente dichos residuos.



Primeramente, el crecimiento de la industria constructiva debido a la constante expansión urbana. Esto desemboca en un aumento significativo de residuos derivados de la construcción y demolición, por lo que la planta de tratamiento supondría una gran oportunidad de negocio.

Por otro lado, el proyecto supone un impulso para la economía circular. La economía circular consiste en un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes el mayor número de veces que sea posible para crear un valor añadido. Los residuos de construcción y demolición pueden contener materiales valiosos que pueden ser recuperados y reintroducidos en la cadena de suministro, por lo que su tratamiento permitiría su revalorización y reduciría la necesidad de extracción de recursos naturales.

Este último concepto, el de economía circular, nace de una problemática muy extendida, que es la contaminación ambiental. Los RCD pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente si no se gestionan de manera adecuada, y su presencia en vertederos no controlados puede afectar negativamente la calidad del suelo, contaminar aguas subterráneas, etc. Una planta de tratamiento de RCD permitiría reducir estos impactos, al fomentar el reciclaje y la valorización de los residuos.

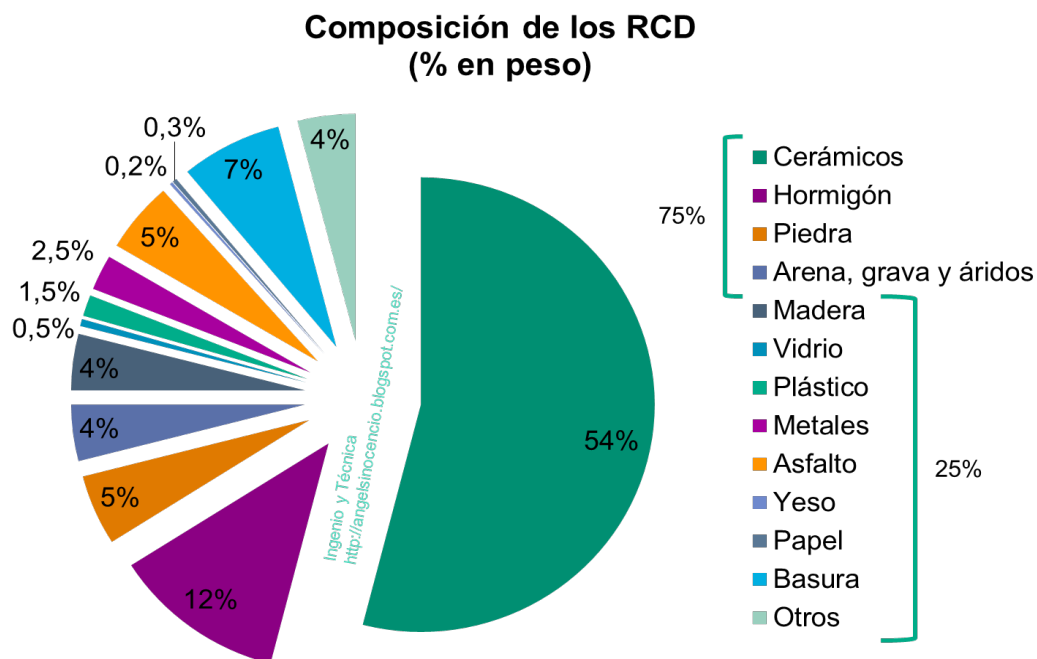
Finalmente, la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición trae consigo posibles beneficios económicos, derivados de la recuperación y reciclaje de materiales. Una vez justificada la necesidad del proyecto, se profundizará en el tratamiento de los residuos de construcción y demolición.

## **2.2. Caracterización de los RCD**

Los escombros y residuos de construcción, según el Real Decreto 105/2008 de 1 de febrero por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, son los materiales sobrantes de los proyectos de:

- Construcción, rehabilitación, reparación, reforma o demolición de un bien inmueble, tal como un edificio, carretera, puerto, aeropuerto, ferrocarril, canal, presa, instalación deportiva o de ocio, así como cualquier otro análogo de ingeniería civil.
- Realización de trabajos que modifiquen la forma o sustancia del terreno o del subsuelo, tales como excavaciones, inyecciones, urbanizaciones u otros análogos, con exclusión de aquellas actividades a las que sea de aplicación la Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas. [3]

Estos residuos abarcan una amplia gama de materiales, como ladrillos, hormigón, cerámicos, madera, metales, yesos, plásticos y demás materiales de construcción. En general, en torno al 75% de la composición es de materia mineral. En la *Figura 1.1* se recoge la composición de los RCD según el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (2001-2006).



*Figura 1. 1. Composición de los residuos de construcción y demolición*

Fuente: <https://angelsinocencio.com/rcd-residuos-de-construccion-y-demolicion/>

Si bien el reciclaje de parte de estos desechos puede contribuir a la disminución del consumo de recursos minerales naturales, muchos de ellos terminan en vertederos, donde pueden llegar a ocupar un gran espacio, además de contribuir a la contaminación ambiental.

La mayor parte de los residuos de construcción y demolición son residuos no peligrosos, incluso inertes, cuyo aprovechamiento no suele presentar problemas. Sin embargo, en obra es posible que se generen ciertos residuos peligrosos, que deberán ser recogidos y tratados por separado mediante su envío a gestores autorizados. Entre los materiales peligrosos que pueden encontrarse junto con los residuos de construcción y demolición cabe destacar:

- Aditivos de hormigón (inflamable)
- Adhesivos, másticos y sellantes (inflamable, tóxico, irritante)
- Emulsiones alquitranadas (tóxico, cancerígeno)
- Materiales a base de amianto, en forma de fibra respirable (tóxico, cancerígeno)
- Madera tratada con fungicidas, pesticidas, etc. (tóxico, ecotóxico, inflamable)
- Revestimientos ignífugos halogenados (tóxico, ecotóxico, cancerígeno)
- Equipos con PCB (ecotóxico, cancerígeno)
- Luminarias de mercurio (tóxico, ecotóxico)
- Sistemas con clorofluorocarburos (tóxico)
- Elementos a base de yeso (fuente de sulfhídrico, gas tóxico e inflamable)
- Envases que contuvieron sustancias peligrosas (disolventes, pinturas, adhesivos, etc.)

La mezcla de residuos peligrosos con no peligrosos está expresamente prohibida en la normativa de residuos dado que, además de suponer un riesgo para la salud humana y para el medio ambiente, puede ocasionar la conversión de un gran volumen de residuos no peligrosos en residuos peligrosos, lo que concluye en una gestión más compleja y de mayor coste. [4]

La Lista Europea de Residuos (LER) cataloga a los residuos en capítulos, subcapítulos y códigos. En concreto, clasifica a los residuos en función de su origen (fuente generadora y proceso de generación) y naturaleza, y les asigna un código de 6 cifras (código LER).

Para el caso concreto de los RCD se encuentra el capítulo 17: Residuos de construcción y demolición (incluida la tierra excavada de zonas contaminadas). A continuación, se listan los residuos que podrán ser admitidos en la planta objeto de estudio, atendiendo a la clasificación de los códigos LER:

**(1701) Hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos**

(170101) Hormigón

(170102) Ladrillos

(170103) Tejas y materiales cerámicos

(170107) Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos distintas de las especificadas en el código 17 01 06

**(1702) Madera, vidrio y plástico**

(170201) Madera

**(1704) Metales (incluidas sus aleaciones)**

(170401) Cobre, bronce, latón

(170402) Aluminio

(170403) Plomo

(170404) Zinc

(170405) Hierro y acero

(170406) Estaño

(170407) Metales mezclados

(170411) Cables distintos de los especificados en el código 17 04 10

**(1705) Tierra (incluida la excavada de zonas contaminadas), piedras y lodos de drenaje**

(170504) Tierra y piedras distintas de las especificadas en el código 17 05 03

(170508) Balasto de vías férreas distinto del especificado en el código 17 05 07

(1706) Materiales de aislamiento y materiales de construcción que contiene amianto

(170604) Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03

**(1708) Materiales de construcción a partir de yeso**

(170802) Materiales de construcción a partir de yeso distintos de los especificados en el código 17 08 01

**(1709) Otros residuos de construcción y demolición**

(170904) Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03 [5]

### 2.3. Caracterización del tratamiento

Hoy en día se está poniendo el foco en intentar reducir la cantidad de residuos de construcción generados, así como buscar formas de reutilizar y reciclar estos materiales. Esto puede incluir la reutilización de materiales en otros proyectos de construcción, la creación de nuevos materiales de construcción a partir de materiales reciclados y la investigación de alternativas para eliminar los desechos que sean más respetuosas con el medio ambiente.

Una buena gestión de los residuos es muy beneficioso en materia de sostenibilidad y favorece al propio sector de la construcción, pues potencia la demanda de los materiales resultantes de la valorización. Es por ello por lo que se plantea, como objeto del presente estudio, la viabilidad de una planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición, atendiendo a la necesidad de valorización de este tipo de residuos.

Las plantas de tratamiento de RCD son instalaciones diseñadas para llevar a cabo una serie de procesos, tales como:

- **Clasificación y separación:** Los residuos, nada más llegar a la planta de tratamiento, son clasificados y separados por tipo de material (hormigón, ladrillo, madera, metales, etc.). Las piezas grandes de material se pueden dividir en piezas más pequeñas para ayudar en el proceso de clasificación.
- **Trituración y molienda:** Una vez clasificados, los materiales suelen ser triturados y/o molidos hasta un tamaño más manejable, para facilitar su transporte y procesamiento posterior.
- **Separación magnética:** Se hace uso de imanes para la eliminación de cualquier metal ferroso, como el acero y el hierro, del flujo de desechos.
- **Cribado:** Tras triturar los materiales, se realizan cribas o tamices para separar aún más los materiales por tamaño y para eliminar cualquier contaminante, como plásticos, vegetación, etc.

- Lavado: Ciertos materiales pueden ser lavados, con el fin de eliminar cualquier contaminante o impureza.
- Reciclaje: Una vez finalizada la separación por materiales, estos pueden ser vendidos o reutilizados en proyectos de construcción como materiales de construcción reciclados. Por ejemplo, el hormigón se puede triturar y usar como agregado para hormigón nuevo, mientras que la madera se puede procesar en astillas de madera para usar en paisajismo o como combustible para centrales eléctricas.

En general, el objetivo de una planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición es desviar la mayor cantidad posible de material de los vertederos y promover la sostenibilidad mediante el reciclaje y la reutilización de materiales. Con carácter general, para alcanzar una valorización significativa de los estos residuos deben darse las siguientes condiciones:

- Clasificación en origen o en plantas de clasificación por tipos de materiales (hormigón, cerámicos, madera, metales, plástico, papel y cartón).
- Disposición de una infraestructura de reciclaje/valorización a distancias adecuadas para los residuos generados (plantas de clasificación, plantas de fabricación de áridos reciclados, vertederos de rechazo para los RCD no tratados o resultantes de un proceso previo de tratamiento, etc.).
- Disposición de unos canales de recogida selectiva de las fracciones de madera, metal, plástico, papel y cartón separadas, que trasladen dichas fracciones a recicladores/valorizadores de estos materiales. Se precisa una demanda sostenida de estas fracciones por parte de empresas recicladoras/valorizadoras.
- Demanda sostenida de áridos reciclados por parte de las empresas constructoras y de las empresas fabricantes de materiales y productos de construcción. [6]

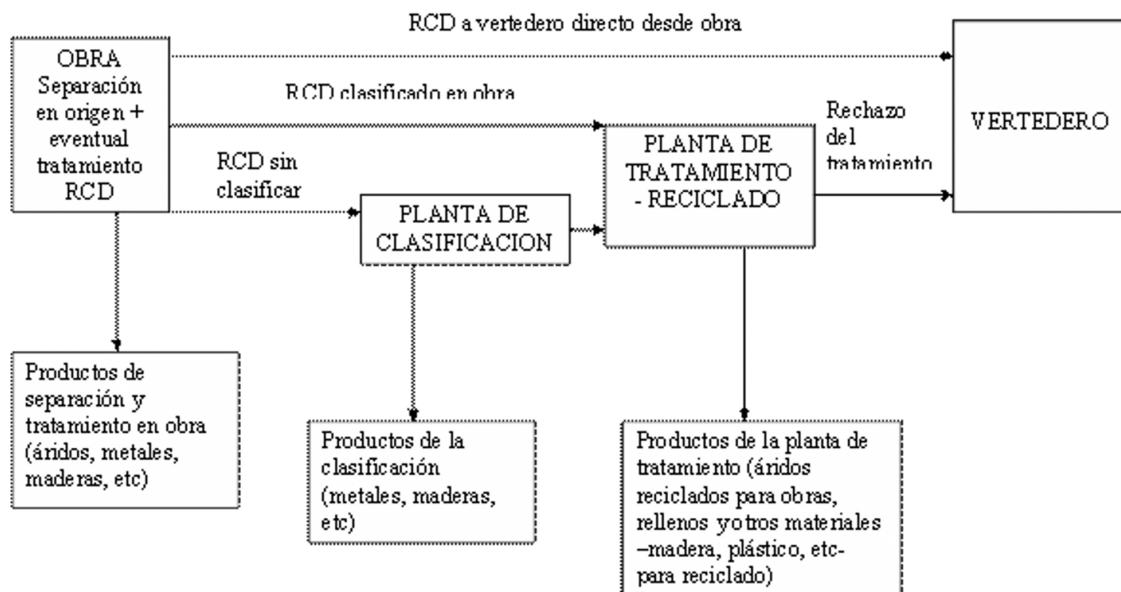


Figura 1.2. Esquema del ciclo de gestión de los residuos de construcción y demolición

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)

Las mejoras en la gestión de los RCD permiten que haya cada vez más aplicaciones de los productos derivados del reciclado, además de la posibilidad de que el sector de la construcción consuma materiales derivados de residuos de otros sectores. Estas aplicaciones se dan a conocer a través de un documento vivo, el Catálogo de Residuos Utilizables en Construcción, concretamente en el apartado dedicado a los residuos de construcción y demolición.

La Instrucción sobre Hormigón Estructural (EHE) ya incorpora un anexo con recomendaciones para el empleo de áridos reciclados. Asimismo, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), a través de una Encomienda de Gestión de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, está desarrollando estudios que definirían las prescripciones técnicas para la utilización de áridos gruesos mixtos (cerámico y hormigón) y de la fracciones granulométricas finas procedentes del tratamiento de RCD en la fabricación de hormigón. Los técnicos del CEDEX participan, además, en el Comité Europeo de Normalización (CEN) para el desarrollo de los trabajos de normalización europeos sobre el establecimiento de criterios medioambientales en la utilización de áridos en carreteras.

La Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición (GERD) desarrolló el proyecto GEAR, financiado por el Ministerio de Agricultura Alimentación y

Medio Ambiente, que resultó en la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos de Construcción y Demolición. Esta guía se basa en un exhaustivo trabajo de campo de caracterización y comprobación de calidades de los áridos reciclados producidos en 23 plantas de reciclaje asociadas al GERD. [7]

## **2.4. Legislación aplicable**

Existen una gran cantidad de normativas en lo que a residuos se refiere, en los ámbitos europeo, estatal, autonómico y local. Estas normativas pueden ser tanto aplicables a un grupo específico de residuos (como pueden ser los residuos de construcción y demolición) como normativas más generalistas, que se encargan desde la definición y gestión de los residuos hasta el control de la contaminación. A continuación, se listan algunas de estas normativas.

### **2.4.1. Legislación europea**

Entre las normativas europeas más destacables se encuentran:

- Directiva 2008/98/CE, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos.
- Directiva 2018/851/UE, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos.
- Directiva 2018/852/UE, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases.
- Directiva 1999/31/CE, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.
- Directiva 2018/850/UE, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos.
- Directiva 2000/76/CE, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos.
- Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.



- Decisión 2003/33/CE del Consejo, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al Artículo 16 y al Anexo II de la Directiva 1999/31/CE.
- Decisión 2014/955/UE de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Decisión de Ejecución (UE) 2019/1885 de la Comisión, de 6 de noviembre de 2019, por la que se establecen normas relativas al cálculo, la verificación y la comunicación de datos relativos al vertido de residuos municipales de acuerdo con la Directiva 1999/31/CE del Consejo, y se deroga la Decisión 2000/738/CE de la Comisión.
- Reglamento (CE) N° 2150/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2002, relativo a las estadísticas sobre residuos.
- Reglamento (CE) n° 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de junio de 2006, relativo a los traslados de residuos.
- Reglamento (UE) n° 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo.

#### **2.4.2. Legislación estatal**

En el ámbito nacional, cabe destacar la siguiente legislación:

- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

- Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.
- Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos.
- Real Decreto 180/2015, de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.
- Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.
- Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
- Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
- Orden AAA/661/2013, de 18 de abril, por la que se modifican los anexos I, II y III del Real Decreto 1481/2001.
- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- Orden APM/1007/2017, de 10 de octubre, sobre normas generales de valorización de materiales naturales excavados para su utilización en operaciones de relleno y obras distintas a aquéllas en las que se generaron.
- Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.

### 2.4.3. Legislación autonómica

Asimismo, aplicable a Canarias, se encuentran las siguientes normativas:

- Ley 1/1999, de 29 de enero, de residuos de Canarias.
- Decreto 112/2004, de 29 de julio, por el que se regula el procedimiento y requisitos para el otorgamiento de las autorizaciones de gestión de residuos, y se crea el Registro de Gestores de Residuos de Canarias.
- Resolución de 2 de mayo de 2011, por la que se hace público el Acuerdo de la Comisión de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente de Canarias de 13 de abril de 2011, relativo a informe sobre la naturaleza no minera a efectos de la declaración de impacto ambiental de las instalaciones y actividades de trituración, clasificación y tratamiento de áridos procedentes de desmontes y residuos de la construcción.
- Ley 4/2017, de 13 de julio, del Suelo y de los Espacios Naturales Protegidos de Canarias.
- Decreto 29/2002, de 25 de marzo, por el que se regula el funcionamiento de las instalaciones denominadas Puntos Limpios.
- Corrección de errores del Decreto 29/2002, de 25 de marzo, por el que se regula el funcionamiento de las instalaciones denominadas Puntos Limpios (B.O.C. nº 48, de 15.4.02).

Finalmente, cabe mencionar las ordenanzas aplicables en el municipio donde se plantea situar la planta de tratamiento de residuos objeto de estudio, que son la Ordenanza de recogida de residuos del municipio de Granadilla de Abona y la Ordenanza fiscal reguladora de la tasa por recogida de basura y tratamientos de residuos sólidos. [8]

### 3. Estudio de mercado

#### 3.1. Generación de residuos de construcción y demolición

A continuación, se realiza un análisis de la generación de RCD a nivel europeo, estatal e insular.

A nivel europeo, los residuos de construcción y demolición suponen el mayor flujo de residuos de la UE, representando aproximadamente un tercio (36,4%) de los 2.500 millones de toneladas (t) totales de residuos generados anualmente en la UE, según datos de la Comisión Europea et al. de 2016. [9]

A nivel estatal, se cuenta con información estadística suministrada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en base a encuestas destinadas a conocer la generación y el tratamiento de residuos en España. Esta información ha sido comunicada a la Comisión Europea, y se recoge en la *Tabla 1*. [10]

	RCD NO PELIGROSOS			
	Residuos generados (t)	Residuos valorizados (t)	Residuos destinados a backfilling (t)	% de residuos valorizados
2015	13.913.419	5.953.044	1.013.996	42,79%
2016	13.839.038	7.476.506	757.549	54,02%
2017	14.241.420	10.677.028	702.523	74,97%
2018	14.697.525	11.041.546	445.142	75,13%
2019	15.768.594	13.750.493	675.172	87,20%
2020	14.505.686	10.567.813	139.913	72,85%

*Tabla 1.1. Generación y gestión de RCD no peligrosos en España entre 2015 y 2020*

*Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)*

A nivel insular, se estima que en Tenerife la tasa de generación máxima anual de RCD por habitante alcanza un valor de 1.000 kg, según el Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife (PTEOR).

En la isla hay unos 931.646 habitantes, según el Real Decreto 1037/2022, de 20 de diciembre, por el que se declaran oficiales las cifras de población resultantes de la revisión del Padrón municipal referidas al 1 de enero de 2022, por lo que se estiman unas 931.646 toneladas anuales de RCD en Tenerife. [11]

### 3.2. Consumo de áridos reciclados

El sector de los áridos es el principal suministrador de materias primas para la construcción de infraestructuras, para la edificación, para la industria y para la protección del medio ambiente. Constituye la segunda materia prima más consumida por el hombre después del agua, teniendo un consumo en 2021 de unos 2.890 kg anuales por persona.

Los áridos se emplean en obras como hormigón preparado, prefabricados de hormigón (cerca del 80% del hormigón son áridos), mortero, aglomerados asfálticos (más del 95% son áridos), construcción de carreteras (el 94% de los materiales necesarios para una carretera son áridos), ferrocarriles (balasto), etc.

A continuación, se exponen en la *Tabla 2* los datos de consumo de áridos en España en 2021, tanto para la construcción como industriales.

	Consumo de áridos en 2021 (t)	% del total
Áridos para la construcción		
Áridos naturales	136.900.000	73,9%
Áridos reciclados	3.500.000	1,9%
Áridos artificiales	1.700.000	0,9%
<b>TOTAL áridos para la construcción</b>	<b>142.100.000</b>	<b>76,6%</b>

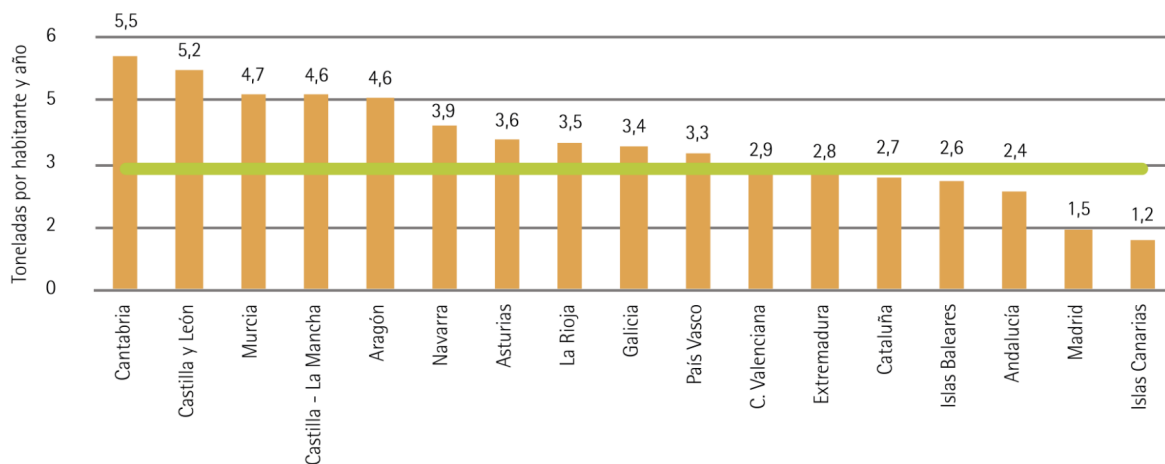
	Áridos industriales	
Áridos industriales	43.100.000	23,4%
TOTAL ÁRIDOS	185.100.000	100%

*Tabla 1.2. Consumo de áridos en España en 2021*

*Fuente: Asociación Nacional de Fabricantes de Áridos (ANEFA)*

Estos datos reflejan la predominancia en el uso de áridos naturales frente a los reciclados, lo que refleja la necesidad de aplicar los principios de la economía circular para dar la vuelta a estas cifras y favorecer la valorización de los residuos de construcción y demolición.

Por otro lado, se exponen los datos por comunidades autónomas del consumo de áridos para la construcción, también en 2021.



*Figura 1.3. Consumo de áridos para la construcción por Comunidades Autónomas en 2021*

*Fuente: Asociación Nacional de Fabricantes de Áridos (ANEFA)*

Desde 2006, cuando el consumo de áridos por habitante en España era uno de los más importantes de Europa (con cerca de 12 t/habitante/año), esta cifra ha sufrido una reducción considerable. A pesar del incremento de 2021 hasta las 2,9 t/habitante/año, sigue por debajo de la media europea de 5,5 t/habitante/año. Estos valores siguen siendo más propios de países

subdesarrollados del tercer mundo que de una economía occidental integrada en la UE como la española. Destaca Canarias por su valor tan por debajo de la media, con tan sólo 1,2 t/habitante/año. [12]

### **3.3. Consumo de productos valorizables**

Cuando se realiza el tratamiento de los RCD no sólo se obtienen áridos, sino que se encuentran también otros productos que son reciclables, pudiendo considerarse valorizables, tales como plásticos, maderas, metales, papeles, yesos, etc.

Los mercados de productos reciclados están influenciados por la creciente demanda de productos sostenibles y la necesidad de reducir la dependencia de los recursos naturales, ya que el reciclaje de dichos materiales contribuye a la conservación de los recursos y la reducción de la contaminación ambiental. Dichos mercados se ven influenciados por distintos factores, como la disponibilidad de materiales a reciclar, el coste de recolección de dichos materiales, el coste del proceso de tratamiento que requieren o las normativas aplicables en ámbito medioambiental y económico.

A lo largo del territorio español es posible encontrar empresas dedicadas al procesamiento y venta de materiales reciclados, tanto en forma de materia prima como en forma de producto terminado. Este tipo de empresas suele trabajar en colaboración con municipios, plantas de gestión de residuos y otras entidades del ámbito del reciclaje, con el objetivo de hacer negocio entre sí y valorizar la mayor cantidad de productos valorizables que sea posible “rescatar”.

El plástico es uno de los residuos más abundantes del planeta hoy en día, viniendo principalmente de botellas de plástico, envases, bolsas o embalajes. Estos plásticos, para ser reciclados, deben ser triturados y procesados para obtener gránulos de plástico y que puedan ser utilizados en la fabricación de nuevos productos de plástico (botellas, tuberías, envases, juguetes, muebles, etc.). Es relevante tener en cuenta que la mayor parte del plástico reciclado en España proviene de envases, siendo más del 77% del total en España en 2018. [13]

Para el caso concreto de la madera reciclable, esta puede provenir de diversas fuentes, como pueden ser palés, embalajes de mercancía, muebles usados, construcciones y demoliciones o restos de poda y tala. Estas maderas se clasifican y someten a procesos de tratamiento y acondicionamiento antes de ser reutilizadas en la fabricación de muebles, suelos, revestimientos y demás productos finales. A modo de ejemplificación, en España se gestionaron aproximadamente 1,2 millones de toneladas de residuos de madera en 2017, lo que indica la gran cantidad de residuos de este tipo que se generan en España anualmente, y de ahí la necesidad de ser valorizados. [14]

En cuanto a los metales, éstos pueden tener diversos orígenes, tales como chatarra, desechos industriales y electrónicos, automóviles desguazados y, por supuesto, construcciones y demoliciones. Estos metales son separados y posteriormente fundidos para transformarse en nuevos productos metálicos. En 2017, España gestionaba aproximadamente 10,6 millones de toneladas de residuos metálicos. Al igual que en el caso de la madera, este es un indicador de la necesidad de valorizar la gran cantidad de residuos que se generan anualmente. [15]

Los papeles reciclados tienen su origen principal en residuos de papel y cartón generados por empresas, residuos de impresión, periódicos y revistas usadas, etc. Estos papeles deben someterse a procesos de blanqueo para ser reciclados. Para contextualizar, la recogida aparente de papel para reciclar en 2020 se aproximó a los 4,4 millones de toneladas en el territorio español, lo que indica las grandes cantidades de dicho material consumido ese año. [16]

El yeso, por su parte, proviene principalmente de los residuos de construcción y demolición. El yeso reciclado se tritura, procesa y somete a tratamientos para eliminar impurezas y garantizar su calidad. Luego, es utilizado en la fabricación de paneles de yeso, materiales de construcción y otros productos.

En la planta objeto de estudio se considera que se reciclarán únicamente las maderas y los metales, a pesar de que se encuentren los otros materiales mencionados. Esto se debe a que la madera y el metal son los que se estima que tendrán mejor salida al mercado y tendrán una mejor rentabilidad. Esto se ha estimado en función de diversos factores, como pueden ser su facilidad para ser reciclados, su precio de venta, la cantidad existente de los mismos en los RCD, etc.



### **3.4. Competidores y problemáticas del sector**

En el apartado anterior se ha expuesto la problemática principal del sector, que es el bajo consumo de áridos reciclados frente al alto consumo de áridos naturales, es decir, aquellos procedentes de canteras.

En cuanto a la evaluación ambiental a tener en cuenta, los áridos reciclados han de ser exentos de materias peligrosas, además de que para las valorizaciones en relleno de cantera, en caminos forestales y en construcción de carreteras, los materiales reciclados sólo pueden contener un porcentaje muy bajo de indeseables (DIB: plásticos, metales, maderas, etc.).

El uso de los áridos reciclados no siempre se considera beneficioso para el medioambiente. Esto debe ser evaluado caso por caso o a nivel de ciertos territorios, teniendo en cuenta un conjunto de factores tales como las distancias de transportes asociadas al uso de áridos naturales y reciclados, la presencia de materiales con grandes desafíos medioambientales (materiales metálicos) en los residuos a reciclar, el impacto del proceso de tratamiento y/o fabricación de los áridos, el impacto y la criticidad de los áridos naturales sustituidos y las evoluciones de formulaciones (por ejemplo de hormigón) generadas por los áridos reciclados.

Por todo esto, se identifican como principales competidoras aquellas empresas productoras de áridos naturales, que abarca una amplia fracción del consumo de áridos para el sector constructivo. [17]

### **3.5. Análisis DAFO**

El análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) se trata de una herramienta de análisis estratégico que permite estudiar la situación de una empresa respecto a su entorno. Para ello, resulta imprescindible realizar una evaluación de los agentes internos y externos que afectan a la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición.

La definición de los factores que constituyen el análisis es la siguiente:

- Debilidades: Constituyen los aspectos limitadores de la capacidad de desarrollo de un negocio, debido a sus características internas.
- Amenazas: Son todos aquellos factores externos que pueden llegar a impedir la ejecución de la estrategia empresarial o poner en peligro la viabilidad de un negocio.
- Fortalezas: Constituyen el conjunto de recursos internos, posiciones de poder y cualquier tipo de ventaja competitiva propia de un negocio.
- Oportunidades: Son cualesquiera factores ajenos a un negocio que favorecen su desarrollo o brindan la posibilidad de implantar mejoras.

Una vez realizado el análisis, es posible definir una estrategia que supere las debilidades, controle las amenazas, potencie las fortalezas y se beneficie de las oportunidades. [18]

En este análisis DAFO se analiza el propio proyecto, la situación del sector de reciclaje de RCD y otros factores que competen al proyecto, como normativa vigente, el mercado de áridos o el sector de la construcción.

<b>Análisis interno</b>	<b>Análisis externo</b>
<b>Debilidades</b>	<b>Amenazas</b>
Producto poco conocido por la posible clientela	Fuerte competencia de áridos naturales
Producto con difícil implantación en el mercado	Incertidumbre en el sector de la construcción
Producto con características inadecuadas	Incertidumbre del uso de áridos reciclados por parte de clientes
	Verificación de normativas aplicables

<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>
Valorización de RCD	Favorecimiento de la economía circular
Precio de recepción de RCD y de venta de áridos reciclados competitivos	Aumento del consumo de áridos reciclados
Gran capacidad de tratamiento de RCD	Acuerdos con empresas de construcción
Planta con buenas instalaciones y ampliable	Incremento en la generación de RCD
Plan de gestión que garantice la eficiencia del proceso de tratamiento	
Buena comunicación y cercanía con productores	

*Tabla 1.3. Análisis DAFO de la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición*

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4. Estudio de diferentes alternativas de diseño**

Una vez conocido el mercado al que va a pertenecer la planta de residuos de construcción y demolición, es posible estudiar las alternativas de diseño de esta planta, para posteriormente seleccionar la alternativa más adecuada y de la que se va a estudiar la viabilidad.

El diseño de la planta de tratamiento de RCD se ve modificado, principalmente, debido al tipo de tratamiento a emplear, ya que esto implica la utilización de maquinaria completamente diferente. A continuación, se listan algunas posibles alternativas de planta en función de los tratamientos a realizar en ellas:

- **Planta de clasificación y separación:** Esta opción implica un diseño de planta de tratamiento donde los residuos se clasifican y separan en diferentes fracciones (como hormigón, madera, metales, plásticos, etc.) utilizando máquinas tales como cintas

transportadoras, separadores magnéticos, cribas, etc. para llevar a cabo la separación. Para ello, se emplean procesos tanto manuales, mediante la clasificación y separación de los diferentes materiales por parte de trabajadores capacitados, como mecanizados, a través del cribado, la separación por densidades, la separación magnética, etc.

- Planta de trituración y cribado: Consiste en utilizar maquinaria que machaque o triture los residuos (reduciendo su tamaño) para posteriormente pasarlos por el proceso de cribado, que consiste en clasificar y separar por tamaños los materiales mediante una malla o rejilla de un tamaño del orificio o luz determinada. Esto facilita la separación de los materiales reciclables de los no reciclables. Las trituradoras de mandíbulas, las trituradoras de impacto y las cribas vibratorias son las maquinarias más empleadas para llevar a cabo este proceso.
- Planta de valorización energética: En esta alternativa de diseño, en lugar de priorizar el reciclaje de materiales, se enfoca en aprovechar los residuos de construcción y demolición como fuente de energía. El proceso consiste en quemar los RCD en hornos especiales, lo que genera calor y es aprovechado para la producción de electricidad o calor útil.
- Planta de compostaje: Esta planta está centrada en la transformación de los residuos orgánicos presentes en los RCD en compost. Este se realiza mediante equipo de compostaje, controlando las condiciones de descomposición y convirtiendo los residuos orgánicos en un producto útil para su uso en sectores como la agricultura o la jardinería.
- Planta de tratamiento mediante tecnologías avanzadas: En algunas plantas destaca el uso de tecnologías avanzadas, tales como sistemas de clasificación óptica y tecnología de selección automática basada en inteligencia artificial. Estas tecnologías, si bien permiten una mayor eficiencia en la separación de los materiales y la reducción de la mano de obra requerida, suponen un coste mucho más elevado que el resto de alternativas propuestas.
- Planta de tratamiento combinada: Es posible diseñar una planta de tratamiento de RCD que implemente una combinación de las tecnologías y procesos mencionados anteriormente para maximizar la recuperación de materiales y la valorización

energética. Por ejemplo, se puede combinar la trituración y el cribado con la separación y clasificación para obtener un mayor rendimiento.

Tras conocer las diferentes alternativas de diseño, se considera que la más adecuada para implementar es la planta de tratamiento combinada, combinando los procesos de separación y clasificación con los procesos de trituración y cribado. Esta alternativa permite realizar una valorización de los residuos de construcción y demolición bastante rentable, sin incurrir en gastos excesivamente elevados. Además, se llevan a cabo procesos mayoritariamente mecánicos, reduciendo los peligros potenciales en la planta que pueden surgir de otros procesos como, por ejemplo, el quemado de residuos.

## **5. Estudio de viabilidad técnica**

Una vez seleccionado el diseño de la planta de tratamiento de RCD, se procede a realizar un análisis de la viabilidad técnica de dicha planta.

### **5.1. Situación y emplazamiento**

Para poder llevar a cabo la viabilidad técnica de la planta de tratamiento de RCD, es necesario estimar un emplazamiento. Se plantea el uso de una parcela situada en el municipio de Granadilla de Abona, en el sur de Tenerife, concretamente en el Polígono Industrial de Granadilla.



Figura 1.4. Polígono Industrial de Granadilla, Municipio de Granadilla de Abona, Tenerife

Fuente: Google Maps



Figura 1.5. Emplazamiento de la parcela en el Polígono Industrial de Granadilla

Fuente: Google Maps



*Figura 1.6. Vista aérea de la parcela*

*Fuente: Visor GrafCan*

Esta parcela se encuentra bien comunicada, pues está muy cerca de la Autopista del Sur TF-1, lo que facilitaría el transporte de los residuos de construcción y demolición desde diversas zonas de Tenerife lejanas al emplazamiento. Aun así, se han localizado distintos transportistas de residuos de construcción y demolición emplazados en Arico, Arona o Adeje, por lo que el emplazamiento elegido estaría en una ubicación cercana a los mismos. [19]

Esta parcela cuenta con una superficie de 15.191 m<sup>2</sup>, por lo que podría alojar las instalaciones correctamente. La información catastral, tal y como se puede observar en la *Figura 1.7*, indica que se trata de suelo urbano y que actualmente está sin edificar, por lo que sería una muy buena opción para la construcción de la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición.

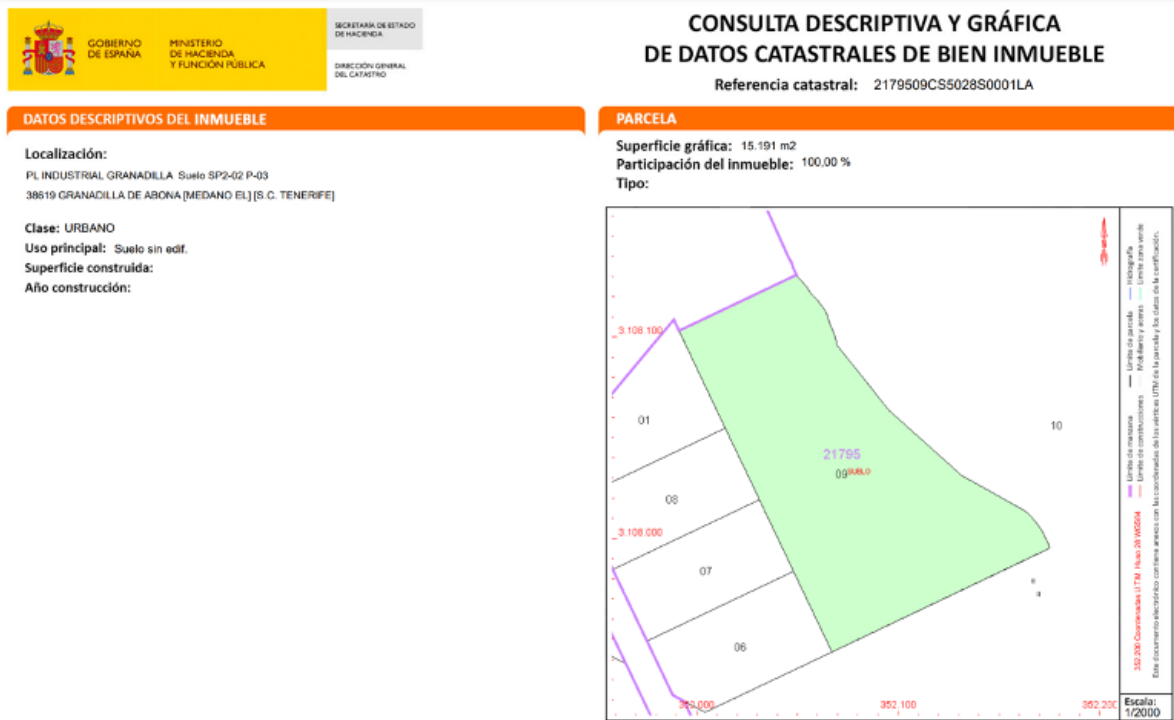


Figura 1.7. Datos catastrales de la parcela en el Polígono Industrial de Granadilla

Fuente: Sede electrónica del catastro (Gobierno de España)

## 5.2. Capacidad de tratamiento

Como se ha comentado anteriormente, se estima la generación de unas 931.646 toneladas anuales de RCD en Tenerife. Para la planta objeto de estudio se contempla la recepción del 15% de estos residuos, por lo que serían tratados unas 140.000 toneladas al año en dicha planta.

Atendiendo al Convenio colectivo de recuperación y reciclado de residuos y materias primas secundarias, la jornada laboral en la planta de tratamiento de residuos será de 1.776 horas anuales, lo que resulta en una capacidad de tratamiento de 79 toneladas por hora.

## 5.3. Proceso de tratamiento/producción

Primeramente, los residuos de construcción y demolición a su llegada a la planta deben ser pesados, para posteriormente ser clasificados en función de dos factores:



- La naturaleza del RCD: Atendiendo a este criterio, se propone clasificar los RCD en tres clases, que son hormigón, mixto y asfáltico.
- El grado de contaminación del RCD: En función de la cantidad de elementos impropios que contenga, como placas de yeso, escayolas, maderas, vidrios, etc.

Se debe procurar que la cantidad de residuos destinada a vertederos sea la menor posible, y para ello es necesario poner tasas económicas crecientes con el porcentaje de contaminación e impropios que tenga el RCD. Los residuos de construcción y demolición muy sucios no son valorizables, ya que el coste de su limpieza es superior al valor de mercado del material reciclado. Por ello, este material sí que se termina destinando directamente al vertedero.

Por consideraciones de tipo económico, se considera necesario disponer únicamente de una línea de tratamiento de RCD en la que se distinguen cinco etapas: Recepción, clasificación, pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.

### **5.3.1. Recepción**

Primeramente, se reciben los residuos de construcción y demolición en la planta. En esta etapa se realiza el pesaje de los residuos y se verifica la procedencia de los mismos, para hacer el registro de entrada. El pesaje se realiza dentro del vehículo que los transporta, y se determina pesando el vehículo lleno y luego vacío, para sacar así la diferencia.

### **5.3.2. Clasificación**

Una vez recepcionados, se clasifican de manera visual en categorías según su código LER y se depositan según la clasificación en un contenedor o en otro. Además, se realiza en esta etapa una separación más exhaustiva de los RCD, sobre todo por tamaños y excluyendo los residuos que se consideren no aptos para ser tratados. Una vez finalizada esta tarea, se organizan los residuos en un acopio intermedio, a la espera de comenzar a ser tratados.

### **5.3.3. Pretratamiento**

Su objetivo es mejorar la manejabilidad de los RCD disminuyendo el volumen de aquellos elementos de grandes dimensiones, previo al proceso de reciclado. Para ello se utiliza un martillo vibratorio, que romperá los escombros más voluminosos en fracciones más pequeñas. Dependiendo del estado de los residuos recepcionados, esta etapa no siempre es necesaria.

### **5.3.4. Tratamiento primario**

Este tratamiento consiste en un la trituración de los RCD mediante trituradora de mandíbulas y un posterior cribado.

Los residuos de construcción y demolición se introducen a la tolva de alimentación, y son depositados en la trituradora de mandíbulas gracias a la vibración y a la cinta transportadora de la tolva. El caudal de entrada se puede regular variando la vibración de la tolva.

Cuando los RCD llegan a la trituradora, son triturados y fragmentados a una granulometría inferior mediante la mandíbula de la máquina. Posteriormente, exponen los residuos a un separador magnético para eliminar los objetos ferromagnéticos.

Por último, se dispone una criba vibratoria con varios tamices que permiten obtener la granulometría demandada. El material pasante se puede mezclar con la zahorra artificial reciclada que será obtenida en el tratamiento secundario. Por otro lado, el material retenido tendrá una granulometría cuyo tamaño mínimo será el paso del tamiz y el máximo vendrá definido por la abertura de las mandíbulas, que oscilará entre 60 y 100 mm.

Este material, antes de entrar al tratamiento secundario, es pasado por un soplador separador para eliminar los elementos de baja densidad (fundamentalmente plásticos y papeles) adheridos a las partículas gruesas por sedimentación.

### **5.3.5. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario consta de dos etapas principales, el triaje manual y el molino de impacto.

En el triaje manual se realiza en una cabina cerrada, y en ella los áridos procedentes de la trituradora pasan por una cinta transportadora en la que los operarios retiran partículas metálicas, de madera, de vidrio, de yeso, plásticos, etc. Este proceso es de gran importancia a la hora de obtener un árido reciclado de calidad.

Posteriormente, se somete a los RCD al molino de impacto. Este proceso es imprescindible para obtener un árido con una granulometría continua y con un número de caras de fractura adecuado. Después del molino de impacto es necesario disponer un segundo separador magnético, para eliminar los ferrometales liberados en el fraccionamiento de los residuos de construcción y demolición.

Al igual que al final del tratamiento primario, se dispone una criba vibratoria para poder obtener diferentes productos separados según granulometría.

Hay que tener en cuenta que para evitar la formación de polvo y la pérdida de material se deben emplear supresores de polvo, dispuestos al final de la cinta que transporta el material al acopio final. Para ello, se utilizará un sistema de rociadores difusores de agua, el cual pulveriza agua para paliar las suspensiones de polvo en el ambiente.

### **5.3.6. Productos resultantes del tratamiento**

De estos procesos de tratamiento resultan una serie de materiales reciclados, entre ellos:

- Suelos reciclados: Procede del material de granulometría continua obtenido en el tratamiento primario.



*Figura 1.8. Suelos reciclados*

*Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería de Fomento y Vivienda*

- Zahorras: Material formado por áridos no triturados, suelos granulares o una mezcla de ambos, cuya granulometría es de tipo continuo. Es el producto que mejor salida comercial suele tener, y es destinado a capas estructurales de firmes de vías de baja intensidad de tráfico.

Se pueden obtener hasta tres tipos diferentes en función de su naturaleza y calidad: Zahorra artificial reciclada de hormigón (ZARHor), zahorra artificial reciclada mixta tipo I (ZARM I) procedente de RCD mixtos y zahorra artificial reciclada mixta tipo II (ZARM II), esta última de inferior calidad. Los dos primeros tipos se obtienen en el tratamiento secundario, mientras que el tercero se obtiene en el tratamiento primario.



*Figura 1.9. Zahorras*

*Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería de Fomento y Vivienda*

- Arenas: Material que frecuentemente no es separado por su naturaleza, y que es mayoritariamente usado como cama de tuberías.



*Figura 1.10. Arenas*

*Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería de Fomento y Vivienda*

- Gravas: Empleadas frecuentemente como material de filtro en zanjas drenantes o como encachados de áridos por debajo de soleras de hormigón.



*Figura 1.11. Gravas*

*Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería de Fomento y Vivienda*

- Material drenante grueso: Material con granulometría habitualmente comprendida entre 40 y 80 mm, utilizado como relleno en el trasdós de muros. Si existe poca demanda de

este material en el mercado, este puede ser pasado de nuevo por el molino de impacto para producir zahorras, arenas o gravas.



Figura 1.12. Material drenante grueso

Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería de Fomento y Vivienda

Además, como se mencionó anteriormente, se valorizarán metales y maderas. [20]

### 5.3.7. Diagrama de flujo del proceso

A continuación, se presenta en la *Figura 1.13* un diagrama de flujo del proceso a llevar a cabo en planta anteriormente descrito, indicando las etapas del mismo y las fracciones de producto resultante que se irán obteniendo a lo largo del proceso.

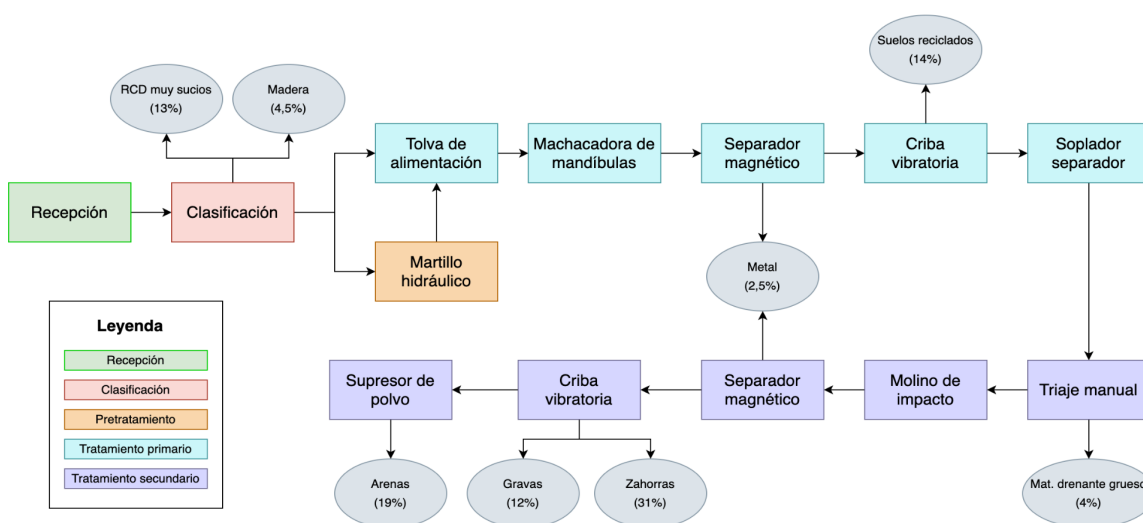


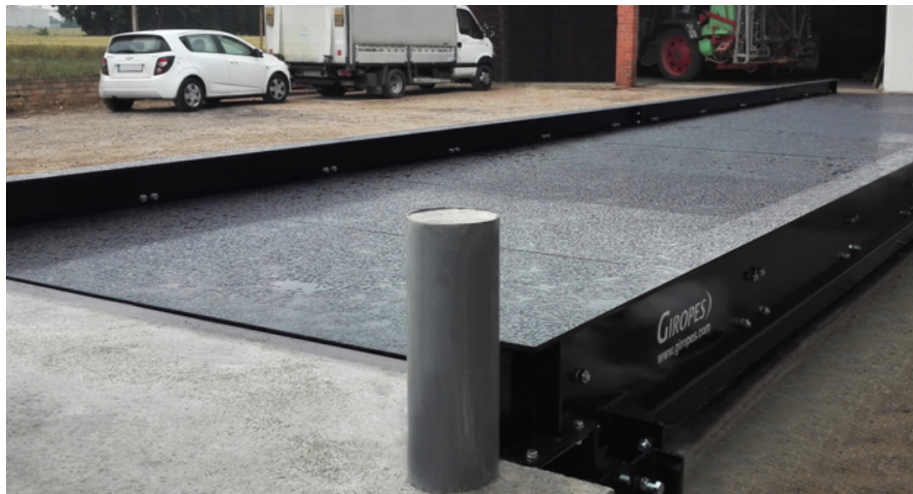
Figura 1.13. Diagrama de flujo del proceso

Fuente: Elaboración propia

## 5.4. Descripción de la maquinaria

Para llevar a cabo los procesos de tratamiento de los residuos de construcción y demolición se precisa de una serie de maquinaria, que se detalla a continuación:

- **Báscula:** Necesaria para realizar el pesaje de los residuos al recepcionarlos. Concretamente, se considera el uso de una báscula puente metálica, ya que permite el pesaje de vehículos pesados cargados.



*Figura 1.14. Báscula puente metálica*

*Fuente: Giropes*

- **Pala mecánica:** Sirve para trasladar masas de material de un lugar a otro a lo largo de toda la planta, como por ejemplo para realizar la clasificación de RCD y separarlos en distintos contenedores.



*Figura 1.15. Pala mecánica de ruedas*

*Fuente: CAT*

- Martillo demoledor vibratorio: Es muy útil para fraccionar los residuos previo a su tratamiento, de modo que sea más fácil manejarlos durante las etapas posteriores del proceso de tratamiento.

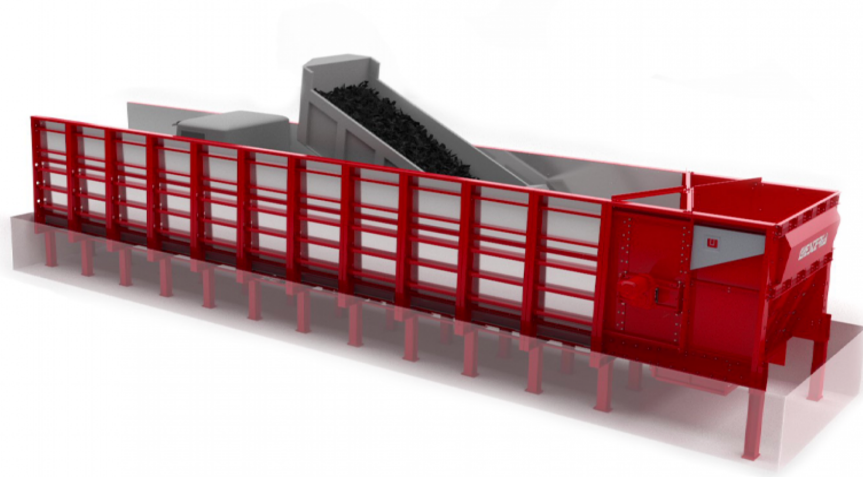


*Figura 1.16. Martillo hidráulico*

*Fuente: lectura-specs.es*



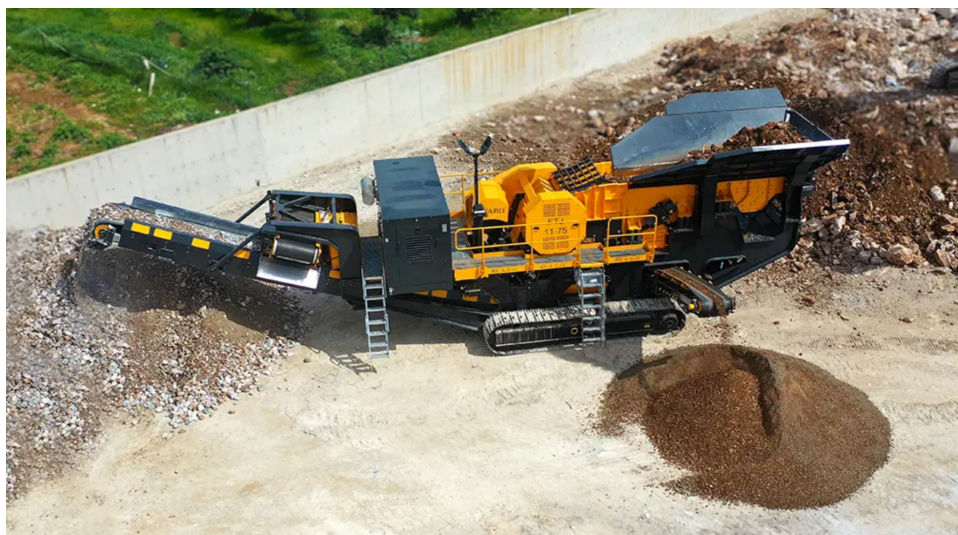
- Tolva de alimentación: Un sistema de tolva ayudará a dosificar el flujo de material a la entrada de la trituradora de mandíbulas, para aumentar o disminuir el flujo en función de las necesidades productivas.



*Figura 1.17. Tolva de alimentación*

*Fuente: Westeria*

- Trituradora de mandíbulas: Se considera el uso de la trituradora de mandíbulas para triturar los RCD, de manera que queden más homogéneos y se reduzca su granulometría.



*Figura 1.18. Trituradora de mandíbula sobre orugas*

*Fuente: Fabo*

- Separador magnético (electroimán): El electroimán sirve para separar la fracción ferromagnética del resto de residuos. De este modo, en el resto de etapas del proceso no hay presencia de metales férricos que puedan entorpecer el proceso (como por ejemplo obstruyendo maquinaria), y además se obtienen los metales para revalorizar.



*Figura 1.19. Separador magnético tipo overbelt*

*Fuente: Bakker Magnetics*

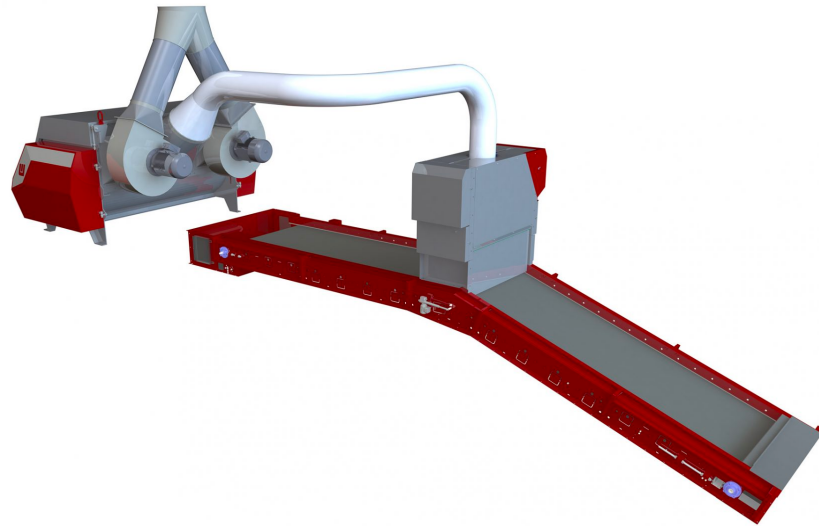
- Criba vibratoria: La criba vibratoria permite la separación de masas de materiales en diferentes granulometrías, tanto para obtener diferentes productos vendibles como para separar fracciones no deseadas de los residuos valorizables.



*Figura 1.20. Criba vibratoria horizontal*

*Fuente: Fabo*

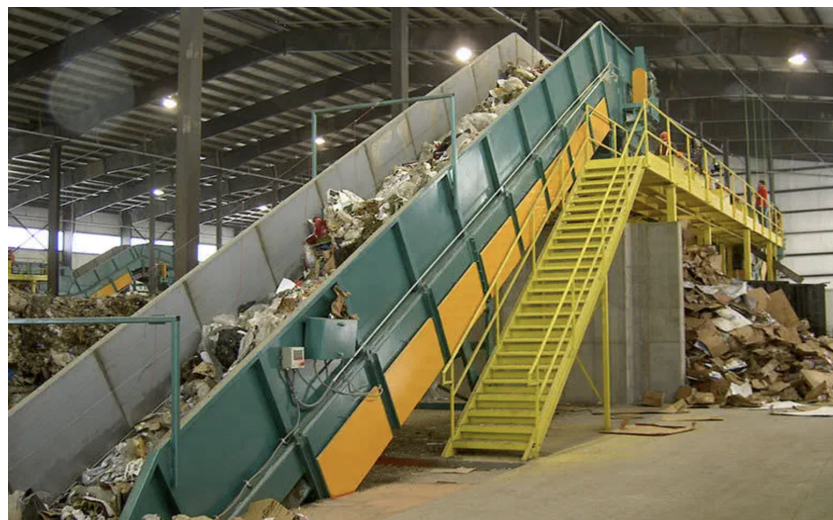
- Soplador separador: El soplador permite separar materiales con densidades bajas del resto de materiales aprovechables, pues de otra manera sería muy complicado separar esta fracción no deseada que se adhiere a la parte valorizable.



*Figura 1.21. Soplador separador*

*Fuente: Westeria*

- Cinta transportadora: Para transportar los RCD de algunas etapas a otras en la planta de tratamiento se plantea el uso de cintas transportadoras, teniendo que ser unas que soporten cargas pesadas. Por ejemplo, es necesario en la cabina de triaje manual, donde los operarios precisan un flujo constante de residuos que inspeccionar.



*Figura 1.22. Cinta transportadora*

*Fuente: Macpresse*

- Molino de impacto: Se precisa para triturar los residuos hasta la granulometría inferior a la de la trituradora de mandíbulas, con el objetivo de obtener otra tipología de producto vendible.



*Figura 1.23. Molino de impacto de martillos*

*Fuente: ITR Recycling Technologies*

- Supresor de polvo: El sistema de supresión de polvo por agua pulverizada es necesario para combatir el polvo en suspensión en las etapas finales del proceso de tratamiento. Se emplean cortinas de niebla para acabar con dicho polvo y partículas, y para ello se precisan boquillas que produzcan gotas extremadamente finas, en torno a 10 - 100  $\mu\text{m}$ .



*Figura 1.24. Sistema supresor de polvo*

*Fuente: Ikeuchi Europe*

## 5.5. Definición de actividades y puestos de trabajo

Para la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición objeto de estudio se considera que los puestos de trabajo y las actividades a realizar por cada uno de ellos serán los siguientes:

- Jefe de planta: Se considera 1 persona con este puesto. Encargado de tomar las decisiones referentes a las operaciones de planta. Se responsabiliza de todas las actividades relacionadas con el proceso productivo, como la fabricación, la calidad, el mantenimiento, la logística, las compras, etc.
- Operarios de planta: Se consideran 5 personas con este puesto. Se ocupan de la gestión de los residuos que llegan a la planta, la supervisión de los procesos de tratamiento y de las tareas de producción. Por ejemplo, son los encargados de llevar a cabo el triaje manual.
- Operadores de máquinas: Se consideran 4 personas con este puesto. Aquellos encargados de manejar la maquinaria que precisa de ser controlada por alguien para funcionar, como la pala o el martillo hidráulico. Además, supervisan el correcto funcionamiento del resto de máquinas.
- Auxiliar administrativo: Se considera 1 persona con este puesto. A cargo de la correspondencia, de la redacción de documentos, del archivo y gestión de informes y de llevar registros y mantenerlos actualizados. También está encargado de los datos de personal y de las tareas de contabilidad y finanzas de la planta.

## 5.6. Distribución en planta

Una vez conocidos el proceso de tratamiento y la maquinaria a emplear para dicho proceso es posible plantear la distribución en planta, es decir, las áreas que existirán en la planta y su disposición en la superficie disponible.

- Área de recepción de residuos: Donde se pesan los vehículos que transportan los residuos con la báscula puente y se controla la recepción de los RCD.
- Área de descarga y clasificación: En ella, los vehículos descargan los residuos y realiza la clasificación de los mismos, mediante el uso de la pala mecánica.
- Área de acopio intermedio: Almacén para los residuos tras la fase de clasificación, a la espera de ser tratados.
- Área de tratamiento, en la que se distinguen:
  - o Área de pretratamiento: Donde se produce la disminución de los residuos de mayor tamaño mediante el uso del martillo hidráulico.
  - o Área de tratamiento primario: Agrupa la tolva de alimentación, la trituradora de mandíbulas, el separador magnético, la criba vibratoria y el soplador separador.
  - o Cabina de triaje: Donde operarios realizan el triaje manual. En ella habrá una cinta transportadora.
  - o Área de tratamiento secundario: Área final del proceso de tratamiento. Alberga el molino de impacto, otro electroimán y otra criba vibratoria y el sistema de supresión de polvo.
- Área de acopio de productos finales: En esta zona se distribuyen, en función de su granulometría, las diferentes tierras y áridos reciclados del proceso de valorización.
- Área de oficinas, vestuarios y comedor: Áreas auxiliares donde se llevan a cabo las labores de administración y servicios, además de ser las zonas de descanso y aseo para los empleados.
- Aparcamiento: Zona destinada al estacionamiento de los vehículos privados de trabajadores y clientes. En el caso concreto del emplazamiento seleccionado, se cuenta con un aparcamiento externo a la parcela.

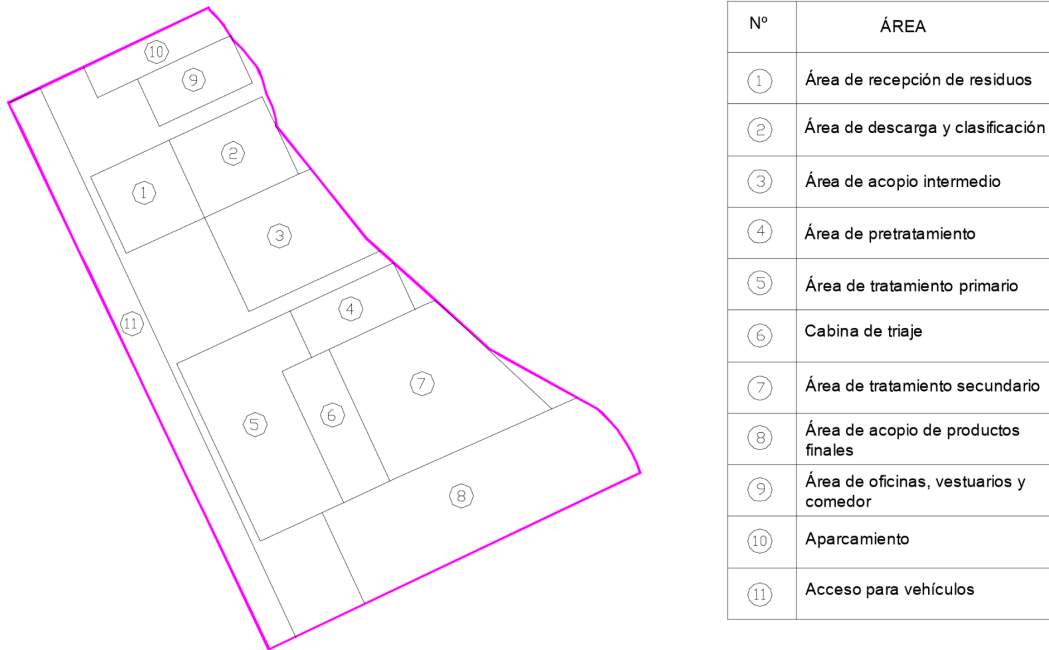


Figura 1.25. Plano de la planta de tratamiento de RCD separada por áreas

Fuente: Elaboración propia a partir de plano descargado de Sede electrónica del catastro

## 6. Estudio de viabilidad ambiental

A continuación, se va a analizar la viabilidad ambiental de la planta de tratamiento de residuos, teniendo en cuenta la caracterización del emplazamiento de dicha planta y el análisis de los impactos que tendrá la planta en el ambiente.

### 6.1. Caracterización del emplazamiento

Como fue comentado en el apartado anterior, el objetivo es ubicar la planta de tratamiento de RCD objeto de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla. Este polígono se trata de un área industrial y logística situada en Tenerife, en el municipio de Granadilla de Abona, y abarca una extensión de 700 hectáreas en los terrenos situados entre la autovía TF-1 y la línea de costa donde se ubica el Puerto de Granadilla.

En la planificación y ordenación del Polígono Industrial de Granadilla tiene una importancia primordial la preservación del medio ambiente y a la adopción de medidas que eliminen o moderen los impactos ambientales, tanto los que tienen su origen en la actividad industrial como los debidos a la propia conformación del medio físico del Polígono. Esto favorece a la planta de tratamiento de RCD planteada, pues le permite adoptar las mismas medidas en su propia planificación ambiental y fomenta que el resto de plantas a su alrededor las adopten.

Además, la organización del Polígono Industrial de Granadilla asegura que dicha actitud no se limita al plano teórico, existiendo una amplia e interconectada red de terreno libre, en gran medida en su estado natural, que diluye el impacto visual de los sectores urbanizados, sirve de protección a las infraestructuras y posibilita el desarrollo de especies autóctonas de flora y fauna con insólito éxito.

Otros programas en ejecución por parte del Polígono Industrial de Granadilla son los relacionados con el agua, participando en la construcción por etapas de diversas plantas desaladoras de agua de mar. La primera etapa ya está en funcionamiento y permite un completo autoabastecimiento del Polígono, reduciendo enormemente la utilización de aguas subterráneas por parte de todos los residentes del Polígono, incluida la planta objeto de estudio. En relación con las aguas residuales, hay un proyecto en ejecución para el reciclado de las mismas con destino al riego de zonas verdes y para uso industrial. [21]

En cuanto a la climatología en el municipio de Granadilla de Abona, los veranos son cortos, calurosos, áridos y despejados, mientras que los inviernos son largos, frescos, secos y mayormente despejados. Está ventoso durante el transcurso del año, y la temperatura generalmente varía de 12 °C a 25 °C, rara vez bajando a menos de 10 °C o subiendo a más de 28 °C. [22]

## **6.2. Análisis de impacto ambiental**

El tratamiento de residuos de construcción y demolición, tal y como se ha indicado a lo largo de este estudio, trae consigo una serie de aspectos positivos desde el punto de vista ambiental. Entre ellos:



- Ahorro de materias primas
- Desocupación de espacio en vertederos
- Valorización de grandes masas de residuos
- Mejor uso de recursos naturales
- Ahorro energético, al no realizarse excavaciones para la obtención de materia prima

Los principales objetivos de la planta de tratamiento de RCD en material medioambiental, por tanto, deben ser disminuir el volumen de RCD existentes mediante su reciclaje, conseguir la reutilización de áridos reciclados para reducir la utilización de áridos naturales y reducir los efectos negativos de los RCD en el medio ambiente mediante su tratamiento.

En lo que respecta a la instalación de la planta, se deberá reducir al máximo la incidencia ambiental y evitar el impacto negativo derivado de la construcción de la misma, haciendo uso de la ISO 14001 en lo referente a gestión ambiental de la planta.

Por otro lado, es necesario comentar los aspectos negativos que puede llegar a generar la planta de tratamiento, siempre acompañándolos con una medida correctiva o preventiva que minimice o elimine su impacto.

- Ruido y Vibraciones: Al ubicarse en un polígono industrial, no se prevé que los núcleos de población más próximos al emplazamiento se vean afectados por los ruidos y vibraciones que genere la planta.

Durante la construcción de la planta, se producirá un aumento del ruido debido a movimientos de tierras, transporte de material y maquinaria, etc. Estos ruidos no se estiman de gran magnitud y serán temporales, además de que irán sujetos al Real Decreto 524/2006, de 28 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre. [23]

Durante la operación de la planta, esta generará ruido y vibraciones consecuencia de la maquinaria y vehículos a emplear en el proceso. El Real Decreto 1367/2007, de 18 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, establece los valores límite de emisión de ruido para zonas industriales, por lo que habrá

que mantener los niveles de ruido por debajo de dicho límite. Para ello, la maquinaria que genere más ruido se emplazará en cabinas de protección acústica. [24]

- Emisión de gases: Para conseguir que los gases de combustión emitidos a la atmósfera se vean reducidos, se priorizará el uso de maquinaria con marcado CE. Además, se cumplirá con las revisiones de dicha maquinaria en tiempo y forma para asegurar que su rendimiento es óptimo, lo que ayudará a que la maquinaria trabaje más en un menor tiempo y hará que se emita lo mínimo posible.

Durante la operación de la planta, además, se minimizarán en lo posible los movimientos de vehículos en el proceso de carga y descarga, así como los tiempos de espera de dichos vehículos, para disminuir así las emisiones de los mismos.

- Polvo en suspensión: Durante la construcción de la planta, se producirá polvo en suspensión debido al movimiento de tierras y al tránsito de maquinaria, que podrá ser corregido mediante el riego de las zonas transitadas.

Durante la operación de la planta, el polvo en suspensión se producirá fundamentalmente por el propio proceso de valorización de residuos, aunque también por la circulación interna de vehículos y maquinaria. Se emplearán sistemas de supresión de polvo para garantizar unas condiciones óptimas de operación en las áreas susceptibles de una mayor generación de polvo, como por ejemplo en el área de clasificación, en distintas zonas de tránsito de la planta y en acopios.

- Contaminación del suelo: La actividad de la planta puede llegar a generar impactos al suelo debido a contaminación del mismo, aunque el impacto debido a la disminución de este recurso no se considera significativo en esta planta debido a su emplazamiento.

Con respecto a los posibles residuos peligrosos existentes en los RCD, cuando se realice su separación de los residuos aprovechables, se depositarán en lugar cerrado y estanco hasta su recogida por un gestor autorizado, por lo que en principio no afectarían a la contaminación del suelo.

En cuanto a la maquinaria, se prevé que algunas estén hormigonadas en la base para evitar así la posible contaminación del suelo por derrames de aceite y combustible. Además, la limpieza y mantenimiento de dichas maquinarias no se realizará nunca sobre suelo desnudo.

Finalmente, se deberá llevar a cabo un control periódico de las condiciones del suelo en lo que a presencia de lixiviados se refiere, tanto en el área de recepción como en el acopio de áridos reciclados.

- Contaminación del agua: El abastecimiento de agua de la planta se realizará directamente de la red municipal de agua potable, por lo que no se considera significativa la disminución de dicho recurso por parte de la planta. Además, los aseos se conectarán a la red de alcantarillado, no siendo necesaria una fosa séptica particular.

De forma análoga al caso de la contaminación del suelo, los residuos peligrosos existentes en los RCD no afectarían a la contaminación del agua.

En el área de descarga, las aguas que sean vertidas se redireccionarán mediante pendiente a una balsa con separador de grasas y con decantación. Por otro lado, en el acopio de áridos reciclados se debe evitar la entrada de lluvia, por lo que habrá un sistema de recogida de la misma. [25]

- Impactos en vegetación y fauna: No se esperan impactos relevantes en la vegetación y fauna de la zona. En lo que ha vegetación se refiere, si se procede a eliminar parte de la actual vegetación de la parcela (y en función la especie de la misma), se solicitaría permiso a las autorizaciones correspondientes.

En cuanto a la fauna, el impacto principal reside en las posibles molestias ocasionadas debido a ruidos, vibraciones y emisiones en la planta. Sin embargo, al estar ubicados en un polígono industrial, se deduce que la fauna del entorno se ha adaptado a dichas molestias.

- Impactos sobre la salud: La protección inadecuada, el mal uso de EPIs (equipos de protección individual) o la incorrecta actuación cuando se trabaja con los residuos

peligrosos que pueden encontrarse en los RCD, puede tener un impacto negativo sobre la salud de los trabajadores de la planta.

Un ejemplo de ello es el amianto, un material altamente peligroso que puede ser encontrado en residuos procedentes de demoliciones. Su presencia en los RCD implicaría la paralización de forma inmediata la actividad para la activación de los protocolos de actuación pertinentes. Estos residuos deberán ser gestionados por una empresa autorizada inscrita en el Registro de Empresas con Riesgo de Amianto (RERA). [26]

- Impacto paisajístico: La presencia de maquinaria, vehículos y de acopio de grandes masas de residuos y áridos reciclados puede suponer un impacto para el paisaje. No obstante, el polígono industrial de Granadilla constituye un entorno industrial, por lo que su paisaje no se vería afectado significativamente respecto a su estado actual.

## **7. Estudio de viabilidad económica**

En este apartado se analizará económicamente la planta de RCD, con el fin de determinar si es viable o no en términos económicos. Cabe mencionar que en los proyectos con estas dimensiones se recurre habitualmente a la financiación debido a las importantes inversiones requeridas.

### **7.1. Inversión inicial**

A continuación, se presenta una serie de tablas con las diferentes inversiones que se estiman realizar para que sea posible llevar a cabo el proyecto.

- Ingeniería y construcción: Costes derivados de la totalidad de construcción de la planta, como el acondicionamiento de la parcela, la construcción de los diferentes sectores y edificios de la planta, la instalación eléctrica y red de agua, etc. Además, se incluyen los

costes derivados del estudio y la dirección de ingeniería, de los permisos y de las autorizaciones pertinentes.

Concepto	Coste total
Adecuación del terreno	50.000,00 €
Instalación eléctrica	300.000,00 €
Instalación de agua	150.000,00 €
Instalación contraincendios	10.000,00 €
Asfaltado parcela	40.000,00 €
Vallado parcela	20.000,00 €
Cabina de triaje	100.000,00 €
Oficinas, vestuarios y comedor	150.000,00 €
Área de descarga y clasificación	100.000,00 €
Áreas de acopio	80.000,00 €
Equipo de ingeniería	50.000,00 €
Permisos y autorizaciones	15.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>1.065.000,00 €</b>

*Tabla 1.4. Inversión relativa al equipo de ingeniería y a la construcción de la planta*

*Fuente: Elaboración propia*

- Maquinaria: Se trata del coste de cada una de las máquinas que se prevé tener en la instalación para poder realizar el tratamiento de los RCD, descritas de manera más detallada en el Apartado 5.4 de este documento.

Maquinaria	Ud	Coste unitario	Coste total
Báscula	2	10.000,00 €	20.000,00 €
Pala	2	50.000,00 €	100.000,00 €
Martillo hidráulico	2	80.000,00 €	160.000,00 €

Tolva alimentación	1	60.000,00 €	60.000,00 €
Trituradora mandíbulas	1	100.000,00 €	100.000,00 €
Separador magnético	2	120.000,00 €	240.000,00 €
Criba vibratoria	2	100.000,00 €	200.000,00 €
Soplador separador	1	50.000,00 €	50.000,00 €
Cinta transportadora	2	15.000,00 €	30.000,00 €
Molino de impacto	3	40.000,00 €	120.000,00 €
Supresores de polvo	1	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>TOTAL</b>			<b>1.090.000,00 €</b>

*Tabla 1.5. Inversión relativa a la maquinaria de la planta*

*Fuente: Elaboración propia*

- Equipamiento: Se trata del resto de materiales inventariables e inmovilizados de la planta, como por ejemplo herramientas y maquinaria de menor dimensión, equipos informáticos y electrónicos, contenedores, mobiliario, EPIs, etc.

<b>Equipamiento</b>	<b>Ud</b>	<b>Coste unitario</b>	<b>Coste total</b>
Herramientas y maquinaria pequeña	-	30.000,00 €	30.000,00 €
Contenedor	10	900,00 €	9.000,00 €
Equipamiento informático	-	3.000,00 €	3.000,00 €
Equipamiento electrónico	-	5.000,00 €	5.000,00 €
Mobiliario	-	7.000,00 €	7.000,00 €
EPIs	-	2.000,00 €	2.000,00 €
<b>TOTAL</b>			<b>56.000,00 €</b>

*Tabla 1.6. Inversión relativa al resto de equipamiento de la planta*

*Fuente: Elaboración propia*

Por lo tanto, la inversión inicial final será la recogida en la *Tabla 7*:

Concepto	Inversión
Ingeniería y construcción	1.065.000,00 €
Maquinaria	1.090.000,00 €
Equipamiento	56.000,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>2.211.000,00 €</b>

*Tabla 1.7. Inversión total del proyecto*

*Fuente: Elaboración propia*

## 7.2. Costes

Los costes que la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición incurre durante su operación se recogen en este apartado. Dichos costes incrementarán a lo largo de los años siguiendo el Índice de Precios de Consumo (IPC), que es de 3,2% en Mayo 2023. [27]

### 7.2.1. Costes de financiación

Primeramente, el coste al que se enfrenta la planta es el relativo a la financiación. Si se considera que la inversión inicial estará financiada al 50%, se concluye que el préstamo a pedir tendrá un valor de 1.105.500,00 € en el primer año.

El préstamo tendrá una Tasa de Interés Nominal (TIN) de 6,5%, siendo este un valor que ronda la media. Además, se considera que no hay ninguna otra comisión extra y que se pagará a 20 años. Por tanto, el cálculo de la cuota anual quedará tal que:

$$Cuota\ anual = \frac{Capital \cdot TIN \cdot (1 + TIN)^{N^o\ años}}{(1 + TIN)^{N^o\ años} - 1} = \frac{1.105.500 \cdot 0,065 \cdot (1,065)^{20}}{(1,065)^{20} - 1} = 100.331,20\ €$$

Con esto en cuenta, en la *Tabla 8* se recoge el cuadro de amortización del préstamo:

Periodo	Cuota anual	Intereses	Cuota amortización	Capital amortizado	Capital vivo
0	-	-	-	-	1.105.500,00 €
1	100.331,20 €	71.857,50 €	28.473,70 €	28.473,70 €	1.077.026,30 €
2	100.331,20 €	70.006,71 €	30.324,49 €	58.798,18 €	1.046.701,82 €
3	100.331,20 €	68.035,62 €	32.295,58 €	91.093,76 €	1.014.406,24 €
4	100.331,20 €	65.936,41 €	34.394,79 €	125.488,55 €	980.011,45 €
5	100.331,20 €	63.700,74 €	36.630,45 €	162.119,00 €	943.381,00 €
6	100.331,20 €	61.319,77 €	39.011,43 €	201.130,43 €	904.369,57 €
7	100.331,20 €	58.784,02 €	41.547,17 €	242.677,60 €	862.822,40 €
8	100.331,20 €	56.083,46 €	44.247,74 €	286.925,34 €	818.574,66 €
9	100.331,20 €	53.207,35 €	47.123,84 €	334.049,18 €	771.450,82 €
10	100.331,20 €	50.144,30 €	50.186,89 €	384.236,07 €	721.263,93 €
11	100.331,20 €	46.882,16 €	53.449,04 €	437.685,11 €	667.814,89 €
12	100.331,20 €	43.407,97 €	56.923,23 €	494.608,34 €	610.891,66 €
13	100.331,20 €	39.707,96 €	60.623,24 €	555.231,58 €	550.268,42 €
14	100.331,20 €	35.767,45 €	64.563,75 €	619.795,32 €	485.704,68 €
15	100.331,20 €	31.570,80 €	68.760,39 €	688.555,72 €	416.944,28 €
16	100.331,20 €	27.101,38 €	73.229,82 €	761.785,53 €	343.714,47 €
17	100.331,20 €	22.341,44 €	77.989,75 €	839.775,29 €	265.724,71 €
18	100.331,20 €	17.272,11 €	83.059,09 €	922.834,38 €	182.665,62 €
19	100.331,20 €	11.873,27 €	88.457,93 €	1.011.292,31 €	94.207,69 €
20	100.331,20 €	6.123,50 €	94.207,69 €	1.105.500,00 €	0,00 €

*Tabla 1.8. Cuadro de amortización del préstamo*

*Fuente: Elaboración propia*



Los cálculos se realizan teniendo en cuenta que el interés será el 6,5% del capital vivo, que la cuota de amortización será la cuota anual una vez restados los intereses, que el capital amortizado será la suma de la cuota de amortización en ese periodo y en los anteriores y que el capital vivo será el capital vivo en el periodo anterior menos la cuota de amortización en ese periodo.

### 7.2.2. Costes de explotación

Por otro lado, se encuentran los costes derivados de la actividad de la planta, es decir, los costes de explotación. Dichos costes pueden diferenciarse entre fijos o variables, según cambie o no su valor a lo largo de los diferentes periodos.

- Costes fijos (CF): Aquellos que se mantienen constantes durante los diferentes periodos. En la *Tabla 9* se recogen los costes fijos derivados de personal de la planta, mientras que en la *Tabla 10* se recogerán los derivados del alquiler de la parcela, del mantenimiento de maquinaria, de los seguros, etc.

Cargo de personal	Ud	Coste anual unitario	Coste anual total
Jefe de planta	1	25.920,70 €	25.920,70 €
Operario de planta	5	15.485,08 €	77.425,40 €
Operador de máquina	4	16.587,80 €	66.351,20 €
Auxiliar administrativo	1	15.034,69 €	15.034,69 €
TOTAL			184.731,99 €

*Tabla 1.9. Costes derivados del personal*

*Fuente: Elaboración propia*

Concepto	Coste anual
Alquiler de parcela	55.000,00 €
Seguro multirriesgo	15.000,00 €

Responsabilidad civil y medioambiental	15.000,00 €
Plan de prevención de riesgos laborales	2.500,00 €
Mantenimiento de maquinaria	35.000,00 €
Mantenimiento de instalación contra incendios	3.000,00 €
Limpieza	3.000,00 €
Línea telefónica e internet	1.500,00 €
Auditoría	2.000,00 €
Asesoría	1.500,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>133.500,00 €</b>

*Tabla 1.10. Costes derivados de costes fijos varios*

*Fuente: Elaboración propia*

- Costes variables (CV): Aquellos que varían en función de la producción que se lleve a cabo en la planta de tratamiento de RCD. Entre ellos se encuentran el consumo eléctrico, el consumo de combustible y el suministro de agua.

Aunque la jornada laboral en la planta de tratamiento de residuos será de 1.776 horas anuales, se asume que la maquinaria no funcionará ininterrumpidamente, así que se aplica un factor del 70%. Esto da un total de 1243 horas anuales de trabajo realizado por la maquinaria.

Considerando la tarifa 6.1TD recomendada para uso industrial, el precio estimado del kW contratado es de 21,8032€/kW y año, y el precio estimado por kWh consumido es de 0,2117665€/kWh. Ambos precios se estiman haciendo la media entre los precios del Periodo 1 (P1) y los precios del Periodo 2 (P2), ya que las horas en las que se estima trabajar coinciden con dichos períodos de forma equitativa. [28]

Por otro lado, se estima que un litro de combustible da aproximadamente 10 kWh de energía y que su precio ronda los 1,06€/L. [29] Con todo esto en mente, se obtienen los resultados de las siguientes tablas:

<b>Maquinaria eléctrica</b>	<b>Ud</b>	<b>Tiempo en marcha (h/año)</b>	<b>Potencia estimada (kW)</b>	<b>Consumo estimado (kWh/año)</b>
Báscula	2	1.243	160	198.880
Tolva alimentación	1	1.243	20	24.860
Separador magnético	2	1.243	4,4	5.469
Criba vibratoria	2	1.243	60	74.580
Soplador separador	1	1.243	3	3.729
Cinta transportadora	2	1.243	15	18.645
Molino de impacto	3	1.243	1.350	1.678.050
Resto instalaciones eléctricas	1	1.243	50	62.150
<b>TOTAL</b>			<b>1.662,4</b>	<b>2.066.363,2</b>

*Tabla 1.11. Consumo eléctrico estimado en planta*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Maquinaria de combustible</b>	<b>Ud</b>	<b>Tiempo en marcha (h/año)</b>	<b>Potencia estimada (kW)</b>	<b>Consumo estimado (kWh/año)</b>
Pala	2	1.243	336	417.648
Martillo hidráulico	2	1.243	400	497.200
Trituradora mandíbulas	1	1.243	265	329.395
<b>TOTAL</b>				<b>1.244.243</b>

*Tabla 1.12. Consumo de combustible estimado en planta*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad estimada</b>	<b>Energía combustible (kWh/L)</b>	<b>Precio unitario (€/Unidad)</b>	<b>Unidad</b>	<b>Coste anual total</b>
Consumo eléctrico	2.066.363,2	-	0,2117665	kWh	437.586,50 €
Consumo de combustible	1.244.243	10	1,06	l	131.889,76 €

Potencia eléctrica	1.662,4	-	21,8032	kW	36.245,64 €
TOTAL					605.721,90 €

*Tabla 1.13. Costes derivados del consumo de energía*

*Fuente: Elaboración propia*

En cuanto al suministro de agua en la planta, se obtiene la estimación de la Tabla 14, teniendo en cuenta el uso principal que se le dará al agua en planta será para la supresión de polvo [30]:

Concepto	m <sup>3</sup> anuales	Coste bimestral unitario	Coste anual total
Suministro agua uso en planta	6.000	1,98 €	11.880,00 €
Suministro agua potable	150	1,98 €	297,00 €
TOTAL			12.177,00 €

*Tabla 1.14. Costes derivados del suministro de agua*

*Fuente: Elaboración propia*

El resumen final de costes de explotación será el siguiente:

Concepto	Coste anual total
Cuota de financiación	100.331,20 €
Personal	184.731,99 €
Costes fijos varios	133.500,00 €
Consumo de energía	605.721,90 €
Suministro de agua	12.177,00 €
TOTAL	1.036.462,09 €

*Tabla 1.15. Resumen de costes anuales en planta*

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.3. Ingresos

Los ingresos que percibe la planta de tratamiento son aquellos derivados de la recepción de residuos de construcción y demolición, de la venta de los áridos reciclados resultantes del tratamiento y de la venta de metales y maderas valorizables. Cabe recordar que se estableció una recepción estimada de 140.000 t anuales en la planta objeto de estudio

- Recepción de residuos de construcción y demolición: Para establecer el precio de recepción de los residuos se tendrá en cuenta tanto el grado de contaminación de dicho residuo como su naturaleza, tal y como se comentó anteriormente.

Tipo de RCD	Precio (€/t)	Porcentaje del total	Cantidad (t)	Ingreso anual total
Hormigón limpio	2,5	13%	18.200	45.500,00 €
Hormigón sucio	4,2	31%	43.400	182.280,00 €
Mixto limpio	3	9%	12.600	37.800,00 €
Mixto sucio	4,7	26%	36.400	171.080,00 €
Asfáltico limpio	6,2	2%	2.800	17.360,00 €
Asfáltico sucio	9,6	6%	8.400	80.640,00 €
RCD muy sucios	15,5	13%	18.200	282.100,00 €
<b>TOTAL</b>		<b>100%</b>	<b>140.000</b>	<b>816.760,00 €</b>

*Tabla 1.16. Ingresos derivados de la recepción de RCD*

*Fuente: Elaboración propia*

- Venta de áridos reciclados: Para establecer el precio de venta de los áridos reciclados se tendrá en cuenta la demanda de dicho material y la facilidad de su producción. Además, se contemplan los RCD muy sucios como producto no vendible, es decir, no son reaprovechables. [31]

Tipo de árido reciclado	Precio (€/t)	Porcentaje del total	Cantidad (t)	Ingreso anual total
Suelos reciclados	2,1	14%	19.600	41.160,00 €
Zahorras	2,5	31%	43.400	108.500,00 €
Arenas	1,7	19%	26.600	45.220,00 €
Gravas	1,5	12%	16.800	25.200,00 €
Material drenante grueso	1	4%	5.600	5.600,00 €
RCD muy sucios	0	13%	18.200	0,00 €
TOTAL		93%	130.200	225.680,00 €

*Tabla 1.17. Ingresos derivados de la venta de áridos reciclados*

*Fuente: Elaboración propia*

- Venta de metales y maderas valorizables: Al separar los áridos de otros productos presentes en los RCD se obtienen una serie de productos que pueden ser aprovechables y, por tanto, valorizables. En este caso, como se comentó con anterioridad, se considerarán únicamente valorizables la madera y el metal, ya que los demás productos encontrados (plásticos, vidrios, papeles, yesos, etc.) se consideran difíciles de vender, haciendo que no sea rentable.

Tipo de producto	Precio (€/t)	Porcentaje del total	Cantidad (t)	Ingreso anual total
Madera	1	4,5%	6.300	6.300,00 €
Metal	100	2,50%	3.500	350.000,00 €
TOTAL		7%	9.100	356.300,00 €

*Tabla 1.18. Ingresos derivados de la venta de productos valorizables*

*Fuente: Elaboración propia*

El resumen, por tanto, de los ingresos totales anuales será el siguiente:

Concepto	Ingreso anual total
Recepción de RCD	816.760,00 €
Venta de áridos reciclados	225.680,00 €
Venta de productos valorizables	356.300,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>1.398.740,00 €</b>

*Tabla 1.19. Resumen de ingresos anuales en planta*

*Fuente: Elaboración propia*

#### 7.4. Flujos de caja, VAN y TIR

Conocidos los costes e ingresos anuales, es posible calcular los flujos de caja para un período de 20 años, teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto de que los costes incrementarán a lo largo de los años un 3,2%, y de la misma manera se estima el crecimiento en los ingresos en un 3,2%.

Además, para la actividad de la planta se considera la aplicación de IGIC reducido (3%), atendiendo a la Ley 4/2012, de 25 de junio, de medidas administrativas y fiscales.

Periodo	Costes	Ingresos	Beneficio Bruto	Impuestos	Flujo de caja
1	1.036.462,09 €	1.398.740,00 €	362.277,91 €	10.868,34 €	351.409,58 €
2	1.069.628,87 €	1.443.499,68 €	373.870,81 €	11.216,12 €	362.654,68 €
3	1.103.857,00 €	1.489.691,67 €	385.834,67 €	11.575,04 €	374.259,63 €
4	1.139.180,42 €	1.537.361,80 €	398.181,38 €	11.945,44 €	386.235,94 €
5	1.175.634,19 €	1.586.557,38 €	410.923,19 €	12.327,70 €	398.595,49 €
6	1.213.254,49 €	1.637.327,22 €	424.072,73 €	12.722,18 €	411.350,55 €
7	1.252.078,63 €	1.689.721,69 €	437.643,06 €	13.129,29 €	424.513,77 €
8	1.292.145,15 €	1.743.792,78 €	451.647,63 €	13.549,43 €	438.098,21 €
9	1.333.493,79 €	1.799.594,15 €	466.100,36 €	13.983,01 €	452.117,35 €

10	1.376.165,59 €	1.857.181,16 €	481.015,57 €	14.430,47 €	466.585,10 €
11	1.420.202,89 €	1.916.610,96 €	496.408,07 €	14.892,24 €	481.515,83 €
12	1.465.649,38 €	1.977.942,51 €	512.293,13 €	15.368,79 €	496.924,33 €
13	1.512.550,17 €	2.041.236,67 €	528.686,51 €	15.860,60 €	512.825,91 €
14	1.560.951,77 €	2.106.556,25 €	545.604,48 €	16.368,13 €	529.236,34 €
15	1.610.902,23 €	2.173.966,05 €	563.063,82 €	16.891,91 €	546.171,90 €
16	1.662.451,10 €	2.243.532,96 €	581.081,86 €	17.432,46 €	563.649,40 €
17	1.715.649,53 €	2.315.326,01 €	599.676,48 €	17.990,29 €	581.686,19 €
18	1.770.550,32 €	2.389.416,45 €	618.866,13 €	18.565,98 €	600.300,14 €
19	1.827.207,93 €	2.465.877,77 €	638.669,84 €	19.160,10 €	619.509,75 €
20	1.885.678,58 €	2.544.785,86 €	659.107,28 €	19.773,22 €	639.334,06 €

Tabla 1.20. Flujo de caja para un período de 20 años

Fuente: Elaboración propia

Con los flujos de caja es posible realizar el cálculo del VAN (Valor Actual Neto), que es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. [32] Se realiza atendiendo a la siguiente ecuación:

$$VAN = - I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = - I_o + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Siendo  $I_o$  la inversión inicial,  $n$  el número de períodos de tiempo,  $F_t$  el flujo de caja en cada uno de los períodos  $t$  y  $k$  la tasa de descuento. [33] Este último, se calcula tal que:

$$k = \frac{TIN}{1+TIN} ; k = \frac{0,065}{1+0,065} = 6,103\%$$

Con este dato ya calculado, sabiendo que la inversión inicial a realizar es de 1.105.500€, con los flujos de caja anteriormente calculados y para un período de 20 años, se concluye que el VAN calculado será de 4.049.056,91 €.



Al ser el VAN positivo, nos indica que el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, con la tasa de descuento estimada, generará beneficios.

Por otro lado, es conveniente el cálculo de la TIR (Tasa Interna de Retorno). Con este valor es posible conocer la rentabilidad que ofrece una inversión, ya que es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

Está muy relacionada con el VAN, siendo la TIR el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. [34] Sabiendo esto, se deduce que su ecuación es la siguiente:

$$0 = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_o + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n}$$

Con los mismos datos con los que fue calculado el VAN se realiza el cálculo, obteniendo una TIR de 0,348361285.

Como la TIR obtenida es mayor que la tasa de descuento supuesta, el proyecto de inversión puede ser aceptado.

Con estos indicadores de rentabilidad en mente, se puede suponer que en la planta de tratamiento de RCD, con las condiciones productivas y del mercado estimadas, no habrían pérdidas económicas.

## Conclusión

Se ha observado a lo largo de la realización del trabajo la baja cantidad de datos e información actualizados en materia de residuos de construcción y demolición, sobre todo para la comunidad autónoma de Canarias.

De ahí es de donde nace la importancia de indagar en esta problemática en profundidad, ya que es necesario no sólo prevenir la generación de dichos residuos, sino también que los que ya han sido generados se gestionen y se traten de la manera más adecuada y eficiente posible.

Es por ello que fue realizado el estudio de viabilidad, para asegurar que el proyecto planteado es realizable. De dicho estudio se puede deducir que el proyecto planteado es viable técnica, ambiental y económicamente, según lo estimado.

En primer lugar, las especificaciones técnicas planteadas permitirían una operación de la planta de tratamientos eficiente, ya que la capacidad estimada se adecúa a la maquinaria y personal disponibles, la localización es adecuada para la actividad a realizar y que la distribución de las actividades a realizar en planta es idónea.

En cuanto a la viabilidad ambiental, el hecho de localizarse en un polígono industrial garantiza el cumplimiento de ciertos requisitos ambientales que son de obligado cumplimiento. Además, se regula la actividad de la planta de manera que se mitigue el impacto ambiental negativo que pueda ser causado durante la operación de la planta.

Finalmente, la viabilidad económica se estimó favorable, a pesar de que los costes e ingresos son cambiantes y fluctúan en función del período temporal en el que se realice el estudio.

Se concluye, por tanto, que el proyecto podría suponer un gran avance para la sociedad tinerfeña, favoreciendo la economía circular y suponiendo un avance en la concienciación medioambiental.

## Conclusion

Throughout the project, it has been observed the low amount of updated data and information on construction and demolition waste, especially for the Canary Islands.

Hence the importance of investigating this problem in depth, since it is necessary not only to prevent the generation of such waste, but also that those that have already been generated are managed and treated in the most appropriate and efficient way possible.

That is why the feasibility study was carried out, to ensure that the proposed project is achievable. From this study it can be deduced that the proposed project is feasible technically, environmentally and economically, as estimated.

First, the proposed technical specifications would allow an efficient operation in the treatment plant, as the estimated capacity is in line with the available machines and workers, the location is suitable for the activity to be carried out and the distribution of the activities to be carried out in the plant is ideal.

As for environmental viability, the fact of being located in an industrial park ensures compliance with certain environmental requirements that are mandatory. In addition, the activity of the plant is regulated so as to mitigate the negative environmental impact that may be caused during the operation of the plant.

Finally, the economic viability was considered favourable, despite the fact that costs and revenues are constantly changing and fluctuate according to the time period in which the study is carried out.

It is concluded, therefore, that the project could represent a great advance for the Tenerife society, favoring the circular economy and supposing an advance in environmental awareness.

## Referencias

[1]

Fundación Ecolec (2023). *Tratamiento de residuos*. Recuperado de:

<https://ecolec.es/informacion-y-recursos/tratamiento-de-residuos/>

[2]

Recytrans (2014). *Tratamiento de residuos*. Recuperado de:

<https://www.recytrans.com/blog/tratamiento-de-residuos/>

[3]

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). *¿Qué son los residuos de construcción y demolición (RCD)?* Recuperado de:

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/tierras-y-escombros/>

[4]

Ministerio de Medio Ambiente (2008-2015). *Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR)*. Recuperado de:

[http://www.cepcos.es/uploads/docs/pnir\\_anexo\\_06.pdf](http://www.cepcos.es/uploads/docs/pnir_anexo_06.pdf)

[5]

Unión Europea (2002). *Lista Europea de Residuos (LER) - 17*. Recuperado de:

<https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/materias/residuos/LER/ler17/>

[6]

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). *¿Cuál es su ciclo de gestión y cómo pueden tratarse?* Recuperado de:

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/tierras-y-escombros/Cual-es-ciclo-gestion-como-pueden-tratarse.aspx>

[7]

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). *¿Qué aplicaciones tienen los materiales reciclados?* Recuperado de:

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/tierras-y-escombros/Que-aplicaciones-tienen-materiales-reciclados.aspx>

[8]

Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial (2023). *Normativa de Residuos*. Recuperado de:

<https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/materias/residuos/mas-informacion/normativa/>

[9]

Comisión Europea (2016). *Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE*. Recuperado de:

<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/attachments/1/translations/es/renditions/native>

[10]

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020). *Memoria Anual de Generación y Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)*. Recuperado de:

[https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/generacionygestiondercd2015-2020\\_tcm30-553016.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/generacionygestiondercd2015-2020_tcm30-553016.pdf)

[11]

Banco de Ideas de Negocios Ambientales Sostenibles (2015). *Planta de Áridos Reciclados*. Recuperado de:

[https://www.tenerife.es/portalcabtfe/images/PDF/temas/medio\\_ambiente/PlantaAridosRecicladosJun15.pdf](https://www.tenerife.es/portalcabtfe/images/PDF/temas/medio_ambiente/PlantaAridosRecicladosJun15.pdf)

[12]

Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos (2022). *Consumo de áridos*.

Recuperado de:

<https://www.aridos.org/estadisticas/#:~:text=Consumo%20de%20%C3%A1ridos&text=Es%20la%20segunda%20materia%20prima,unos%207%2C9%20kilogramos%20diarios>.

[13]

Statista (2019). *Distribución porcentual de los residuos de plástico reciclados en 2018, por aplicación de origen*. Recuperado de:

<https://es.statista.com/estadisticas/1124848/porcentaje-de-residuos-de-plastico-reciclados-por-aplicacion-en-espana/>

[14]

Statista (2019). *Volumen de residuos de madera gestionados en España de 2010 a 2017*.

Recuperado de:

<https://es.statista.com/estadisticas/1020678/cantidad-de-residuos-de-madera-tratados-en-espana/>

[15]

Statista (2019). *Volumen de residuos metálicos gestionados en España de 2010 a 2017*.

Recuperado de:

<https://es.statista.com/estadisticas/1020667/cantidad-de-residuos-metalicos-tratados-en-espana/>

[16]

Statista (2021). *Recogida aparente de papel para reciclar en España de 2010 a 2020*.

Recuperado de:

<https://es.statista.com/estadisticas/544556/recogida-de-papel-para-reciclar-en-espana/>

[17]

RCdiGREEN (2021). *Áridos reciclados en el sector de la construcción: Desafíos e Impactos Ambientales*. Recuperado de:

[https://rcdigreen.eu/wp-content/uploads/2021/08/RCDiGreen\\_Guide-recycles-dans-les-secteur-de-la-construction-comprimido-es.pdf](https://rcdigreen.eu/wp-content/uploads/2021/08/RCDiGreen_Guide-recycles-dans-les-secteur-de-la-construction-comprimido-es.pdf)

[18]

Infoautónomos (2023). *Guía fundamental del Análisis DAFO*. Recuperado de:  
<https://www.infoautonomos.com/plan-de-negocio/analisis-dafo/>

[19]

Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial (2023). *Buscador del Registro de Gestión/Producción de Residuos Transportistas*. Recuperado de:  
<https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/materias/residuos/registro-de-produccion/buscador-de-transportistas/>?

[20]

Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería de Fomento y Vivienda (2015). *Guía de Buenas Prácticas de Gestión y Tratamiento de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)*. Recuperado de:  
[https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/servicios\\_generales/doc\\_tecnicos/2015/gestion\\_tratamiento\\_residuos\\_construc\\_demolic/gestion\\_tratamiento\\_residuos\\_RCD\\_buenas\\_practicass.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/servicios_generales/doc_tecnicos/2015/gestion_tratamiento_residuos_construc_demolic/gestion_tratamiento_residuos_RCD_buenas_practicass.pdf)

[21]

Polígono Industrial de Granadilla S.A. (2019). *Presentación del Polígono Industrial de Granadilla*. Recuperado de:  
<https://polgran.com/presentacion/>

[22]

Weather Spark (2023). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Granadilla de Abona, España*. Recuperado de:  
<https://es.weatherspark.com/y/31620/Clima-promedio-en-Granadilla-de-Abona-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o#:~:text=En%20Granadilla%20de%20Abona%2C%20los,m%C3%A1s%20de%2028%20%C2%B0C.>

[23]

Boletín Oficial del Estado (2006). *Real Decreto 524/2006, de 28 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre.*

Recuperado de:

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-7900>

[24]

Boletín Oficial del Estado (2007). *Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.* Recuperado de:

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-18397>

[25]

Juste, I. (2021). *Contaminación del suelo: causas, consecuencias y soluciones.*

Recuperado de:

<https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-del-suelo-causas-consecuencias-y-soluciones-285.html>

[26]

La Plataforma del Amianto (GDA) (2021). *RERA: ¿Qué es y cómo se solicita?*

Recuperado de:

<https://gestiondelamianto.com/rera/>

[27]

Instituto Nacional de Estadística (2023). *Índice de precios de consumo (IPC). Indicador adelantado. Junio 2023.* Recuperado de:

[https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176802&menu=ultiDatos&idp=1254735976607](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176802&menu=ultiDatos&idp=1254735976607)

[28]

Endesa (2023). *Tarifa Óptima 6.1TD.* Recuperado de:

<https://www.endesa.com/content/dam/endesa-com/endesaclientes/empresas/documentos/es/productos-luz/tarifa-optima/terminos-tarifa-optima.pdf>



[29]

Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2023). *Precio del Gasóleo A hoy en Santa Cruz de Tenerife*. Recuperado de:

<https://mas.eldia.es/gasolineras-tenerife/precio-gasoleo-a.html>

[30]

Ayuntamiento de Granadilla de Abona (2012). *Ordenanza Fiscal Reguladora de la Tasa por la Prestación del Servicio de Abastecimiento de Agua*. Recuperado de:

[https://sede.granadilladeabona.es/portal/sede/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/1\\_56\\_1.pdf](https://sede.granadilladeabona.es/portal/sede/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/1_56_1.pdf)

[31]

Mac Insular (2015). *Precios Áridos Reciclados y otras Fracciones*. Recuperado de:

<https://www.mac-insular.com/es/tarifas-precios/>

[32]

Velayos Morales, V.; López, J.F. (2020). *Valor actual neto (VAN)*. Recuperado de:

<https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

[33]

Kiziryan, M.; López, J.F. (2020). *Tasa de interés / Tipo de interés*. Recuperado de:

<https://economipedia.com/definiciones/tipo-de-interes.html>

[34]

Sevilla Arias, A.; López, J.F. (2020). *Tasa interna de retorno (TIR)*. Recuperado de:

<https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>



## **II. ANTEPROYECTO**

# Índice de contenidos: Anteproyecto

<i>1. Objetivos y resultados esperados</i> .....	4
1.1. Objetivos generales .....	4
1.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Resultados esperados.....	5
<i>2. Antecedentes</i> .....	5
<i>3. Definición del problema y justificación</i> .....	5
<i>4. Alcance</i> .....	6
<i>5. Solución adoptada</i> .....	7
<i>6. Plan de ejecución y cronograma</i> .....	8
6.1. Fases del proyecto .....	8
6.2. Actividades y tareas.....	9
6.3. Cronograma de ejecución.....	11
<i>7. Presupuesto</i> .....	14
<i>8. Evaluación de riesgos</i> .....	15
8.1. Obligaciones legales del promotor .....	20
<i>9. Actuación de la planta ante cambios productivos</i> .....	24
9.1. Productividad mayor a la prevista .....	24
9.2. Productividad menor a la prevista .....	26
<i>Referencias</i> .....	31

## **Índice de figuras: Anteproyecto**

Figura 2.1. Planificación temporal de las actividades .....	12
Figura 2.2. Diagrama de Gantt de la planificación temporal de las actividades .....	13

## **Índice de tablas: Anteproyecto**

Tabla 2.1. Presupuesto del proyecto de construcción de la planta de tratamiento de RCD .....	15
Tabla 2.2. Resumen de costes anuales en planta con alta productividad .....	25
Tabla 2.3. Resumen de ingresos anuales en planta con alta productividad.....	25
Tabla 2.4. Flujo de caja para 20 años con alta productividad .....	26
Tabla 2.5. Resumen de costes anuales en planta con baja productividad .....	27
Tabla 2.6. Resumen de ingresos anuales en planta con baja productividad.....	27
Tabla 2.7. Flujo de caja para 20 años con baja productividad .....	28
Tabla 2.8. Resumen de costes anuales en planta con baja productividad y cambios aplicados.....	29
Tabla 2.9. Resumen de ingresos anuales en planta con baja productividad y cambios aplicados .....	29
Tabla 2.10. Flujo de caja para 20 años con baja productividad y cambios aplicados.....	30

Tras estudiar la viabilidad del proyecto, se procede a realizar el anteproyecto de la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición. Dicho anteproyecto servirá para corroborar que el proyecto es realizable con los recursos disponibles.

## **1. Objetivos y resultados esperados**

### **1.1. Objetivos generales**

El objetivo general de este proyecto es el de valorizar los residuos de construcción y demolición generados en parte de la isla de Tenerife, de manera que sean aprovechables nuevamente y evitar su acumulación en vertederos, y que además aporten riqueza a la economía insular.

### **1.2. Objetivos específicos**

Por otro lado, se establecen una serie de objetivos específicos a tener en cuenta en la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición:

- Aprovechar la fracción valorizable de los RCD, reduciendo el consumo de materias primas.
- Disminuir la contaminación ambiental, reduciendo los residuos aportados a la naturaleza.
- Crear nuevos puestos de trabajo, favoreciendo a la economía y a la sociedad de la zona.
- Hacer evolucionar las tecnologías de valorización de RCD, optimizando los procesos lo máximo posible.
- Fomentar métodos y tecnologías novedosas de valorización que sean lo más sostenibles y ecológicas posibles, consiguiendo evitar otros métodos tradicionales como la incineración de residuos.

### **1.3. Resultados esperados**

Se pretende reducir y reciclar los residuos producidos en el sector de la construcción a través de la instalación de una planta de tratamiento de RCD. Además, se pretende reducir la acumulación de residuos en vertederos y demás espacios, lo que disminuiría la contaminación, no sólo ambiental, sino también visual. Para finalizar, se pretende obtener un rédito económico de la actividad de revalorización.

## **2. Antecedentes**

El presente estudio realiza una estimación de los residuos que se prevé que se producirán en los trabajos directamente relacionados con el sector de la construcción en la isla de Tenerife, a fin de dimensionar correctamente la planta. Este proyecto supondrá un avance significativo en el manejo de los RCD, fomentando la valorización de los mismos, a fin de evolucionar en la sociedad y practicar la economía circular.

## **3. Definición del problema y justificación**

Los residuos, hasta hace relativamente poco, han sido considerados como materiales sin valor, cuyo único aporte era la contaminación al medioambiente y la ocupación de grandes espacios. Estos representan una pérdida enorme de recursos, siendo un síntoma de la ineficiencia de los procesos productivos de los cuales surgen, de la durabilidad de las materias primas empleadas inicialmente y de los hábitos de consumo de la sociedad. Por ello, se consideran un problema de peso que debe ser abordado actualmente.

No obstante, con el avance en la valorización de residuos, se comienza a reducir la problemática que acarreaban los mismos al medioambiente y a la sociedad en general. Por ello, es necesario investigar y evolucionar en materia de valorización de residuos, y de ahí surge la realización de la planta de tratamiento de residuos RCD objeto de este estudio.

Los RCD se están generando constantemente y es muy difícil reducir dicha generación, debido a que se llevan a cabo reformas, construcciones y demoliciones de edificios casi

periódicamente. Edificios con mucha antigüedad a menudo son transformados o sustituidos por otros edificios nuevos, lo que inevitablemente ocasiona residuos de construcción y demolición.

Al no ser viable a corto plazo la reducción considerable de RCD, se debe atajar el problema desde otra perspectiva, que es la valorización y reutilización de los mismos. Además del beneficio medioambiental, constituye un posible beneficio económico para aquel que lleve a cabo la actividad de valorización, derivando un modelo de negocio.

Por tanto, la recuperación de los residuos se justifica por la necesidad de fomentar la economía circular, la cual consiste en un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende. [35]

#### **4. Alcance**

Para este proyecto se establecen una serie de limitaciones a tener en cuenta durante su ejecución, con el fin de acotar las características de la planta. Una de ellas fue mencionada con anterioridad, y es el límite de los residuos a recibir en la planta de tratamiento, establecido en un 15% del total de Tenerife.

Además, se ha establecido que se tratarán únicamente los residuos de construcción y demolición que no estén muy sucios, ya que se consideran que estos suponen una dificultad demasiado elevada para ser llevada a cabo en el proyecto.

Otra limitación a tener en cuenta es la parte de productos valorizables presentes en los RCD que se prepararán para su venta, estableciéndose que únicamente se venderá la madera y los metales.

Finalmente, la planta de tratamiento de RCD se plantea de manera que los productos finales obtenidos sean unos concretos y con unas características concretas (granulometría, composición, etc.), delimitándose principalmente con la maquinaria a emplear.



## 5. Solución adoptada

Conocido el problema a abordar y el alcance establecido para el proyecto, es posible describir la solución adoptada, que es la construcción de una planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición con unas características determinadas.

La planta de tratamiento de RCD a implementar se caracteriza por estar localizada en el sur de la Isla de Tenerife, concretamente dentro del Polígono Industrial de Granadilla. Esto acarrea algunas ventajas, tales como el autoabastecimiento de agua procedente de las desaladoras de agua de mar con las que cuenta el Polígono.

Además, la planta de tratamiento estará organizada de manera que su layout sea en línea, es decir, la maquinaria y estaciones de trabajo se colocan en una secuencia lineal. Se ha establecido de esta manera debido a que es el layout más adecuado para procesos donde los materiales siguen una secuencia fija de operaciones, como el caso de los RCD. Además, por cuestiones económicas, se plantea una única línea de producción.

En esta línea productiva se establecen una serie de estaciones y maquinarias que permiten la recepción, clasificación y el tratamiento de los RCD, hasta la obtención de distintos áridos reciclados (suelos reciclados, zahorras, gravas, arenas y material drenante grueso) y materiales valorizables (madera y metal). Se ha seleccionado la maquinaria necesaria para la obtención de dichos materiales y sin incurrir en grandes inversiones, concretamente: dos básculas, dos palas mecánicas dos martillos hidráulicos, una tolva de alimentación, una trituradora de mandíbulas, dos separadores magnéticos, dos cribas vibratorias, un soplador separador, dos cintas transportadoras, tres molinos de impacto y un supresor de polvo.

Para llevar a cabo este proceso productivo se establecen una serie de puestos de trabajo, contando con un jefe de planta, un auxiliar administrativo, cinco operarios de planta y cuatro operarios de máquina. Con este personal se pretende englobar la totalidad de las actividades en la planta, estableciéndose un único turno por día.

Además, se distribuirá la maquinaria en áreas acotadas en función de su uso en el proceso y del orden de las operaciones a realizar. De esta forma, se garantiza un rendimiento óptimo de la

actividad. Además, se establecen áreas que no forman parte de la operación (como el aparcamiento o el área de oficinas, vestuarios y comedor) separadas de las áreas de recepción, clasificación, tratamientos y acopios, de manera que las acciones operativas no causen perturbaciones o molestias.

La planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición surge para fomentar la economía circular y contribuir positivamente al medioambiente. Es por ello que debe comprometerse a mitigar o eliminar los agentes contaminantes que pueda generar (ruido, emisiones de gases, polvo en suspensión, contaminación del suelo y el agua, impacto en fauna y flora, impacto en la salud e impacto paisajístico). Para ello se adoptarán medidas como el uso de maquinaria con marcado CE, sistemas de supresión de polvo, reducción del uso de maquinaria ruidosa a lo mínimo necesario e instalar cabinas insonorizadas en casos extremos de ruido, usar EPIs para proteger la salud de los trabajadores, filtrar el agua que se vierta y proteger el suelo con bases hormigonadas para la maquinaria para evitar derrames.

Finalmente, la parte económica del proyecto se caracteriza porque la inversión inicial de maquinaria, construcción de la planta y estudio ingenieril estará financiada en un 50% por un préstamo. Por otro lado, se tendrán los costes típicos de la actividad de la planta (personal, combustible, electricidad, alquiler de la parcela, agua, etc.), y tendrá los ingresos derivados de la venta de áridos reciclados y productos valorizables y de la recepción de RCD. Con todo esto en cuenta y con las condiciones productivas estimadas el proyecto sería rentable.

## **6. Plan de ejecución y cronograma**

### **6.1. Fases del proyecto**

Este proyecto tendrá la estructura común de la mayoría de proyectos, por lo que sus fases serán las siguientes:

- Inicio: Es una fase crucial en el ciclo de vida del proyecto, ya que en ella se define el alcance y se selecciona el equipo de trabajo, lo que afectará notablemente al éxito o

fracaso del proyecto. Es, además, el momento de compartir la visión con los participantes en el proyecto y llegar a acuerdos comunes para las futuras fases.

- **Planificación:** Suele ser la fase más difícil para un director de proyecto, ya que se realizan estimaciones y cálculos importantes en materia de las necesidades de personal, recursos y maquinaria que se precisa para lograr ejecutar el proyecto a tiempo y dentro de los parámetros previstos. En definitiva, esta fase consiste en crear un conjunto completo de planes de proyecto que establezcan una hoja de ruta.
- **Ejecución:** Una vez realizada la planificación, se deben llevar a cabo las actividades programadas y entregar los posibles productos intermedios que surjan de las mismas. La comunicación en esta fase es vital para garantizar un mayor control sobre el progreso y los plazos.

A su vez, es indispensable supervisar el consumo de recursos, presupuesto y tiempo a través de herramientas de gestión de proyectos. Para ello, se debe gestionar el riesgo, el cambio, los eventos, los gastos, los recursos, el tiempo y las actualizaciones y modificaciones que surjan durante la realización de las actividades.

- **Seguimiento y control:** Esta fase comprende los procesos necesarios para realizar el seguimiento, revisión y monitorización del progreso del proyecto. Se plantea como una fase que permite identificar las áreas en las que puede ser requerido un cambio en la planificación, y se encuentra asociada a la fase de ejecución de manera natural.
- **Cierre:** Esta fase comprende todos procesos orientados a completar formalmente el proyecto y las obligaciones contractuales inherentes. Una vez terminado, se considera formalmente que el proyecto ha concluido. [36]

## **6.2. Actividades y tareas**

Las actividades y tareas que implica el proyecto de la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición se diferencian, principalmente, según la fase en la que se realicen.

Se enumeran, a continuación, las actividades a realizar en función de la fase en la que se encuentra el proyecto:

- Actividades iniciales: Son todas aquellas relacionadas con la investigación preliminar y el análisis de proyectos similares, incluyéndose el estudio de viabilidad técnica, ambiental y económica.
  - Estudio de mercado.
  - Análisis de normativa vigente y aplicable en la planta.
  - Identificación de recursos necesarios para el proyecto.
  - Evaluación de posibles emplazamientos de la planta.
  - Estudio del diseño de la planta de tratamiento de RCD.
  - Dimensionamiento y estructuración de la planta de tratamiento de RCD.
  
- Actividades de planificación: Aquellas que se llevan a cabo para establecer el plan de proyecto.
  - Definición de los objetivos del proyecto y de los resultados esperados.
  - Programación de las actividades y de los plazos de ejecución de las mismas.
  
- Actividades de ejecución: Son las que se inician el proceso constructivo de la planta.
  - Selección y adquisición de parcela para la planta de tratamiento de RCD.
  - Obtención de licencias y permisos necesarios para la construcción y operación de la planta.
  - Preparación del terreno para la construcción de la planta.
  - Construcción de las instalaciones necesarias.
  - Adquisición y posicionamiento de los equipos y maquinaria necesarios para la operación de la planta de tratamiento de RCD.
  - Regulación de los planes de seguridad y prevención de riesgos.
  - Comprobación del correcto funcionamiento de los equipos y de la estructura planificada.

- Contratación y formación de personal.
  - Establecimiento de plan operativo para la puesta en marcha de la planta.
  - Puesta en marcha de la operación en la planta de tratamiento de RCD.
- Actividades de seguimiento y control: Sirven para monitorear el correcto funcionamiento de los equipos y la correcta operación de la actividad en la planta de tratamiento.
- Supervisión de la actividad de la planta.
  - Comprobación de la calidad de los productos finales obtenidos, tanto los áridos reciclados como los productos valorizables.
  - Gestión adecuada de los residuos no valorizables, evitando posibles contaminaciones de los valorizables.
  - Planificación de posibles medidas preventivas y correctivas para fallos en la operación.
  - Supervisión del cumplimiento de la normativa vigente y aplicable en la planta de tratamiento de RCD.
  - Mantenimiento y limpieza de la maquinaria y de la planta en general.
- Actividades de cierre: Aquellas que aseguran que se ha alcanzado fin del proyecto constructivo de la planta.
- Documentación de lo realizado.
  - Justificación del cumplimiento de la totalidad de objetivos planificados.
  - Cierre de negociaciones y contratos.

### **6.3. Cronograma de ejecución**

Tras definir las actividades y tareas a realizar, se realizará el cronograma de ejecución. Concretamente, se va a realizar un diagrama de Gantt con el software *Proyect Libre*, donde se establece el plazo de ejecución en 2 años.

Cabe mencionar que todas las actividades de seguimiento y control se realizarán durante toda la vida de la planta de tratamiento de RCD, una vez finalizada su construcción y puesta en marcha.





























		Nombre	Predecesores	Duracion	Inicio	Terminado
1		Estudio de mercado		24 days	1/01/24 8:00	1/02/24 17:00
2		Análisis de normativa vigente		45 days	1/01/24 8:00	1/03/24 17:00
3		Identificación de recursos necesarios	1	21 days	2/02/24 8:00	1/03/24 17:00
4		Evaluación de posibles emplazamientos	2	45 days	4/03/24 8:00	3/05/24 17:00
5		Estudio de diseño de la planta	3;4	24 days	6/05/24 8:00	6/06/24 17:00
6		Dimensionamiento y estructuración de la planta	5	22 days	7/06/24 8:00	8/07/24 17:00
7		Definición de objetivos del proyecto	6	24 days	9/07/24 8:00	9/08/24 17:00
8		Programación de actividades y plazos de ejecución	7	24 days	12/08/24 8:00	12/09/24 17:00
9		Selección y adquisición de parcela	5	44 days	7/06/24 8:00	7/08/24 17:00
10		Obtención de licencias y permisos	9	68 days	8/08/24 8:00	11/11/24 17:00
11		Preparación del terreno	10	45 days	12/11/24 8:00	13/01/25 17:00
12		Construcción de instalaciones	11	109 days	14/01/25 8:00	13/06/25 17:00
13		Adquisición y posicionamiento de equipos	10	46 days	12/05/25 8:00	14/07/25 17:00
14		Regulación planes de seguridad y PR	12	21 days	16/06/25 8:00	14/07/25 17:00
15		Comprobación del funcionamiento de equipos	13	24 days	15/07/25 8:00	15/08/25 17:00
16		Contratación y formación de personal	14	23 days	15/07/25 8:00	14/08/25 17:00
17		Establecimiento de plan operativo	16	26 days	18/08/25 8:00	22/09/25 17:00
18		Puesta en marcha de la planta	17	10 days	23/09/25 8:00	6/10/25 17:00
19		Supervisión de la actividad de la planta	18	62 days	7/10/25 8:00	31/12/25 17:00
20		Comprobación de la calidad de los productos	18	62 days	7/10/25 8:00	31/12/25 17:00
21		Gestión de los residuos no valorizables	18	62 days	7/10/25 8:00	31/12/25 17:00
22		Planificación de medidas preventivas/correctivas	18	62 days	7/10/25 8:00	31/12/25 17:00
23		Supervisión de cumplimiento de normativa	18	62 days	7/10/25 8:00	31/12/25 17:00
24		Mantenimiento y limpieza de equipos	18	62 days	7/10/25 8:00	31/12/25 17:00
25		Cierre de negociaciones y contratos	17	10 days	23/09/25 8:00	6/10/25 17:00
26		Justificación de cumplimiento de objetivos	18	62 days	7/10/25 8:00	31/12/25 17:00
27		Documentación de lo realizado		523 days	1/01/24 8:00	31/12/25 17:00

Figura 2.1. Planificación temporal de las actividades

Fuente: Elaboración propia

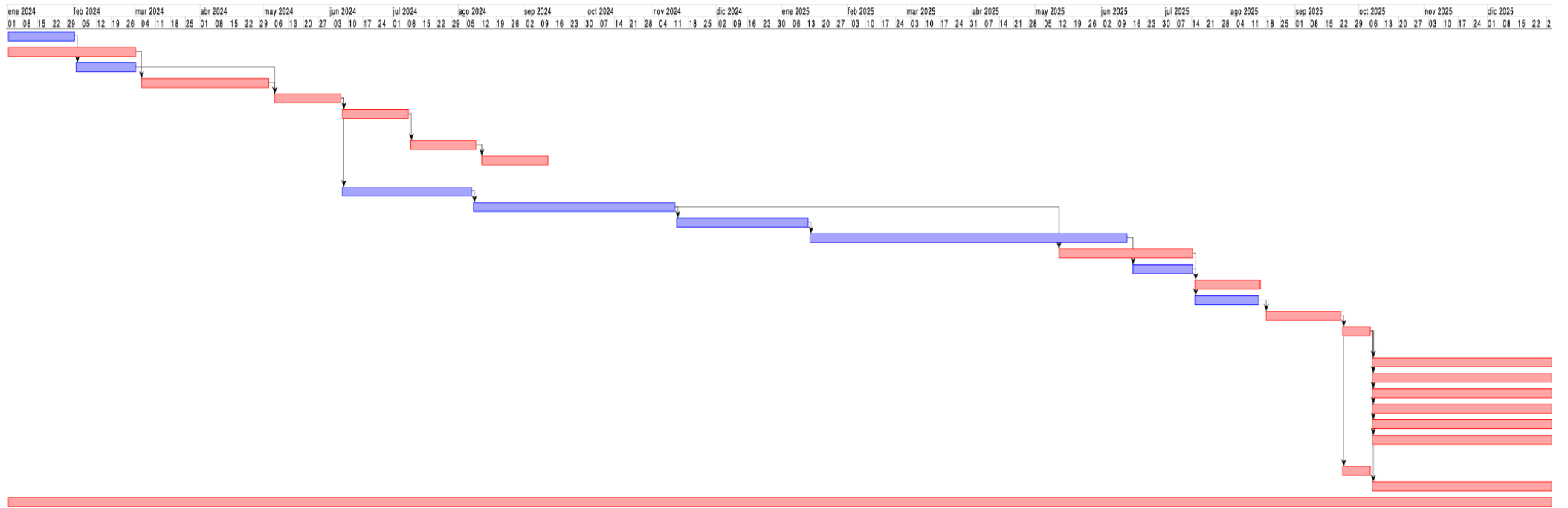


Figura 2.2. Diagrama de Gantt de la planificación temporal de las actividades

Fuente: Elaboración propia

## 7. Presupuesto

El presupuesto del proyecto se divide en los costes incurridos en la construcción y el estudio ingenieril de la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición (donde se incluye el pago a personal implicado y los gastos de recursos necesarios), en los costes de adquisición de la maquinaria y en los costes de otros equipamientos necesarios en la planta. Se recoge un resumen del mismo en la *Tabla 21*.

	<b>Concepto</b>	<b>Ud</b>	<b>Coste unitario</b>	<b>Coste total</b>
Ingeniería y construcción	Adecuación terrero	-	50.000,00 €	50.000,00 €
	Instalación eléctrica	-	300.000,00 €	300.000,00 €
	Instalación de agua	-	150.000,00 €	150.000,00 €
	Instalación contraincendios	-	10.000,00 €	10.000,00 €
	Asfaltado parcela	-	40.000,00 €	40.000,00 €
	Vallado parcela	-	20.000,00 €	20.000,00 €
	Cabina de triaje	-	100.000,00 €	100.000,00 €
	Oficinas, vestuarios y comedor	-	150.000,00 €	150.000,00 €
	Área de descarga y clasificación	-	100.000,00 €	100.000,00 €
	Áreas de acopio	-	80.000,00 €	80.000,00 €
	Equipo de ingeniería	-	50.000,00 €	50.000,00 €
	Permisos y autorizaciones	-	15.000,00 €	15.000,00 €
Maquinaria	Báscula	2	10.000,00 €	20.000,00 €
	Pala	2	50.000,00 €	100.000,00 €
	Martillo hidráulico	2	80.000,00 €	160.000,00 €
	Tolva alimentación	1	60.000,00 €	60.000,00 €
	Machacadora mandíbulas	1	100.000,00 €	100.000,00 €
	Separador magnético	2	120.000,00 €	240.000,00 €
	Criba vibratoria	2	100.000,00 €	200.000,00 €
	Soplador separador	1	50.000,00 €	50.000,00 €
	Cinta transportadora	2	15.000,00 €	30.000,00 €
	Molino de impacto	3	40.000,00 €	120.000,00 €
	Supresores de polvo	1	10.000,00 €	10.000,00 €



Equipamiento	Herramientas y maquinaria pequeña	-	30.000,00 €	30.000,00 €
	Contenedor	10	900,00 €	9.000,00 €
	Equipamiento informático	-	3.000,00 €	3.000,00 €
	Equipamiento electrónico	-	5.000,00 €	5.000,00 €
	Mobiliario	-	7.000,00 €	7.000,00 €
	EPIs	-	2.000,00 €	2.000,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>2.211.000,00 €</b>

Tabla 2.1. Presupuesto del proyecto de construcción de la planta de tratamiento de RCD

Fuente: Elaboración propia

## 8. Evaluación de riesgos

Finalmente, se deben identificar los posibles riesgos o desafíos que podrían surgir durante la operación de la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición y proponer estrategias para mitigarlos. Por ello, se planifican medidas de control y plan de contingencia para posibles riesgos asociados a la actividad, clasificado en función del riesgo:

### 1. Riesgos ambientales

- Contaminación del suelo y del agua debido a la gestión inadecuada de los residuos:
  - Medida de control: Implementar un sistema de contención y drenaje adecuado para evitar contaminaciones, además de monitorizar el suelo y el agua periódicamente.
  - Plan de contingencia: Establecer un procedimiento de respuesta a emergencias para contener derrames, y en caso de fuga limpiar rápidamente. Coordinar con las autoridades ambientales en caso de contaminación significativa.
- Incumplimiento de las normativas ambientales:

- Medida de control: Mantener un seguimiento continuo de los cambios en las regulaciones y asegurarse de que la planta cumpla con todas las normativas aplicables.
- Plan de contingencia: Establecer un equipo encargado de la gestión de cumplimiento normativo, monitorizar regularmente su cumplimiento y desarrollar un plan de acción para corregir rápidamente cualquier incumplimiento identificado.

## 2. Riesgos laborales

- Accidentes laborales causados por maquinaria y equipos:
  - Medida de control: Capacitar adecuadamente al personal en el uso seguro de la maquinaria y equipos. Mantener y revisar regularmente los protocolos de seguridad.
  - Plan de contingencia: Establecer procedimientos de primeros auxilios y un equipo de respuesta a emergencias. Asimismo, implementar medidas de seguridad adicionales, como señalización clara y equipos de protección personal.
- Accidentes laborales debidos a condiciones inseguras en la planta.
  - Medida de control: Mantener áreas de trabajo limpias y ordenadas. Instalar pasamanos, barandillas y superficies antideslizantes donde sea necesario.
  - Plan de contingencia: Realizar inspecciones periódicas de seguridad y corregir rápidamente cualquier condición insegura identificada. Establecer un procedimiento de reporte de incidentes y lesiones.
- Incendios o explosiones causados por la presencia de materiales inflamables:

- Medida de control: Implementar sistemas de detección de incendios y extintores adecuados en áreas de riesgo. Mantener una separación adecuada entre los materiales inflamables y fuentes de ignición.
- Plan de contingencia: Establecer un plan de evacuación y contar con sistemas de rociadores o aspersores automáticos. Capacitar al personal en el uso de extintores y establecer un procedimiento de respuesta a incendios.

### 3. Riesgos para la salud

- Exposición a polvos y partículas durante la manipulación de residuos:
  - Medida de control: Proporcionar equipo de protección personal adecuado, como mascarillas y gafas de seguridad. Implementar sistemas de extracción de polvo y ventilación en áreas de trabajo.
  - Plan de contingencia: Establecer procedimientos de control y monitoreo de la calidad del aire en la planta. Realizar exámenes médicos regulares para el personal expuesto.
- Riesgo de enfermedades respiratorias debido a la inhalación de sustancias peligrosas:
  - Medida de control: Proporcionar capacitación adecuada sobre los riesgos y medidas preventivas. Implementar medidas de control de ingeniería y equipos de protección personal.
  - Plan de contingencia: Establecer un procedimiento de respuesta en caso de exposición a sustancias peligrosas. Proporcionar acceso a atención médica adecuada y realizar seguimiento de los casos de enfermedad.

### 4. Riesgos operativos

- Fallos o averías en los equipos de tratamiento:

- Medida de control: Realización de mantenimiento preventivo periódico para equipos y maquinaria.
- Plan de contingencia: Tener pautas para la reparación rápida de equipos, y así minimizar la interrupción de las operaciones. Además, contar con un stock adecuado de repuestos.
- Escasez de suministros o retrasos en la adquisición de equipos y materiales:
  - Medida de control: Tener identificados posibles proveedores alternativos y establecer relaciones comerciales sólidas con ellos, además de mantener un inventario estratégico de ciertos suministros.
  - Plan de contingencia: Establecer un sistema de seguimiento y control de pedidos para anticipar y mitigar posibles retrasos.

## 5. Riesgos legales

- Incumplimiento de permisos y licencias requeridos:
  - Medidas de control: Designar a una persona responsable de supervisar y asegurar el cumplimiento de los permisos y licencias. Asimismo, mantener una documentación completa y actualizada de los permisos y licencias, y realizar renovaciones oportunas.
  - Plan de contingencia: Establecer un sistema de seguimiento para garantizar que se cumplan los requisitos y plazos establecidos por las autoridades competentes.
- Falta de cumplimiento de las normativas vigentes:
  - Medidas de control: Proporcionar capacitación continua al personal sobre las regulaciones y normas pertinentes, realizando auditorías internas periódicas para evaluar el cumplimiento de las regulaciones.

- Plan de contingencia: Establecer procedimientos claros para el reporte y manejo de incidentes o infracciones.

## 6. Riesgos financieros

- Aumento de los costos de construcción y operación:
  - Medidas de control: Realizar análisis de costos y presupuestos detallados antes y durante el proyecto.
  - Plan de contingencia: Establecer reservas financieras para hacer frente a posibles aumentos de costos y negociar contratos y acuerdos con proveedores que contengan cláusulas de ajuste de precios.
- Riesgos asociados a la viabilidad económica del proyecto a largo plazo:
  - Medidas de control: Realizar análisis financiero y evaluaciones periódicas para evaluar la viabilidad del proyecto, además de identificar oportunidades de mejora de eficiencia y reducción de costos.
  - Plan de contingencia: Mantener una reserva de capital. En caso de ser necesario, buscar financiamiento adicional.

## 7. Riesgos de reputación

- Daño a la reputación de la empresa debido a problemas ambientales o de seguridad:
  - Medidas de control: Mantener una comunicación transparente con la comunidad local y otros grupos de interés.
  - Plan de contingencia: Establecer programas de responsabilidad social y comunicar activamente las acciones y medidas tomadas para mitigar los impactos ambientales y garantizar la seguridad.

- Rechazo por parte de la comunidad local o grupos de interés:
  - Medida de control: Participar en iniciativas comunitarias y promover la educación ambiental.
  - Plan de contingencia: Demostrar los beneficios económicos y sociales de la planta de tratamiento de residuos a la comunidad local, además de mantener una comunicación abierta y continua.
  
- Dificultades para establecer relaciones con clientes o proveedores debido a preocupaciones éticas:
  - Medida de control: Establecer estándares de calidad y desempeño para atraer y mantener clientes y proveedores confiables. A su vez, implementar políticas claras de ética empresarial y responsabilidad ambiental.
  - Plan de contingencia: Realizar auditorías y evaluaciones periódicas de los proveedores para garantizar el cumplimiento de los requisitos éticos y ambientales.

### **8.1. Obligaciones legales del promotor**

La definición jurídica de la figura del promotor se recoge tanto en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción, como en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.

Atendiendo a la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), el promotor será cualquier persona, física o jurídica, pública o privada, que, individual o colectivamente, decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título. El promotor tiene como obligaciones legales:

- Ostentar sobre el solar la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él.
- Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al director de obra las posteriores modificaciones del mismo.
- Gestionar y obtener las preceptivas licencias y autorizaciones administrativas, así como suscribir el acta de recepción de la obra.
- Suscribir los seguros previstos.
  
- Entregar al adquirente, en su caso, la documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las Administraciones competentes.

De manera más específica, las obligaciones preventivas, en fase de proyecto y en fase de ejecución del promotor son las siguientes:

- El promotor debe encargar de manera expresa a un técnico competente la redacción del estudio de seguridad o estudio básico y que, en consecuencia, formalice su designación. La relevancia de esta obligación radica en la dificultad de contar con un buen documento preventivo de partida si no se garantiza que el redactor del mismo reúne los conocimientos y competencias necesarios. La designación del mismo debe ser formalizada antes del comienzo de la obra.
- El promotor debe velar porque el contenido del Estudio sea real y específico atendiendo a lo que establece el Real Decreto 1627/97 diferenciando lo que son las previsiones que debe contener el estudio de las medidas concretas y definidas que componen el plan de seguridad. Además, se debe consignar dentro del mismo una partida presupuestaria correctamente justificada.
- Atendiendo al deber anterior, el promotor debería garantizar que cuenta con el tiempo preciso para que se efectúen las citadas labores de supervisión del contenido de los estudios.

- El promotor debe designar un coordinador de seguridad y salud en fase de proyecto, que se trata de un técnico competente que obligatoriamente deberá participar en la elaboración de aquellos proyectos en los que intervenga más de un proyectista. Sus funciones en dicho caso deberán servir para coordinar la actuación de los diversos proyectistas participantes y, a través de dicha coordinación, dar cumplimiento a los principios preventivos aplicables en la fase de proyecto previstos en el Real Decreto 1627/97. Por lo tanto, el citado técnico competente debería, en los supuestos ya comentados, velar por que tanto el proyecto de construcción como su estudio de seguridad incorporen las previsiones preventivas necesarias para satisfacer los principios preventivos expuestos.
- El promotor debe garantizar la integración plena del coordinador en la dirección facultativa de la obra, a la vez que se asegura que el coordinador en cuestión cuenta con los conocimientos necesarios para ejercer su cargo y dedica a la obra el tiempo necesario para desarrollar sus funciones.
- El promotor debe velar por la aplicación de los principios preventivos en el diseño y definición del proyecto. En relación a la necesaria integración de la prevención en el proyecto, cabe señalar que la normativa asigna tal deber al proyectista, siendo preciso que éste incorpore a su proceso de diseño y de definición de soluciones constructivas los principios preventivos básicos.
- El promotor debe informar al contratista de los riesgos y medidas preventivas propias y específicas del centro de trabajo en el que se ejecutará la obra.

Aunque no sean de obligado cumplimiento, se recogen además algunos aspectos que se recomienda que el promotor aplique:

- El promotor debería exigir en los pliegos de licitación de la ejecución de la obra la puesta a disposición de un equipo de prevención cuya magnitud y dedicación a la misma se adaptará a las características técnicas y preventivas de la actuación a acometer. Así, y con carácter mínimo, el promotor debería exigir la participación de un técnico de seguridad de la obra con formación superior en prevención de riesgos laborales.



- El promotor debería exigir, bien sea directamente o a través de su coordinador, que el empresario contratista principal de la obra defina una serie de procedimientos organizativos destinados a garantizar tanto el cumplimiento de las medidas previstas en el plan de seguridad y salud como la eficacia de las mismas. Dichos procedimientos deberían integrar un sistema de autocontrol mediante el cual el empresario logre de manera simultánea cumplir sus obligaciones legales en la materia y acreditar el correcto estado de las obras.
- El promotor debería exigir a la empresa contratista principal que, independientemente de contar con un servicio de prevención ajeno para cumplir con el condicionante legal, cuente con unos “ejecutores materiales de la prevención” dentro de su propia organización. Dichos responsables deberían liderar la acción preventiva de la empresa desde dentro de la misma a la vez que encabezan la organización preventiva de la empresa en la obra.

Dado que con carácter general es el promotor de la obra el agente que pone a disposición o habilita el lugar físico en el que se va a desarrollar la misma, se debe analizar en qué casos ostenta éste, además, la facultad y el deber de organizar y gestionar las actividades productivas que se desarrollan en el citado centro de trabajo de la obra, según lo establecido en el Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.

- Cuando el promotor contrate la ejecución de una obra en locales, infraestructuras, centros de trabajo operativos e instalaciones de su propiedad resulta, el agente que debe informar e instruir en materia de prevención a los empresarios a los que encomienda la realización de trabajos dentro de los mismos es el propio promotor. Esto es así debido a que el promotor, en este caso, habilita el lugar de trabajo en el que se desarrollará la obra y, además, ostenta la titularidad del mismo.
- Cuando el promotor asume la ejecución de la obra contando además para ello con la colaboración de algún empresario. En estos casos en los que la Administración reúne

el doble papel de empresario y promotor, debe de considerarse que recae además sobre la misma la condición de empresario titular del centro de trabajo, pues no se limita a habilitar el centro de trabajo sino que además gestiona las labores que se acometan en el mismo.

Por tanto, la condición de empresario titular del centro de trabajo no puede ni debe asignarse de manera indiscriminada al promotor, pues en parte de los casos no reúne las condiciones precisas para ostentar la citada condición. Es por ello que sólo cabe identificar al promotor con el empresario titular del centro de trabajo cuando además de habilitar el propio centro de trabajo de la obra, debe gestionar y organizar la actividad en el mismo al contar con una titularidad legal efectiva sobre el citado centro de trabajo. [37]

## **9. Actuación de la planta ante cambios productivos**

Es interesante estudiar los casos en los cuales la capacidad de producción en planta no coincida con la planificación inicial. Por ello, se van a plantar dos casos en los que la productividad sea distinta a la del diseño previsto, para analizar cómo podría actuar la planta de tratamiento de RCD de modo que no se incurran pérdidas económicas y que la operación mantenga la calidad prevista.

### **9.1. Productividad mayor a la prevista**

Si la planta de tratamiento recepcionara más RCD de los previstos, una de las medidas a adoptar podría ser la de tener 2 turnos de trabajo en planta, lo que supondría contratación de nuevo personal y mayores gastos de recursos (combustible, agua, electricidad), pero incurriría en mayores ingresos.

En un supuesto en el cual se recepciona el doble de RCD de los estimados, es decir 280.000 t, los gastos de personal, de consumo de energía y suministro de agua se verían incrementados en el doble, salvo la parte de potencia eléctrica contratada en el consumo de energía. De la misma manera, los ingresos esperados serían el doble, quedando el balance económico tal que:

Concepto	Coste anual total
Cuota de financiación	100.331,20 €
Personal	369.463,98 €
Costes fijos varios	133.500,00 €
Consumo de energía	1.175.198,16 €
Suministro de agua	24.354,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>1.802.847,34 €</b>

*Tabla 2.2. Resumen de costes anuales en planta con alta productividad*

*Fuente: Elaboración propia*

Concepto	Ingreso anual total
Recepción de RCD	1.633.520,00 €
Venta de áridos reciclados	451.360,00 €
Venta de productos valorizables	712.600,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>2.797.480,00 €</b>

*Tabla 2.3. Resumen de ingresos anuales en planta con alta productividad*

*Fuente: Elaboración propia*

Si esta carga productiva fuera la norma en la planta de tratamiento, los flujos de caja serían los siguientes:

Periodo	Costes	Ingresos	Beneficio Bruto	Impuestos	Flujo de caja
1	1.802.847,34 €	2.797.480,00 €	994.632,66 €	29.838,98 €	964.793,68 €
2	1.860.538,45 €	2.886.999,36 €	1.026.460,91 €	30.793,83 €	995.667,08 €
3	1.920.075,68 €	2.979.383,34 €	1.059.307,66 €	31.779,23 €	1.027.528,43 €
4	1.981.518,10 €	3.074.723,61 €	1.093.205,50 €	32.796,17 €	1.060.409,34 €

5	2.044.926,68 €	3.173.114,76 €	1.128.188,08 €	33.845,64 €	1.094.342,44 €
6	2.110.364,34 €	3.274.654,43 €	1.164.290,10 €	34.928,70 €	1.129.361,40 €
7	2.177.895,99 €	3.379.443,38 €	1.201.547,38 €	36.046,42 €	1.165.500,96 €
8	2.247.588,67 €	3.487.585,56 €	1.239.996,90 €	37.199,91 €	1.202.796,99 €
9	2.319.511,50 €	3.599.188,30 €	1.279.676,80 €	38.390,30 €	1.241.286,49 €
10	2.393.735,87 €	3.714.362,33 €	1.320.626,46 €	39.618,79 €	1.281.007,66 €
11	2.470.335,42 €	3.833.221,92 €	1.362.886,50 €	40.886,60 €	1.321.999,91 €
12	2.549.386,15 €	3.955.885,02 €	1.406.498,87 €	42.194,97 €	1.364.303,90 €
13	2.630.966,51 €	4.082.473,34 €	1.451.506,83 €	43.545,21 €	1.407.961,63 €
14	2.715.157,44 €	4.213.112,49 €	1.497.955,05 €	44.938,65 €	1.453.016,40 €
15	2.802.042,48 €	4.347.932,09 €	1.545.889,61 €	46.376,69 €	1.499.512,93 €
16	2.891.707,84 €	4.487.065,92 €	1.595.358,08 €	47.860,74 €	1.547.497,34 €
17	2.984.242,49 €	4.630.652,03 €	1.646.409,54 €	49.392,29 €	1.597.017,25 €
18	3.079.738,25 €	4.778.832,89 €	1.699.094,65 €	50.972,84 €	1.648.121,81 €
19	3.178.289,87 €	4.931.755,55 €	1.753.465,67 €	52.603,97 €	1.700.861,70 €
20	3.279.995,15 €	5.089.571,72 €	1.809.576,58 €	54.287,30 €	1.755.289,28 €

*Tabla 2.4. Flujo de caja para 20 años con alta productividad*

*Fuente: Elaboración propia*

El VAN resultante sería de 13.046.316,77 € y el TIR de 0,90471741, por lo que la rentabilidad económica sería óptima y no habría aparentemente problemas en ampliar la carga productiva de la planta.

## **9.2. Productividad menor a la prevista**

Por otro lado, en el supuesto caso en el que a la planta de tratamiento llegaran menos RCD de los previstos, los únicos gastos que se verían reducidos serían los de combustible, agua y electricidad, pero también se incurriría en menores ingresos.

Si se recepcionaran la mitad de RCD de los estimados (70.000 t), los gastos de consumo de energía y suministro de agua se verían reducidos a la mitad, salvo la parte de potencia eléctrica contratada. De la misma manera, los ingresos esperados se verían reducidos a la mitad, obteniéndose un balance económico tal que:

Concepto	Coste anual total
Cuota de financiación	100.331,20 €
Personal	184.731,99 €
Costes fijos varios	133.500,00 €
Consumo de energía	320.983,77 €
Suministro de agua	6.088,50 €
<b>TOTAL</b>	<b>745.635,46 €</b>

*Tabla 2.5. Resumen de costes anuales en planta con baja productividad*

*Fuente: Elaboración propia*

Concepto	Ingreso anual total
Recepción de RCD	408.380,00 €
Venta de áridos reciclados	112.840,00 €
Venta de productos valorizables	178.150,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>699.370,00 €</b>

*Tabla 2.6. Resumen de ingresos anuales en planta con baja productividad*

*Fuente: Elaboración propia*

Si esta carga productiva se mantuviera en el tiempo para la planta de tratamiento, los flujos de caja serían los siguientes:

Periodo	Costes	Ingresos	Beneficio Bruto	Impuestos	Flujo de caja
1	745.635,46 €	699.370,00 €	- 46.265,46 €	- 1.387,96 €	- 44.877,49 €
2	769.495,79 €	721.749,84 €	- 47.745,95 €	- 1.432,38 €	- 46.313,57 €
3	794.119,65 €	744.845,83 €	- 49.273,82 €	- 1.478,21 €	- 47.795,61 €
4	819.531,48 €	768.680,90 €	- 50.850,58 €	- 1.525,52 €	- 49.325,06 €
5	845.756,49 €	793.278,69 €	- 52.477,80 €	- 1.574,33 €	- 50.903,47 €
6	872.820,70 €	818.663,61 €	- 54.157,09 €	- 1.624,71 €	- 52.532,38 €
7	900.750,96 €	844.860,84 €	- 55.890,12 €	- 1.676,70 €	- 54.213,41 €
8	929.574,99 €	871.896,39 €	- 57.678,60 €	- 1.730,36 €	- 55.948,24 €
9	959.321,39 €	899.797,08 €	- 59.524,32 €	- 1.785,73 €	- 57.738,59 €
10	990.019,68 €	928.590,58 €	- 61.429,09 €	- 1.842,87 €	- 59.586,22 €
11	1.021.700,31 €	958.305,48 €	- 63.394,83 €	- 1.901,84 €	- 61.492,98 €
12	1.054.394,72 €	988.971,26 €	- 65.423,46 €	- 1.962,70 €	- 63.460,76 €
13	1.088.135,35 €	1.020.618,34 €	- 67.517,01 €	- 2.025,51 €	- 65.491,50 €
14	1.122.955,68 €	1.053.278,12 €	- 69.677,56 €	- 2.090,33 €	- 67.587,23 €
15	1.158.890,26 €	1.086.983,02 €	- 71.907,24 €	- 2.157,22 €	- 69.750,02 €
16	1.195.974,75 €	1.121.766,48 €	- 74.208,27 €	- 2.226,25 €	- 71.982,02 €
17	1.234.245,94 €	1.157.663,01 €	- 76.582,93 €	- 2.297,49 €	- 74.285,44 €
18	1.273.741,81 €	1.194.708,22 €	- 79.033,59 €	- 2.371,01 €	- 76.662,58 €
19	1.314.501,55 €	1.232.938,89 €	- 81.562,66 €	- 2.446,88 €	- 79.115,78 €
20	1.356.565,60 €	1.272.392,93 €	- 84.172,67 €	- 2.525,18 €	- 81.647,49 €

*Tabla 2.7. Flujo de caja para 20 años con baja productividad*

*Fuente: Elaboración propia*

El VAN resultante sería de -1.763.773,42 €, por lo que el proyecto de inversión generaría pérdidas y debería ser cancelado.

Para paliar esto, si esta fuera la capacidad productiva mayoritaria en la planta, se debería reducir el personal, ya que no se precisaría tanta mano de obra. A su vez, una opción interesante sería instalar un sistema de paneles solares que cubriera la mitad del consumo eléctrico de la planta. Esta instalación se consideraría como inversión inicial y se estima un precio de 250.000 €. [38] Con estos cambios aplicados, el resumen económico quedaría tal que:

Concepto	Coste anual total
Cuota de financiación	100.331,20 €
Personal	120.586,23 €
Costes fijos varios	133.500,00 €
Consumo de energía	193.464,32 €
Suministro de agua	6.088,50 €
<b>TOTAL</b>	<b>553.970,25 €</b>

*Tabla 2.8. Resumen de costes anuales en planta con baja productividad y cambios aplicados*

*Fuente: Elaboración propia*

Concepto	Ingreso anual total
Recepción de RCD	408.380,00 €
Venta de áridos reciclados	112.840,00 €
Venta de productos valorizables	178.150,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>699.370,00 €</b>

*Tabla 2.9. Resumen de ingresos anuales en planta con baja productividad y cambios aplicados*

*Fuente: Elaboración propia*

Si esta carga productiva se mantuviera en el tiempo para la planta de tratamiento, los flujos de caja serían los siguientes:

Periodo	Costes	Ingresos	Beneficio Bruto	Impuestos	Flujo de caja
1	553.970,25 €	699.370,00 €	145.399,75 €	4.361,99 €	141.037,75 €
2	571.697,30 €	721.749,84 €	150.052,54 €	4.501,58 €	145.550,96 €
3	589.991,62 €	744.845,83 €	154.854,22 €	4.645,63 €	150.208,59 €
4	608.871,35 €	768.680,90 €	159.809,55 €	4.794,29 €	155.015,27 €
5	628.355,23 €	793.278,69 €	164.923,46 €	4.947,70 €	159.975,76 €
6	648.462,60 €	818.663,61 €	170.201,01 €	5.106,03 €	165.094,98 €
7	669.213,40 €	844.860,84 €	175.647,44 €	5.269,42 €	170.378,02 €
8	690.628,23 €	871.896,39 €	181.268,16 €	5.438,04 €	175.830,12 €
9	712.728,33 €	899.797,08 €	187.068,74 €	5.612,06 €	181.456,68 €
10	735.535,64 €	928.590,58 €	193.054,94 €	5.791,65 €	187.263,29 €
11	759.072,78 €	958.305,48 €	199.232,70 €	5.976,98 €	193.255,72 €
12	783.363,11 €	988.971,26 €	205.608,15 €	6.168,24 €	199.439,90 €
13	808.430,73 €	1.020.618,34 €	212.187,61 €	6.365,63 €	205.821,98 €
14	834.300,51 €	1.053.278,12 €	218.977,61 €	6.569,33 €	212.408,28 €
15	860.998,13 €	1.086.983,02 €	225.984,89 €	6.779,55 €	219.205,35 €
16	888.550,07 €	1.121.766,48 €	233.216,41 €	6.996,49 €	226.219,92 €
17	916.983,67 €	1.157.663,01 €	240.679,34 €	7.220,38 €	233.458,96 €
18	946.327,15 €	1.194.708,22 €	248.381,07 €	7.451,43 €	240.929,64 €
19	976.609,62 €	1.232.938,89 €	256.329,27 €	7.689,88 €	248.639,39 €
20	1.007.861,13 €	1.272.392,93 €	264.531,80 €	7.935,95 €	256.595,85 €

*Tabla 2.10. Flujo de caja para 20 años con baja productividad y cambios aplicados*

*Fuente: Elaboración propia*

El VAN resultante sería de 713.274,36 € y el TIR de 0,113154586, por lo que la rentabilidad económica con estas variaciones aplicadas sería adecuada y se podría adaptar la planta a esa carga productiva sin incurrir en grandes pérdidas.



## Referencias

[35]

Parlamento Europeo (2023). *Economía circular: definición, importancia y beneficios*.

Recuperado de:

<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios#:~:text=La%20econom%C3%ADa%20circular%20es%20un,de%20los%20productos%20se%20extiende.>

[36]

Pérez, A. (2021). *¿Cuáles son las etapas de un proyecto?* Recuperado de:

<https://www.obsbusiness.school/blog/cuales-son-las-etapas-de-un-proyecto-te-lo-contamos-en-esta-infografia>

[37]

Arévalo Sarrate, C. (2010). *Análisis de las Obligaciones Legales del Promotor Público en las Obras de Construcción*. Recuperado de:

<https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/1ACB1EB1-4970-4D5D-AA95-D82A84F2254B/156586/ObligacionesPromotorGobiernoNav.pdf>

[38]

Autosolar Energía y Servicios S.L.U. (2019). *¿Cuánto cuesta una instalación fotovoltaica?* Recuperado de:

<https://autosolar.es/mi-experiencia-placas-solares/cuanto-cuesta-una-instalacion-fotovoltaica#:~:text=Una%20instalaci%C3%B3n%20fotovoltaica%2C%20de%20media,%C3%A1cilmente%20de%20los%2050.000%E2%82%AC.>



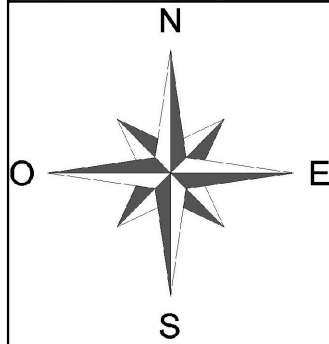
### **III. PLANOS**

# **Índice de planos**

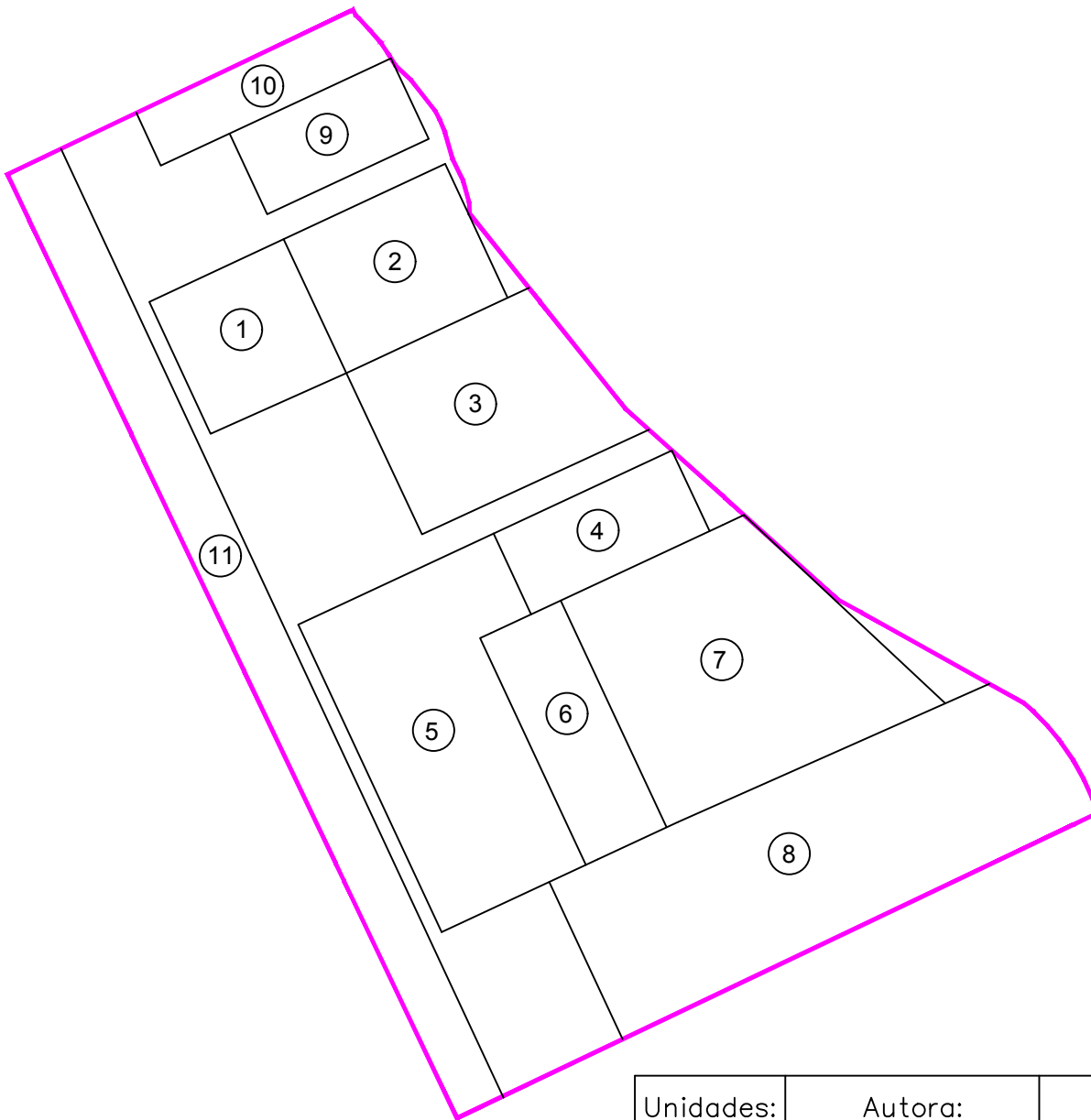
Plano 1. Plano de la Situación de la Planta de Tratamiento de RCD

Plano 2. Plano de la Planta de Tratamiento de RCD separada por áreas

Plano 3. Plano de la Planta de Tratamiento de RCD general



Unidades:	Autora:	Patricia Barbero Dorta	ULL UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA
m	Revisores:	Ricardo Mesa Cruz Nuria Regalado Rodríguez	
Escala:	Fecha:	Julio 2023	Nº de Plano:
1:2000	Empresa contratante:	Escuela de Doctorado y Estudios de Posgrado	
Plano de la Situación de la Planta de Tratamiento de RCD			1



Nº	ÁREA
①	Área de recepción de residuos
②	Área de descarga y clasificación
③	Área de acopio intermedio
④	Área de pretratamiento
⑤	Área de tratamiento primario
⑥	Cabina de triaje
⑦	Área de tratamiento secundario
⑧	Área de acopio de productos finales
⑨	Área de oficinas, vestuarios y comedor
⑩	Aparcamiento
⑪	Acceso para vehículos

Unidades:	Autora:	Patricia Barbero Dorta	ULL UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA
m	Revisores:	Ricardo Mesa Cruz Nuria Regalado Rodríguez	
Escala:	Fecha:	Julio 2023	
1:1250	Empresa contratante:	Escuela de Doctorado y Estudios de Posgrado	Nº de Plano:
Plano de la Planta de Tratamiento de RCD separada por áreas			2



Nº	ÁREA
①	Báscula
②	Área de descarga y clasificación
③	Contenedor
④	Martillo hidráulico
⑤	Tolva de alimentación
⑥	Trituradora de mandíbulas
⑦	Separador magnético
⑧	Criba vibratoria
⑨	Soplador separador
⑩	Cinta transportadora
⑪	Acceso para vehículos
⑫	Edificio de oficinas, vestuarios y comedor
⑬	Aparcamiento

Unidades:	Autora:	Patricia Barbero Dorta	ULL UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA
m	Revisores:	Ricardo Mesa Cruz Nuria Regalado Rodríguez	
Escala:	Fecha:	Julio 2023	Nº de Plano:
1:1250	Empresa contratante:	Escuela de Doctorado y Estudios de Posgrado	
Plano de la Planta de Tratamiento de RCD general			3