

De residuo a recurso: nuevas aplicaciones de los RCD en arquitectura



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



TRABAJO DE FIN DE GRADO

Adriana Martínez Blanch

De residuo a recurso: nuevas aplicaciones de los RCD en arquitectura

De residuo a recurso: nuevas aplicaciones de los RCD en arquitectura

Estudiante

Adriana Martínez Blanch

Expediente 20255

Tutora

Esther Moreno Fernández

Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas

Aula TFG 1

Esther Moreno Fernández, *coordinadora*

Raquel Álvarez Rodríguez, *adjunta*

Otoño 2025

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

Universidad Politécnica de Madrid

Gracias a mi tutora, Esther, por su ayuda constante y compromiso durante toda la elaboración de este trabajo, así como a Nuria González por su apoyo en los trabajos de laboratorio.

Cabe destacar un agradecimiento a las plantas de tratamiento de RCD que dedicaron su tiempo a enseñarme sus instalaciones y proporcionar información esencial para el desarrollo de este TFG: Carmelo Martín del centro de agrupamiento de Buitrago de Lozoya, Marco López Mayoral de la planta de tratamiento integral de Navalcarnero, José Ángel Antolín Santillán de TEC REC, Ángel García de HORGESOL y, por último, Reciclajes Gadarai.

A mis abuelos.

Índice

Resumen

1. Introducción

- 1.1. Motivación
- 1.2. Objetivos
- 1.3. Metodología

2. Estado de la cuestión

- 2.1. Contexto
- 2.2. Normativa
 - 2.2.1. Nivel europeo
 - 2.2.2. Nivel estatal
 - 2.2.3. Nivel autonómico (Comunidad de Madrid)

3. Residuos de construcción y demolición (RCD)

- 3.1. Clasificación de los RCD
 - 3.1.1. Clasificación por origen
 - 3.1.2. Clasificación por naturaleza
 - 3.1.3. Clasificación autonómica
 - 3.1.4. Clasificación europea
- 3.2. Tratamiento de los RCD
 - 3.2.1. Fracciones de residuo
 - 3.2.2. Plantas en la Comunidad de Madrid
 - 3.2.3. Tipos de plantas
 - 3.2.4. Flujos y procesos del residuo
 - 3.2.5. Maquinaria de tratamiento
- 3.3. Visitas a plantas de tratamiento
 - 3.3.1. Plantas públicas visitadas
 - 3.3.2. Plantas privadas visitadas

3.4. Aplicaciones de los RCD

4. Casos de estudio: proyectos arquitectónicos destacados

- 4.1. Viviendas sociales 2104
- 4.2. Parque Venecia
- 4.3. Museo de diseño de Gante

5. Residuos cerámicos

- 5.1. Fabricación de la cerámica
- 5.2. Tratamiento de los residuos cerámicos y aplicación

6. Proceso experimental

- 6.1. Materiales y métodos
- 6.2. Caracterización del nuevo material compuesto
 - 6.2.1. Ensayos hídricos
 - 6.2.2. Ensayos mecánicos
 - 6.2.3. Conclusiones generales de las propuestas

7. Análisis crítico y conclusiones

8. Futuras líneas de investigación

9. Bibliografía

- 9.1. Referencias bibliográficas
- 9.2. Bibliografía gráfica (imágenes)
- 9.3. Bibliografía gráfica (tablas)

Anexo

Lista Europea de residuos (Códigos LER)

Autorización para la gestión de residuos no peligrosos: Residuos de construcción y demolición (RCD)

Contrato de tratamiento de residuos (CTR)

Documento de identificación de residuos sin identificación previa (DI)

Constitución española. Capítulo tercero. De los principios rectores de la política social y económica.

Artículo 45

- 1. Todos tienen el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el **deber de conservarlo**.*
- 2. Los poderes públicos velarán por la **utilización racional de todos los recursos naturales**, con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva.*

Resumen

El reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) se ha convertido en una actividad esencial para mitigar el impacto ambiental ocasionado por el sector de la construcción. Esta industria es responsable de gran parte del gasto energético y producción de CO₂ a nivel mundial, afectando a la sociedad desde múltiples dimensiones: social, ambiental y económica. Por tanto, lograr una economía circular de los recursos no solo se ha convertido en una necesidad, sino también, en una responsabilidad que los arquitectos y las arquitectas tienen para lograr reducir los impactos ambientales mediante el empleo de recursos preexistentes.

El estudio realizado en este Trabajo de Fin de Grado, pretende contribuir a mejorar la situación extrema de crisis climática en la que se encuentra el planeta actualmente. La investigación analiza el marco normativo actual y los procesos de gestión y tratamiento para lo que se han realizado visitas a plantas del sector con diferentes procesos de gestión y modelos productivos [Fig. 1.01]. Asimismo, se han revisado casos de estudio y proyectos arquitectónicos que integran los RCD con el fin de demostrar que es posible lograr una economía circular dentro de la arquitectura.

La investigación del trabajo centra el foco en los residuos cerámicos. A partir del análisis de la información, se ha desarrollado un nuevo material innovador integrando residuos cerámicos y cuyas propiedades físico-mecánicas se han validado mediante ensayos de laboratorio. Toda la información recopilada sirve de base para elaborar una propuesta de desarrollo de un material empleando estos residuos. Se han determinado sus propiedades mediante ensayos de laboratorio.

El estudio concluye con un análisis crítico sobre la situación actual de los RCD y se establecen conclusiones de todo lo estudiado.



Fig 1.01. Escombros de obra con retroexcavadora

Palabras clave

Residuos de Construcción y Demolición (RCD) · Reutilización de recursos · Economía circular · Valorización · Residuos cerámicos

1. Introducción

1.1. Motivación

El origen de este trabajo surge de una experiencia personal durante mi estancia de Erasmus en la Universidad KU Leuven en Bélgica. Durante ese período tiempo, tuve la oportunidad de participar en una clase con el estudio belga de arquitectura, BC Architects and Studies. Este estudio se centra en la arquitectura circular y de proximidad, fomentando el uso de recursos locales y técnicas tradicionales de arquitectura. Fue ahí donde aprendí el concepto de “minería urbana” que consiste en entender y recuperar los residuos urbanos como recursos para desarrollar nueva arquitectura. Mi proyecto consistió en la recuperación de tejas cerámicas de un edificio degradado y prácticamente abandonado, con el objetivo de proyectar un pabellón temporal. Investigué diferentes formas de reutilización tanto manteniendo la forma de las tejas, como experimentando la posibilidad de fabricar un mortero que incluyese residuo en polvo. Esta experiencia despertó mi interés por los residuos de construcción y demolición, y transformó mi forma de entender la arquitectura y la sostenibilidad.

Asimismo, este TFG está motivado por la urgencia climática a la que se enfrenta el planeta actualmente, así como por la gran cantidad de residuos que se generan en el sector de la construcción. En este contexto, considero que la reutilización de los RCD no es una opción sino una responsabilidad ética. Con este TFG espero aportar una visión que contribuya a crear una arquitectura más consciente del impacto ambiental que genera y, además, concienciar sobre la importancia de transformar el ciclo de vida de los materiales, logrando que los residuos de hoy sean materia prima en la arquitectura del mañana.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es **contribuir a la reducción del impacto ambiental del sector de la edificación** mediante la valorización de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como recurso constructivo. Para lograr este propósito, se pueden establecer los siguientes objetivos específicos:

Analizar la situación y el marco normativo de los RCD en la arquitectura contemporánea, identificando sus potenciales aplicaciones y comparando los procesos de gestión actuales.

Investigar las posibilidades de aprovechamiento de los residuos cerámicos y profundizar en su integración dentro de un modelo de economía circular.

Desarrollar una propuesta de material innovador que incorpore residuos cerámicos de diferentes procedencias.

Caracterizar el material resultante mediante ensayos de laboratorio y evaluar sus propiedades físico-mecánicas para determinar su viabilidad técnica y posible aplicabilidad real en el sector de la construcción.

Definir de manera precisa el proceso de gestión de los residuos de construcción, desde su generación en obra hasta su traslado y tratamiento en planta, identificando los puntos débiles que puedan afectar a su eficacia.

1.3. Metodología

La metodología de investigación que se ha empleado para este Trabajo de Fin Grado se ha dividido en cuatro fases:

1. **Estudio y análisis de la cuestión.** Se comienza la investigación del trabajo a través de una selección bibliográfica y revisión de la normativa aplicada vigente en materia de RCD. Una vez establecido el contexto actual, se procede con una investigación sobre los distintos tipos de RCD y, finalmente, un estudio de los procesos a los que se someten los residuos en las plantas de tratamiento y reciclaje. Con todo esto, se continúa seleccionando y documentando diferentes aplicaciones de los RCD, y ejemplificando con varios casos de estudio de arquitectura real que incorporan los RCD.
2. **Propuesta experimental.** A partir de toda la información recopilada previamente, se desarrolla un nuevo material que incluya residuos cerámicos, definiendo su composición, procesos, criterios de incorporación de residuos, etc. Posteriormente, se analizan las propiedades del nuevo material mediante ensayos de laboratorio.
3. **Estudio de resultados.** Se evalúa la viabilidad y beneficios de la propuesta desarrollada, desde el punto de vista de la arquitectura sostenible. Con esto, se elabora una guía metodológica de aplicación con la intención de facilitar el uso de residuos cerámicos en la arquitectura real.
4. **Conclusión.** Por último, se analiza críticamente la viabilidad real de incorporar los RCD y, concretamente, los residuos cerámicos en construcción. Se exponen las limitaciones encontradas durante el análisis de la cuestión, así como a la hora de fabricar el nuevo material. Con todo esto, se elaboran unas conclusiones críticas y se establecen futuras líneas de investigación de la cuestión.

2. Estado de la cuestión

2.1. Contexto

En la actualidad, los residuos de construcción y demolición (RCD) suponen el mayor flujo de desechos a nivel mundial. Los RCD representan entre un 25% y un 30% del total mundial de residuos generados, superando la cifra de 3 billones de toneladas anuales. [38] Constituyen un gran problema ambiental y de contaminación en muchos países, causado por su gestión inadecuada en muchos casos, así como por su bajo porcentaje de reciclaje y reaprovechamiento.

En la última década, se observa que la cantidad de residuos generados por el sector de la construcción a nivel europeo va en aumento, acercándose a la alarmante cifra de 40 millones de toneladas anuales en los últimos tiempos. [17] Esto sumado al contexto actual de urgencia climática, la gestión de RCD se ha convertido en un gran reto para la arquitectura. [Fig. 2.01]

Generación de residuos de construcción, UE 2004-2022

(millones de toneladas)

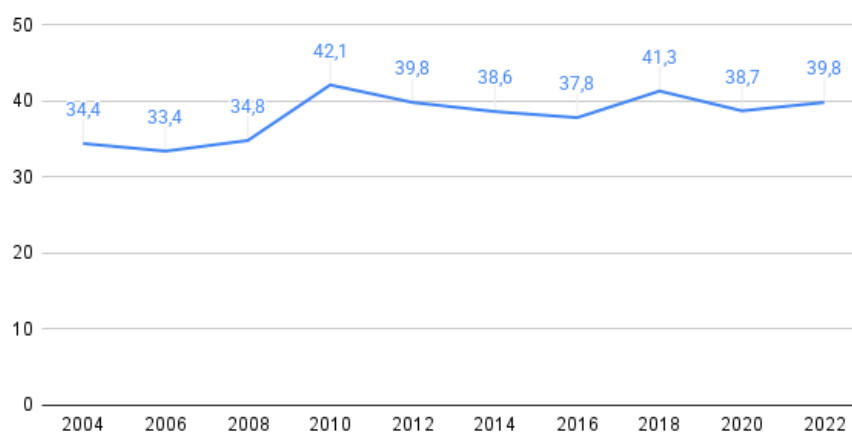


Fig 2.01. Gráfica generación de RCD en la UE

	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	Evolución 2022/2004 (%)
Total	779,5	789,9	760,5	758,7	758,3	769,0	784,6	812,9	776,3	794,9	2,0
Agricultura, silvicultura y pesca	62,3	56,7	45,5	20,2	20,4	17,7	19,7	19,4	20,7	22,3	-64,3
Minería y cantería	10,4	7,1	10,0	7,9	7,5	7,7	6,9	8,1	7,5	8,0	-23,0
Fabricación	239,9	225,8	216,8	190,5	176,4	176,0	179,0	179,8	166,6	166,3	-30,7
Energía	85,4	93,3	84,1	78,6	88,8	87,4	74,7	75,7	45,7	59,0	-31,0
Residuos/agua	75,2	83,3	98,9	129,9	155,0	180,7	196,8	208,5	212,4	216,1	187,2
Construcción	34,4	33,4	34,8	42,1	39,8	38,6	37,8	41,3	38,7	39,8	15,6
Otros sectores	97,7	111,2	88,7	103,5	89,6	85,1	88,5	94,0	89,0	90,9	-7,0
Hogares	174,1	179,2	181,6	186,0	180,7	175,9	181,2	186,1	195,7	192,6	10,6

Fig 2.02. Toneladas generadas por sectores en la UE

En la Unión Europea, el sector de la construcción constituye el mayor contaminante en términos de residuos. Dentro de los diferentes sectores generadores de residuos, la construcción supone entre un 35-40% del total de residuos generados en el UE anualmente. En el año 2022, supusieron un 38,4% del total, seguido por el sector de la minería y cantería, la fabricación y el agua. [17] Gran parte de los residuos procedentes de la minería y cantería, así como de la construcción, son clasificados como residuos minerales importantes. [Fig. 2.03]

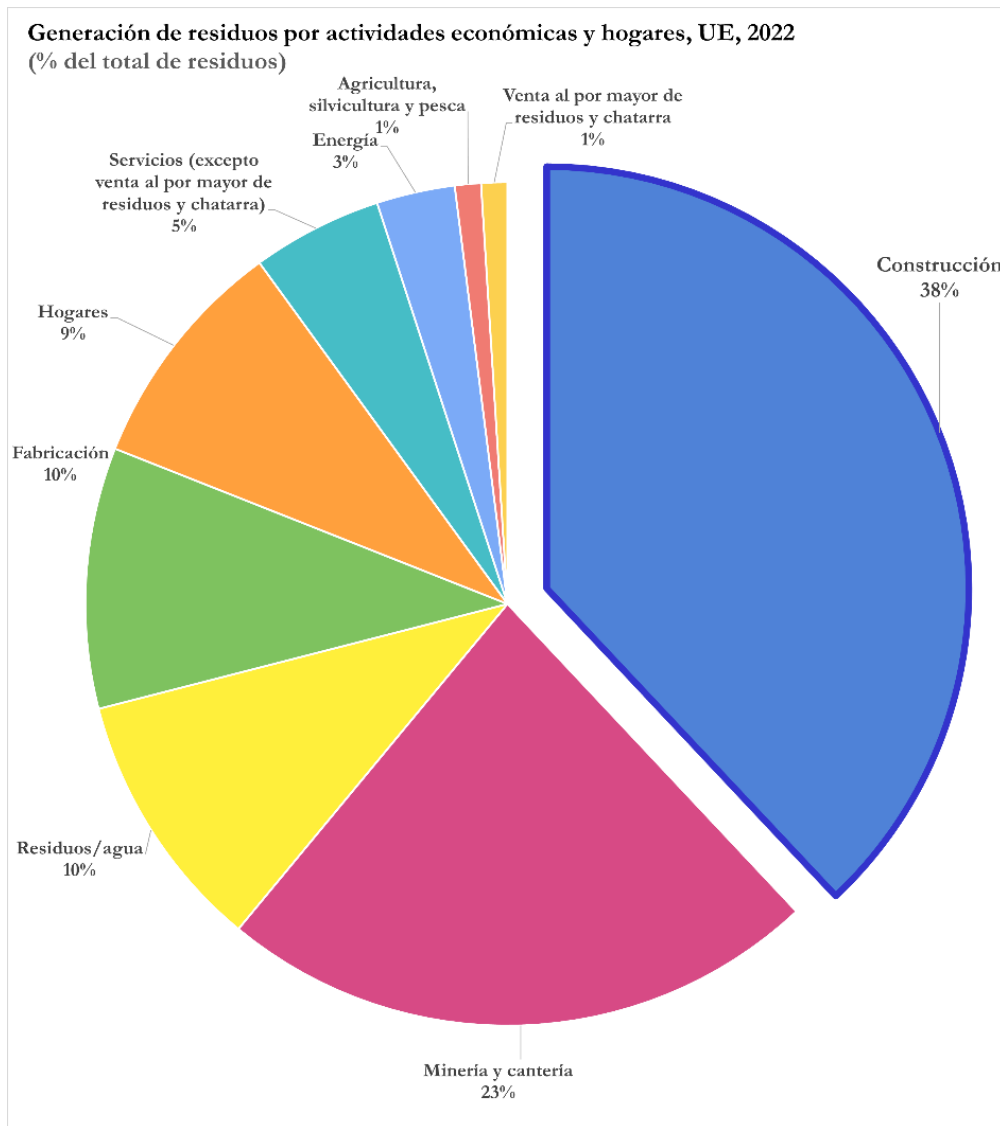


Fig 2.03. Gráfico generación de residuos por actividad económica

Un porcentaje elevado de estos residuos minerales importantes se produce en países caracterizados por importantes actividades mineras y de extracción, como puede ser el caso de Suecia, Finlandia o Rumania. Por otro lado, puede ser causado por actividades de construcción y demolición en países como Luxemburgo, donde los residuos minerales importantes suponen entre un 80% y 90% del total de residuos generados.

En España, el sector de la construcción es uno de los más relevantes para la economía, suponiendo un 5,3% del PIB español en el año 2024 según el INE. [49] Esta cifra es muy reducida en comparación a la época anterior a la crisis del 2008, donde la construcción se convirtió en la locomotora de la actividad productiva del país, alcanzando más del 10% del PIB. A pesar de eso, este sector sigue siendo uno de los pilares fundamentales para la economía española ya que genera muchos puestos de trabajo y mueve a muchas otras industrias dentro de él, como pueden ser el comercio de materiales, el transporte, la ingeniería, la arquitectura, etc. Sin embargo, el sector de la construcción esconde otra cara, la de su huella ecológica.

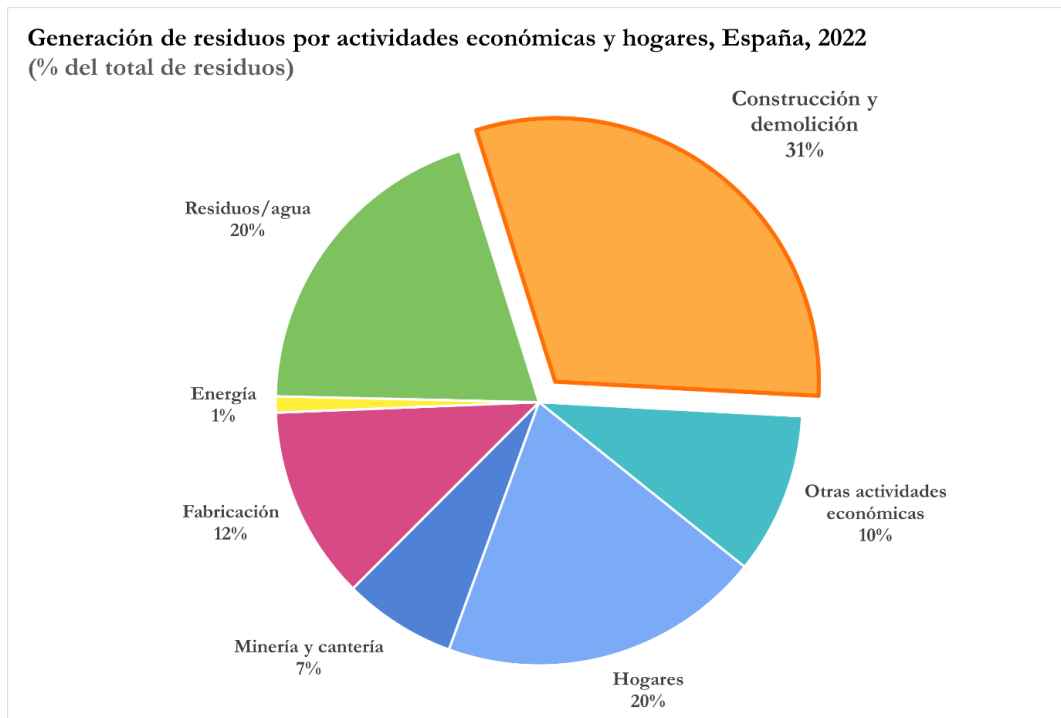


Fig 2.04. Gráfico generación de residuos por actividad económica en España

Se generan más de 33 millones de toneladas al año de residuos en España que provienen de la construcción y la demolición. La construcción es el sector que más volumen de residuos produce en España según datos del Eurostat, alcanzando un 31% entre todas las actividades económicas [Fig. 2.04]. Esta enorme producción de residuos genera un gran impacto en el medio ambiente y en el suelo. Por tanto, se trata de una gran problemática que no debe ser ignorada. [17]

Según datos obtenidos del INE, se generaron 14,5 millones de toneladas de RCD no peligrosos en el año 2020 en España [Fig. 2.05]. De esa cifra, se valorizaron 10,5 millones de toneladas, es decir, el 73% [Fig. 2.06]. Los procesos de valorización incluyen la reutilización, el reciclado o el reaprovechamiento de los RCD para otro uso, evitando que su destino final fuese el vertedero. En otras palabras, aproximadamente 3 de cada 4 toneladas de RCD no peligrosos fueron sometidos a tratamientos de reciclaje o reutilización. [39]

Dado este contexto al que se enfrenta el planeta en la actualidad, es importante integrar la gestión de los RCD desde las fases de diseño de los edificios. La falta de planificación sobre los RCD puede conllevar grandes impactos ambientales, además de costes ocultos, como pueden ser el transporte de más volumen de residuos del necesario, menor porcentaje de residuos reciclables, riesgo de sanciones si se incumple alguna normativa, etc.

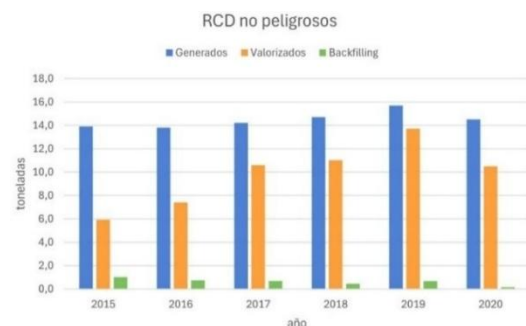


Fig 2.05. Gráfico generación de RCD no peligrosos en España



Fig 2.06. Gráfico porcentaje de residuos valorizados en España

2.2. Normativa

La implementación de normativas y directrices que regulen la gestión de los RCD es fundamental para garantizar su desarrollo. Actualmente, existen numerosas normativas que regulan los residuos desde el marco general europeo, hasta el nivel estatal y, por último, autonómico.

2.2.1 Nivel europeo

Comenzando desde las directrices más amplias, la Unión Europea establece diversos planes y directivas en relación con la economía circular y los residuos. Por ejemplo, la Agenda 2030, aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre de 2015, establece 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS). La reutilización de los RCD se alinea con los siguientes [Fig 2.07]:[4]



Fig 2.07. Rueda ODS



Fig 2.08. ODS.

Además de los ODS, la UE ha programado diferentes planes en los últimos años para fomentar la economía circular dentro de los países de Unión. Como son:

- **Plan de Acción para una economía circular en Europa (2015)**
- **Paquete legislativo de economía circular (2018)**
- **Plan de Acción sobre la Economía Circular, el cual incluye el Pacto Verde Europeo (2020)**

2.2.2 Nivel estatal

La normativa española en materia de residuos se compone de una legislación básica estatal y una legislación autonómica de desarrollo específica a cada comunidad autónoma. Estas normativas estatales sobre los RCD pretenden fomentar la reutilización, reciclaje y valorización frente al vertido a nivel estatal. Los instrumentos normativos principales que reglan los residuos en España son:

- **Real decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los RCD.** Establece medidas concretas que regulan la producción y gestión de los RCD durante diferentes fases del proceso de construcción. Este decreto determina las obligaciones del productor y del poseedor de RCD, fijando condiciones de entrega y recepción, requisitos para la valorización y reciclaje, etc. Asimismo, establece la obligación de redactar un “Plan de Gestión de RCDs”, el cual debe incluir: [50]

- Identificación de los residuos.
- Estimación de la cantidad que se generará (en toneladas y m³).
- Medidas de separación “in situ”.
- Previsión de reutilización en la misma obra u otros emplazamientos (indicando cuales).
- Operaciones de valorización “in situ”.
- Destino previsto para los residuos.
- Instalaciones para el almacenamiento, manejo u otras operaciones de gestión.
- Valoración del coste previsto para la gestión de los RCDs, que formará parte del presupuesto del proyecto.

Este decreto aplica a todos los agentes participantes en la obra de construcción, desde el promotor, hasta los proyectistas, contratistas y gestores de RCDs.

- **Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.** Aplica a todos los traslados de RCD entre comunidades autónomas, ya sea para su valorización, eliminación, tratamiento o almacenamiento. Incluye las obligaciones de cada parte implicada en el traslado, así como los documentos necesarios. [51]
- **Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.** Esta nueva ley es una revisión de la anterior Ley 22/2011 sobre residuos y suelos contaminados, a la vez que incorpora a la normativa española, lo establecido por la Directiva 2018/851 de la UE y en el Paquete de Economía Circular. Entre los principales aspectos que incluye esta ley se encuentran: prevenir la generación de residuos, fomentar la reutilización y el reciclaje, reducir progresivamente el porcentaje de vertido, la responsabilidad ampliada del productor (RAP), nuevas infracciones y sanciones, revisión del ámbito de aplicación de la ley, medidas fiscales para incentivar la economía circular, etc. [36]
- **Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos.**

Por otro lado, se han llevado a cabo diferentes planes en la última década con la intención de fomentar la economía circular en España. Entre estos se encuentran: [46]

- **Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (2016-2022) (PEMAR)** el cual establece nuevos objetivos y orientaciones en lo relativo a los RCD
- **Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (2017-2024)**
- **Estrategia Española de Economía Circular (España Circular 2030)**
- **Plan de Acción de Economía Circular 2021-2023**

2.2.3 Nivel autonómico (Comunidad de Madrid)

Por último, cada comunidad autónoma presenta unas legislaciones específicas para la gestión y reciclaje de los RCD. Para este TFG, la investigación se centra en la Comunidad de Madrid donde se han incorporado varias normativas aplicadas que pretenden sustituir el modelo obsoleto de economía lineal de extracción, producción y desecho, por un modelo de economía circular.

- **Orden 2726/2009, de 16 de julio, por la que se regula la gestión de los RCD en la Comunidad de Madrid.** Norma autonómica vigente que aplica la norma sobre producción y gestión de RCD aprobada en el Real Decreto 105/2008, mencionado anteriormente. Esta orden distingue entre los residuos de Nivel I y de Nivel II, como se verá más adelante en el apartado de “clasificación”. Asimismo, establece los deberes y responsabilidades del productor y poseedor de RCD. Primero, el productor se encuentra obligado a entregar los residuos a un gestor autorizado para su tratamiento y valorización de los RCD. Después, el gestor de RCD debe priorizar su reutilización y su reciclaje. En el caso de que no fuese posible, se evaluarían otras valorizaciones y, por último, su eliminación. [41]
- **Ley 1/2024, de 17 de abril, de Economía Circular de la Comunidad de Madrid.** Dadas las normativas aprobadas por la Unión Europea y a nivel estatal, esta ley establece el marco normativo general para la Comunidad de Madrid. Su objetivo principal es lograr un modelo productivo circular dentro de la Comunidad. Con esto, incluye los siguientes objetivos específicos: [34]
 - Favorecer una utilización más eficiente y sostenible de los recursos.
 - Prolongar la vida útil de los productos.
 - Prevenir y reducir la generación de residuos.
 - Promover la valorización de los residuos para evitar el vertido.
 - Fomentar la reintroducción de los residuos como nuevos recursos en el ciclo productivo.

Con esto, se pretende lograr un desarrollo socioeconómico sostenible que impulse la creación de empleo, así como la preservación y regeneración del medio ambiente y los ecosistemas.

Uno de los aspectos fundamentales de esta ley para los RCD es que establece medidas ambientales a incluir en los contratos de obras públicas. Se obliga a incluir un porcentaje mínimo del 10% de áridos reciclados procedentes de RCD o de residuos inertes, sobre el total de áridos utilizados en el proyecto. (“*Artículo 12. Medidas ambientales de las prescripciones técnicas de los contratos.*”) [34]

Por otro lado, esta ley introduce del concepto de “cadena de valor” y fija las cadenas de valor prioritarias para establecer medidas específicas a cada una de ellas y favorecer los modelos de producción circulares. La cadena de valor de la construcción, edificación e infraestructuras (“*Artículo 21.*”) establece que la Administración de la Comunidad de Madrid debe fomentar la elección de alternativas constructivas que incluyan materiales reutilizados, procedentes de residuos o materias primas secundarias. Además, se promueve un estudio de gestión de RCD que incluya la separación de los residuos en obra. [34]

Se deberá incluir al menos un centro de recogida de residuos no peligrosos en los nuevos sectores de suelo industrial. Esto deberá ser contemplado a la hora de realizar los planes urbanísticos municipales.

- **Decreto 110/2024, de 11 de diciembre, por el que se regulan los requisitos de utilización y usos admitidos de áridos reciclados procedentes de operaciones de valorización de RCD en la Comunidad de Madrid.** El objetivo principal de este decreto es conseguir una utilización eficiente y sostenible de los residuos, fomentando la disminución de estos. Se establecen condiciones y usos admitidos para el empleo de áridos reciclados procedentes de actividades de valorización de RCD. Se incluyen requisitos para diferentes aplicaciones de los áridos reciclados, como se indica en el “*Anexo III*”: [12]

a) Firmes:

- Capas de material granular no ligado.
- Material granular con ligantes hidráulicos.
- Pavimentos de hormigón.
- Mezclas bituminosas.

b) Capas de rodadura, capas intermedias o capas base para viales

c) Terraplenes y rellenos:

- Terraplenes.
- Rellenos de zanjas.
- Camas de apoyo de tuberías.
- Trasdós de obras de fábrica.
- Restauración de espacios degradados y/o afectados por actividades mineras.

d) Hormigón: [12]

Tipo de hormigón	Límite de sustitución de árido reciclado (%)
Hormigón en masa estructural (HM) y armado estructural (HA) para edificaciones, carreteras y trabajos de obras públicas.	20% en peso sobre el contenido
Hormigón de limpieza para edificaciones, carreteras y trabajos de obras públicas.	100%
Hormigón No Estructural para aceras, bordillos y de relleno.	100%
Hormigón «in situ» para cunetas y barreras de seguridad.	100%

Tabla 2.01. Porcentajes admitidos de áridos reciclados según el tipo de hormigón

e) Prefabricados de hormigón:

- Pavimentos interiores y exteriores, tales como adoquines, baldosas de hormigón y baldosas de terrazos.
- Bordillos y bovedillas.
- Bloques de hormigón.
- Productos de mobiliario urbano tales como bancos.

d) Morteros:

- Morteros para pavimentos, morteros proyectados, morteros para reparación y pastas.
- Morteros para revocos y enlucidos.
- Morteros para albañilería.

e) Otros usos:

- Balasto en redes ferroviarias.
- Decoración para jardinería.
- Sustrato mineral para cultivo.
- Caminos temporales de operación en vertederos y de explotaciones mineras.
- Escolleras.

Por otra parte, este decreto establece que los áridos reciclados deben obtener el marcado CE para su suministro. Se trata de una etiqueta europea que establece que el producto comercializado en la UE cumple unas condiciones de seguridad y salud. Con esto, se pretende garantizar la calidad del material reciclado.



Fig 2.10. Marcado CE

3. Residuos de construcción y demolición (RCD)

3.1. Clasificación de los RCD

Los residuos de construcción y demolición son aquellos que provienen de actividades relacionadas con la construcción y la demolición. Estas pueden ser obras de excavación, nueva edificación u obras de reparación, remodelación, rehabilitación, demolición o derribos. Los RCD engloban muchos materiales diferentes los cuales, en muchos casos, se encuentran muy mezclados en los contenedores de obra. Entre estos materiales que componen los RCD se encuentran los siguientes:

- Ladrillos
- Hormigón
- Azulejos
- Cerámicos
- Piedra
- Arena
- Grava
- Madera
- Vidrio
- Plástico
- Metal
- Yeso
- Asfalto
- Yeso
- Papel
- Residuos orgánicos

Dentro de los múltiples RCD que existen, estos se pueden clasificar de varias formas: según su origen, su naturaleza y su tratamiento.

3.1.1 Clasificación por origen

Según su origen, los RCD se pueden clasificar en:

- **Residuos procedentes de la extracción o movimiento de tierras.** Se trata de residuos de origen natural o pétreo y, por tanto, son residuos limpios, sin ningún tipo de contaminación o elemento constructivo. [Fig. 3.01]



Fig 3.01. Operaciones de movimiento de tierras

- **Residuos procedentes de obras de construcción.** Son aquellos generados durante obras relacionadas con actividades constructivas. Estos incluyen escombros de hormigón y cerámicos, así como restos de vidrio, madera o residuos como pinturas o disolventes. [Fig. 3.02]



Fig 3.02. Construcción de edificio de viviendas

- **Residuos procedentes de obras de demolición.** Estos residuos provienen de la demolición de edificios o infraestructuras. Incluyen los mismos tipos que los procedentes de obras de construcción. Sin embargo, tienen una dificultad adicional a la hora de su separación ya que se encuentran muy mezclados. [Fig 3.03]



Fig 3.03. Obra de demolición

3.1.2 Clasificación por naturaleza

Según su naturaleza se encuentran:

- **Residuos inertes.** Son aquellos no peligrosos para la salud humana o del medio ambiente. Fundamentalmente, los RCD pertenecen a esta categoría. Pueden ser los restos de hormigón, ladrillo, vidrio, etc.
- **Residuos no peligrosos.** Son aquellos que no son peligrosos, pero pueden producir sustancias perjudiciales para las personas o el medio ambiente durante los procesos de gestión y transformación de estos. Algunos ejemplos son los plásticos, el papel, el yeso y la mayoría de los metales.
- **Residuos tóxicos peligrosos.** Son aquellos tóxicos o peligrosos para la salud humana y el medio ambiente. Deben ser gestionados en plantas de tratamiento especializadas. Estos incluyen: pinturas, disolventes, amianto, plomo, residuos radioactivos...

3.1.3 Clasificación autonómica



Por último, de acuerdo con la Orden 2726/2009 de la Comunidad de Madrid, por la que se regula la gestión de los RCD dentro de la Comunidad de Madrid, los residuos también pueden clasificarse según su tratamiento: [11]






- **Nivel I.** Pertenecen a esta categoría aquellos residuos pétreos que provienen del movimiento de tierras derivado de obras de construcción. Se trata de residuos limpios, no contaminados con otros RCD.
- **Nivel II.** Son aquellos que no pertenecen al “Nivel I”, es decir, los residuos provenientes de actividades relacionadas con la construcción y la demolición.

Este Trabajo de Fin de Grado estudia los residuos de construcción y demolición, no peligrosos y del nivel II.

3.1.4 Clasificación europea

A su vez, la Unión Europea unifica la clasificación de los residuos en la “Lista Europea de Residuos” (LER), con el objetivo de establecer unos códigos comunes a todos los países por cada tipo de residuo. Esta lista incluye todo tipo de residuos. Concretamente, los RCD vienen clasificados en el “Capítulo 17: Residuos de la construcción y demolición (incluida la tierra excavada de zonas contaminadas)”. La siguiente tabla muestra los códigos LER empleados para los residuos cerámicos. El resto de la lista de códigos LER viene adjunta en el apartado de “Anexo”. [33]

Simbología	
	Residuos no peligrosos
	Residuos peligrosos

Código LER	Tabla 3.01. Códigos LER	
1701	Hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos	
17 01 01	Hormigón.	
17 01 02	Ladrillos.	
17 01 03	Tejas y materiales cerámicos.	
17 01 06	Mezclas, o fracciones separadas, de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos que contienen sustancias peligrosas.	
17 01 07	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, distintas de las específicas en el código 17 01 06.	

3.2 Tratamiento de los RCD

Cada proyecto construido genera una cantidad de materiales que, de no ser gestionados correctamente, pueden provocar grandes impactos en el medio ambiente, así como contaminar el suelo y sobreexplotar de los vertederos. Por ello, la labor de las plantas de tratamiento y reciclaje de residuos es de gran importancia. Estas centrales se plantean como una alternativa a los vertederos, donde los residuos son simplemente desechados y se pierde la oportunidad de su reutilización y reciclaje y, por tanto, de su reincorporación en el ciclo constructivo [Fig. 3.04]. Por ello, es fundamental conocer los procesos de gestión y tratamiento de los RCD para dar respuestas a las siguientes preguntas: ¿qué ocurre con los escombros una vez finaliza la obra? ¿qué porcentaje de reutilización de residuos se puede llegar a obtener? ¿qué grado de sostenibilidad se obtendría dentro del ciclo de vida de los materiales?



Fig 3.04. Maquinaria de separación y triaje de escombros

El procedimiento del vertido se encuentra regulado por una normativa específica, estipulada en el Real Decreto 105/2008 que regula la prevención, reciclaje, valorización y eliminación de los RCD, así como en la Ley 22/2011, donde se establece que los costos de gestión de residuos deben ser cubiertos por el productor de estos. [35] Según esta normativa, se requiere que el productor de los residuos del proyecto gestione de forma adecuada los RCD producidos en la obra. La gestión y separación de los RCD puede llevarse a cabo en la localización de la obra. Sin embargo, estos procesos son delegados, en la mayoría de los casos, a las plantas de gestión y reciclaje de RCD.

En este apartado, se tratará todo el proceso de tratamiento de los RCD, desde su separación y clasificación por tipos, hasta el funcionamiento de las centrales de tratamiento y a los procesos a los que se someten los residuos para obtener áridos reciclados en estas plantas. A su vez, este apartado se ha cumplimentado con una serie de visitas a diferentes centrales de la Comunidad de Madrid, para conocer de primera mano las plantas de tratamiento y su funcionamiento.

3.2.1 Fracciones de residuos

La separación de RCD viene regulada en la Ley 7/2022, donde se estipula que los RCD deben ser separados en las siguientes fracciones:

1. Madera



Fig 3.05. Escombros de madera

2. Metal



Fig 3.06. Escombros metálicos

3. Vidrio



Fig 3.07. Escombros de vidrio

6. Yeso



Fig 3.08. Escombros de yeso

5. Plástico



Fig 3.09. Escombros de plástico

4. Fracción mineral

Hormigón



Fig 3.10. Escombros de hormigón

Ladrillos



Fig 3.11. Escombros de ladrillos

Azulejos



Fig 3.12. Escombros de azulejos

Cerámicos



Fig 3.13. Escombros cerámicos

Piedra



Fig 3.14. Escombros de piedra

Antes de comenzar con el reciclaje de los RCD, es necesaria una separación y clasificación previa en las fracciones mencionadas. Sin embargo, no todos los RCD pueden ser llevados a las plantas para su tratamiento. Algunos deben ser trasladados a centrales específicas para su gestión, como son los residuos peligrosos.

Desechos admitidos:

- Tierras
- Hormigón
- Ladrillos
- Cerámicos
- Madera
- Metal
- Yesos

No admitidos/Peligrosos:

- Sellantes
- Emulsiones alquitranadas
- Madera tratada con fungicidas
- Pesticidas
- Revestimientos ignífugos
- Halogenados equipos con PCB
- Luminarias de mercurio
- Envases de sustancias
- Peligrosas como disolventes, pinturas, adhesivos

Por otro lado, las plantas de tratamiento admiten, pero no gestionan, algunos materiales que precisan de centrales especiales para su reciclaje: cartón, papel, plásticos, metales [Fig. 3.15], yesos [Fig. 3.16], madera [Fig. 3.17] y vidrio.



Fig 3.15. Escombros metálicos en contenedor



Fig 3.16. Escombros de yeso separados



Fig 3.17. Escombros de madera en contenedor

En numerosos casos, estos residuos que no pueden ser valorizados en estas plantas, se encuentran mezclados con los que sí. Por ello, es obligatorio determinar la calidad de la separación de los residuos transportados a la planta previamente a su recepción. Hay tres tipos de calidades diferentes de residuos: limpios, mezclados y sucios.

Residuos limpios: residuos que llegan a la planta ya divididos por fracciones, mediante una separación previa realizada en obra. No se precisa de una separación en la planta, lo que facilita mucho su proceso de reciclaje. [Fig. 3.18]



Fig 3.18. Residuos limpios de hormigón

Residuos mezclados: aquellos residuos que combinan distintos tipos de RCD. Se trata de una mezcla heterogénea de materiales pertenecientes a la fracción mineral, principalmente. [Fig. 3.19]



Fig 3.19. Residuos mezclados

Residuos sucios: residuos que, no solo vienen mezclados con otros RCD, sino también vienen mezclados con residuos no admitidos en la planta, como los plásticos, los metales, el cartón, etc. En muchos casos, las plantas rechazan directamente este tipo de residuos. [Fig. 3.20]



Fig 3.20. Residuos sucios

Los residuos mezclados serán clasificados en la planta de tratamiento, en donde se separará el hormigón de los otros residuos, fundamentalmente. Además, se separarán los RCD no aceptados en la planta en contenedores que serán transportados a otras centrales específicas para su gestión.

Las tasas de vertido dependen del nivel de separación en el que se encuentren los RCD a su recepción. Las tarifas de recepción de residuos limpios son mucho menores a los otros dos tipos. Cuánto más limpio sea el residuo, más barato. De esta forma, se penaliza al que trae residuos sucios, es decir, sin separación previa en obra. Los precios de vertido en las plantas de tratamiento de titularidad pública de la Comunidad de Madrid son los siguientes: [44]

- **RCD Limpio:** 10 euros/Tn
- **RCD Mezcla:** 24 euros/m³
- **RCD Sucio:** 34 euros/ m³
- **Tierra y piedra:** 7 euros/Tn

La separación de RCD es un proceso esencial para facilitar su valorización y reciclaje. El porcentaje de árido reciclado depende fundamentalmente de la separación del RCD. Un residuo limpio, no mezclado con otros tipos de RCD, tiene un porcentaje de reciclaje en torno al 97-98%, mientras que los residuos mezclados poseen un porcentaje mucho menor. Es importante fomentar la separación en obra de los RCD ya que, no solo se abaratan costes, sino también se obtiene un mayor porcentaje de reciclado lo que contribuye a la obtención de certificaciones de sostenibilidad o “sellos verdes” como “VERDE”, “BREEAM” y “LEED”.

3.2.2 Plantas en la Comunidad de Madrid

Dentro de la Comunidad de Madrid, hay numerosas plantas de tratamiento y gestión de RCD. En total, hay 26 empresas autorizadas al tratamiento de los RCD en Madrid [Fig. 3.21]. Estas plantas incluyen tanto empresas privadas, como públicas de la Comunidad de Madrid. Su funcionamiento depende en gran medida de este aspecto.

En el siguiente mapa se pueden observar todas las empresas, tanto públicas como privadas, autorizadas al tratamiento de los RCD en la Comunidad de Madrid: [16]

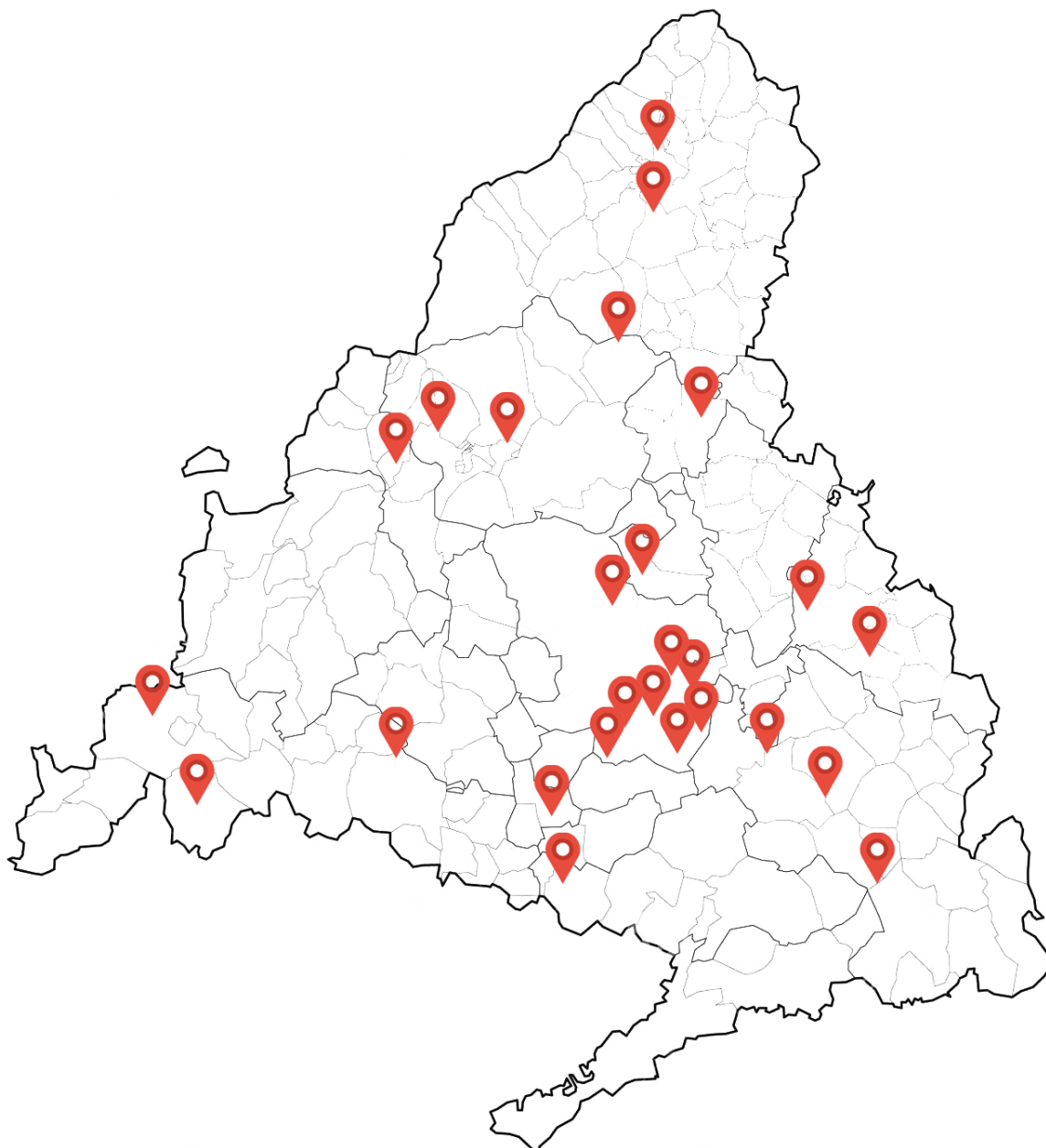


Fig 3.21. Mapa de la Comunidad de Madrid con centrales de RCD

Con el objetivo de facilitar la búsqueda de estas centrales, para este TFG se ha elaborado un mapa interactivo en el cual se localizan todas las empresas autorizadas para la realización de actividades de gestión de RCD en la Comunidad de Madrid [Fig. 3.22]. Se puede encontrar su ubicación, enlace a Google Maps, contacto, tipo de actividad y clase de residuos admitidos en cada planta. Las empresas se han dividido según el tipo de actividades de gestión de RCD que realizan para facilitar su búsqueda. Estas actividades incluyen: tratamiento, gestión, vertedero, clasificación y almacenamiento de RCD.

Se puede acceder al mapa interactivo a través del siguiente enlace:

<https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1VflfdMyibuBM30bk7qbLAq-z6Do5Mog&usp=sharing>

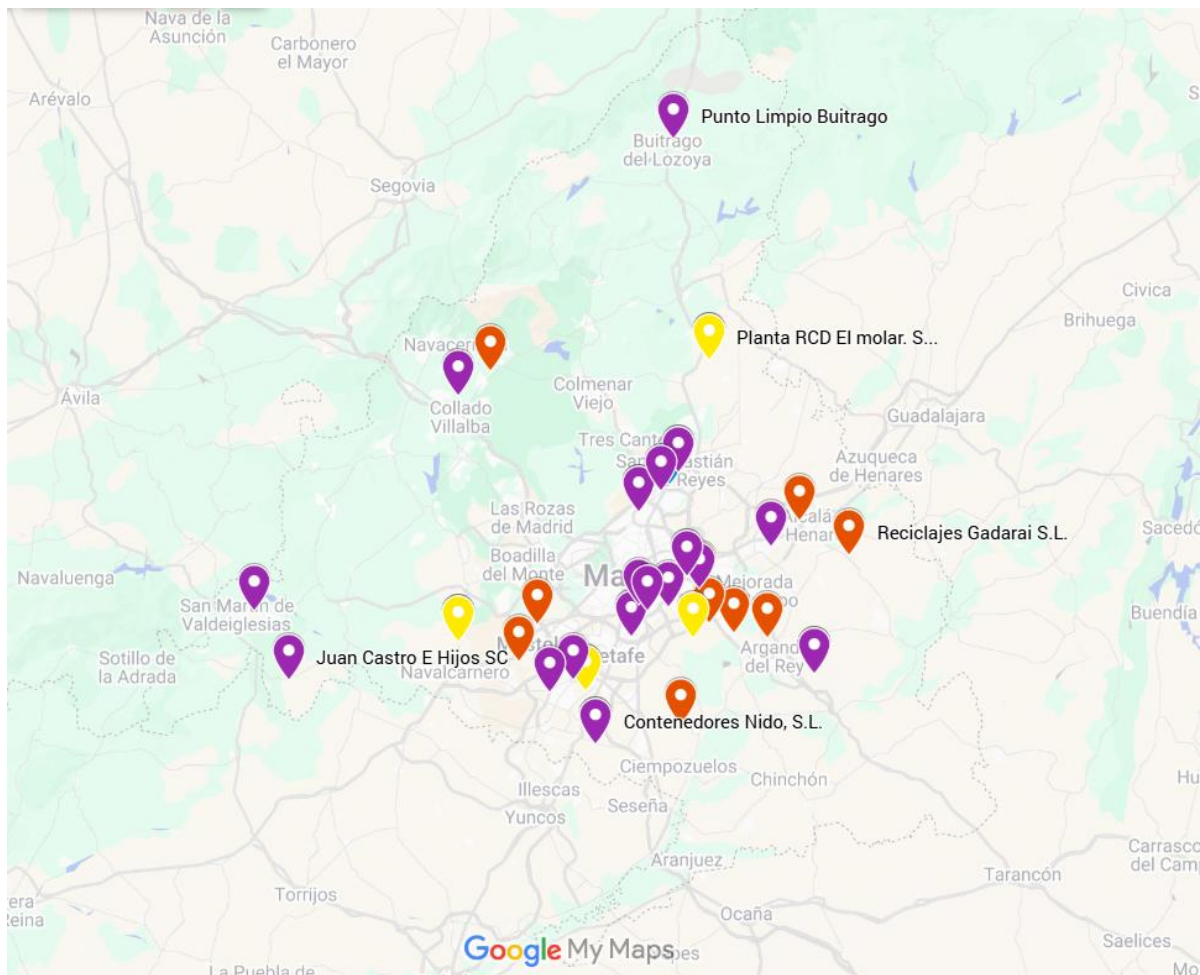


Fig 3.22. Localización en Google MyMaps de centrales de RCD

En rojo, se pueden encontrar varias empresas autorizadas para el tratamiento, gestión y reciclaje de RCD: [Fig. 3.23]

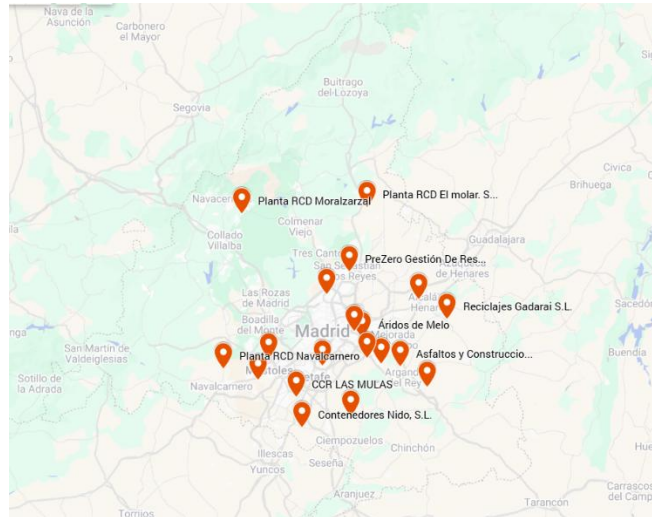


Fig 3.23. Empresas tratamiento de RCD en la Comunidad de Madrid

En amarillo, se pueden observar las empresas autorizadas para el vertedero de RCD. Solo hay cuatro vertederos autorizados en la Comunidad de Madrid [Fig. 3.24]. Dos de ellos son de titularidad públicas, El Molar y Navalcarnero, mientras que los otros dos pertenecen a un grupo privado: Salmedina Tri y Las Mulas.

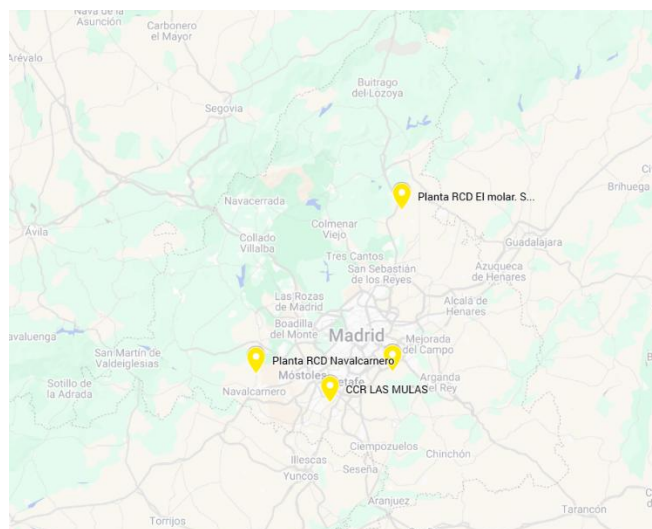


Fig 3.24. Vertederos de RCD en la Comunidad de Madrid

En morado, las empresas autorizadas para el almacenamiento y clasificación de RCD: [Fig. 3.25]

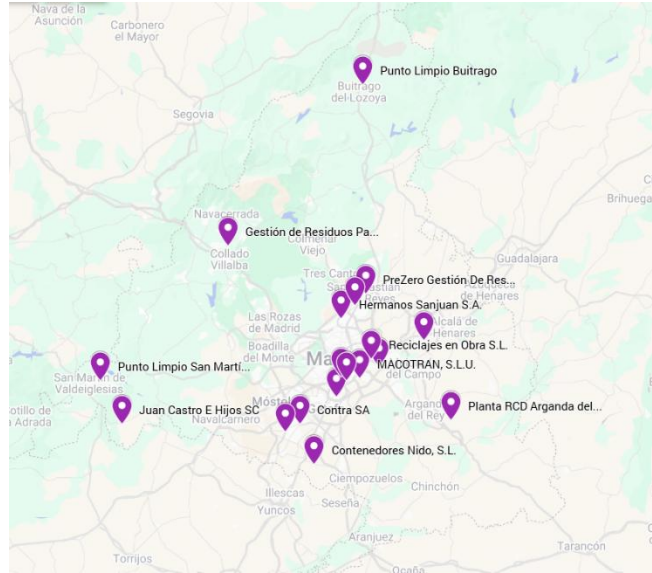


Fig 3.25. Almacenamiento de RCD en la Comunidad de Madrid

Cabe destacar el grupo empresarial de tratamiento de RCD formado por **Salmedina TRI S.L** en Valdemingómez, y **CCR Las Mulas** en Fuenlabrada, por tener la mayor capacidad de tratamiento en la Comunidad de Madrid.

SALMEDINA

Salmedina lleva operando desde el año 2003 y actualmente posee una capacidad de tratamiento de 2.600.000 toneladas/año y una capacidad de depósito de 31.000.000 m³. Es el centro gestor de RCD más grande de España y uno de los más grandes de Europa. [54] [Fig. 3.26]

Sus líneas de trabajo se centran en el tratamiento y reciclaje de RCD, alquiler de contenedores, venta de sacos y venta de áridos reciclados.



Fig 3.26. Planta de RCD y vertedero

LOS MULAS

La planta de tratamiento “Las Mulas” comenzó su funcionamiento en el año 2007. Poseen una capacidad de tratamiento de 400.000 toneladas al año y una capacidad de depósito de RCD de 5.000.000 m³. [9]

Se dedican al tratamiento y reciclaje de RCD, alquiler de contenedores y sacos, y venta de áridos reciclados procedentes de la valorización de los RCD. [Fig 3.27]



Fig 3.27. Planta de RCD y vertedero

Proceso de funcionamiento de “Las Mulas” [Fig. 3.28]:



Fig 3.28. Proceso RCD en Las Mulas

3.2.3 Tipos de plantas

Según su tipología, existen varios tipos de plantas dependiendo del tipo de maquinaria empleada, aunque todas comparten los mismos objetivos: la separación los residuos y elaboración de áridos reciclados. Entre los tipos de plantas se pueden encontrar: [7]

Plantas fijas de tratamiento de RCDs: poseen maquinaria con ubicación permanente, por lo que los procesos de tratamiento se encuentran muy automatizados. Consiguen altas capacidades de tratamiento y mejor calidad del árido reciclado obtenido. [Fig. 3.29]



Fig 3.29. Maquinaria de planta fija de tratamiento

Plantas modulares de tratamiento de RCDs: presentan módulos independientes para cada proceso. Su diseño es estandarizado y, por tanto, flexible y adaptable. [Fig. 3.30]



Fig 3.30. Maquinaria de planta modular de tratamiento

Plantas semi-modulares de tratamiento de RCDs: combinan elementos fijos y modulares. Poseen menor eficacia. [Fig. 3.31]



Fig 3.31. Maquinaria de planta semi-modular de tratamiento

Plantas móviles de tratamiento de RCDs: poseen maquinaria móvil para los procesos básicos de tratamiento, por lo que tienen menor capacidad y calidad del tratamiento. [Fig. 3.32]



Fig 3.32. Maquinaria de planta móvil de tratamiento

Por otro lado, las plantas también se pueden dividir según su titularidad en públicas y privadas, y su funcionamiento depende en gran medida de este aspecto. A su vez, las plantas de titularidad pública se dividen en tres tipos diferentes en la Comunidad de Madrid según su tamaño y actividad: [29]

1. Centros de agrupamiento:

Agrupan residuos de la zona y se transportan a los otros dos tipos de centros más grandes. En la Comunidad de Madrid, se pueden encontrar tres centros de agrupamiento: **San Martín de Valdeiglesias, Villarejo de Salvanés y Buitrago de Lozoya**. [Fig. 3.33]



Fig 3.33. Centros de agrupamiento de la Comunidad de Madrid

2. Centros de clasificación y transferencia:

Reciben y clasifican residuos para después prepararlos para su traslado a otros centros de reciclaje definitivos o vertedero. Tienen una función de intermediario. En Madrid, se puede encontrar un **centro de clasificación y transferencia en Morálzarzal**. [Fig. 3.34] [Fig. 3.35]



Fig 3.34. Centros de clasificación de la Comunidad de Madrid



Fig 3.35. Vista aérea planta RCD Moralar

3. Centros de tratamiento integrado:

Reciben residuos de los centros anteriores. Tienen las mismas funciones que los centros de clasificación y transferencia, además de que tener vertedero. Los centros de tratamiento integral de la Comunidad de Madrid son **El Molar** y **Navalcarnero**. [Fig. 3.36]

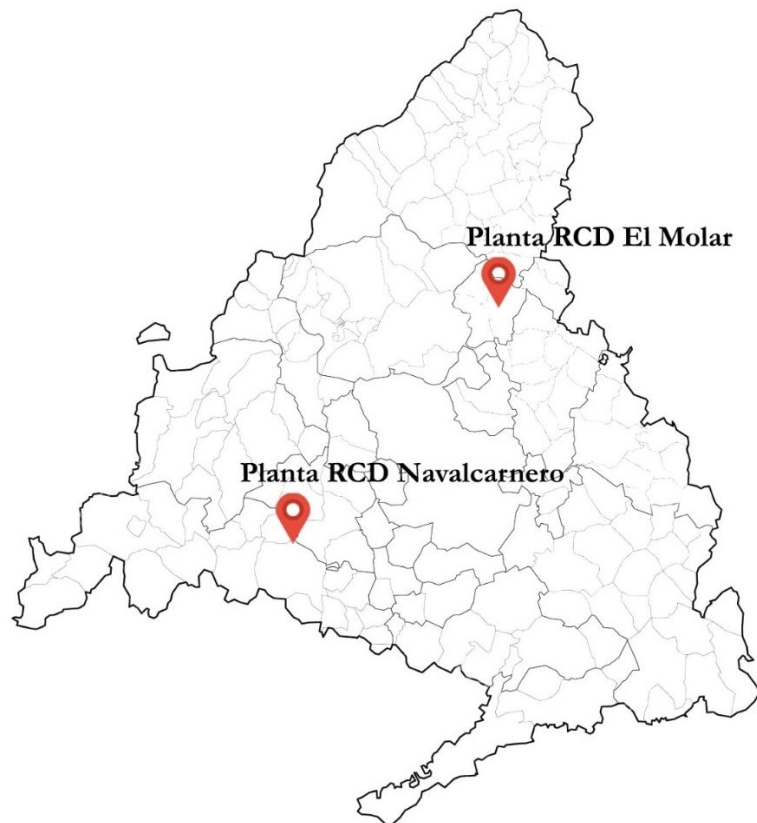


Fig 3.36. Centros de tratamiento integral de la Comunidad de Madrid

3.2.4 Flujos y procesos del residuo

Los procesos a los que se someten los residuos dependen del tipo de planta y la maquinaria con la que se trabaja. En general, los residuos son sometidos a los siguientes procesos [Fig. 3.37]:

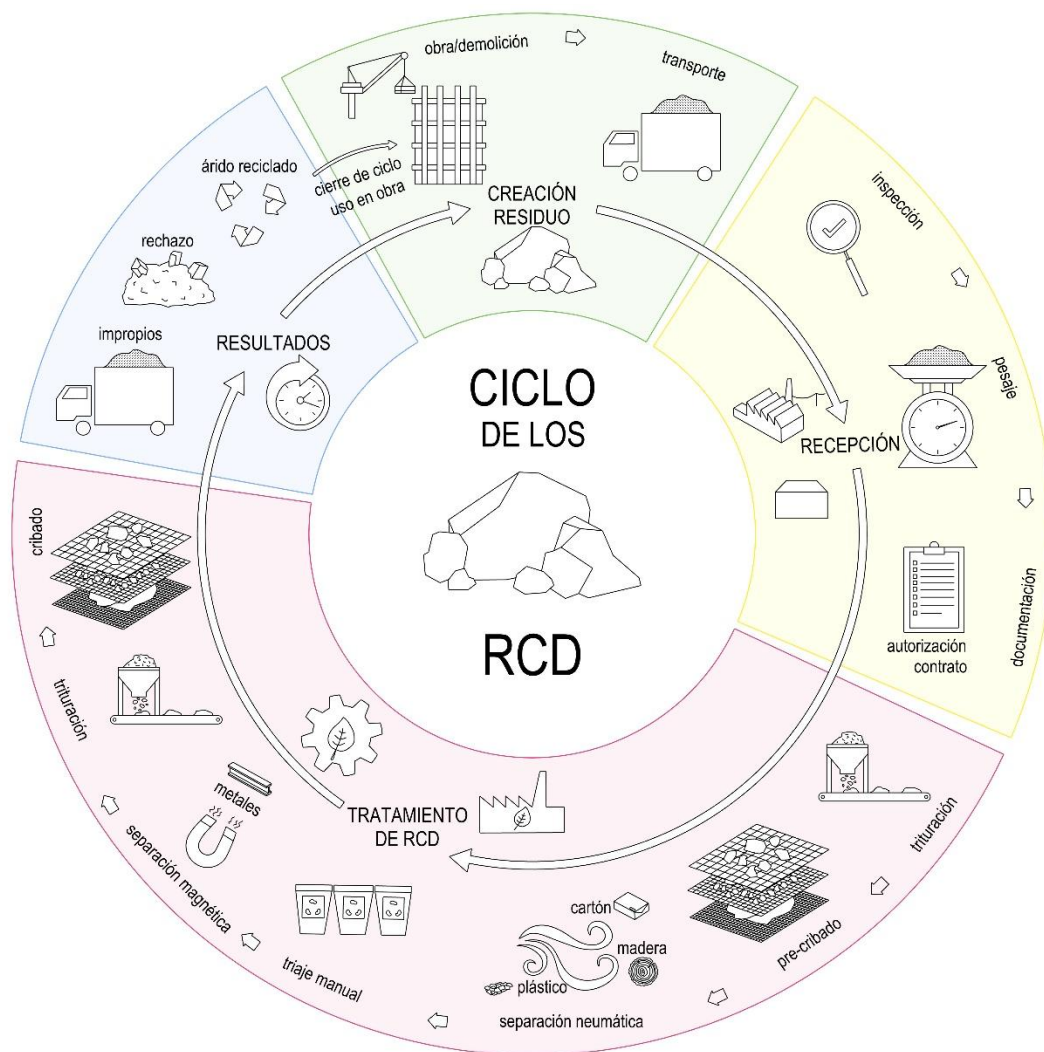


Fig 3.37. Proceso de gestión de los RCD

1. **Generación de los RCD** en la obra de construcción o demolición.
2. **Transporte de los RCD** desde la obra hasta una planta de tratamiento a manos de un agente transportista autorizado.
3. **Recepción de los RCD en la planta:** se realiza un primer control a la llegada de los camiones mediante el pesaje de los RCD y una inspección. Se debe presentar dos documentos obligatorios: el documento de identificación y el contrato de tratamiento.

Documento de identificación (DI). Es necesaria la emisión de un documento de identificación que acompañe a los residuos durante su traslado. Acredita al operador de los residuos su llegada al destino. Este documento contiene:

- Identificación del operador, origen, transportista, destino y destinatario.
- Información de los residuos.
- Indicación de la aceptación o rechazo de los residuos.

Contrato de tratamiento (CT). Se trata de un acuerdo previo firmado por el operador del traslado y el destinatario, es decir, la planta de tratamiento de residuos. Este documento debe contener:

- Cantidad estimada de residuos que se van a trasladar.
- Identificación de los residuos según el código europeo LER.
- Periodicidad estimada de los traslados.
- Información relevante para el tratamiento de los residuos trasladados, indicando características de peligrosidad si fuera necesario.
- Tratamiento al que serán sometidos los residuos.
- Obligaciones de las partes en caso de rechazo de los residuos por el destinatario.

Si todo está correcto, se procede a la elaboración del albarán con los siguientes datos [Fig. 3.38]:

ALBARAN DE ADMISION

Albarán local: 16781 Albarán central: Nº just.
 Fecha de impresión: 04/12/2025 11:55:04 Estado de transacción: Cerrado

Matrícula: [REDACTED]

Cliente: [REDACTED]
 Origen: [REDACTED]
 Transportista: [REDACTED]
 Destino: CARCD, Buitrago del Lozoya

Material: 17.01.07 - RCD limpio
 Proceso de gestión: NP01 - Tratamiento de RCD

Peso de entrada (kg): 27.740 Fecha de entrada: 04/12/2025 11:55:02
 Peso de salida (kg): 13.300 Fecha de salida: 04/12/2025 11:55:02
 Peso neto (kg): 14.440
 Volumen (m³): 15,00 Densidad (t/m³): 0,963

Firma del centro [REDACTED] Firma del transportista [REDACTED]

Observaciones: IMPORTE €144,40 PTE. PAGO

CARCD, BUITRAGO DEL LOZOYA
 Ctra. Buitrago del Lozoya (N-137), km 0, 250 - 28730 Buitrago del Lozoya
 La Comunidad de Madrid es titular de la instalación y gestor autorizado de RCD con el 13605A1460026014V. NIMA: 2800064721. La
 planta queda exonerada de cualquier tipo de responsabilidad por el posible uso/otro uso del material (RCD) que el
 transportista retire de la planta, haciéndose éste, responsable a todos los efectos de su uso/otro uso del mismo, debiendo
 cumplir con la legislación que resulte de aplicación. El transportista declara a los efectos oportunos que el personal
 de la planta le ha informado, previo pesaje del vehículo, del peso del mismo, por lo que la planta no se hace responsable de un
 exceso y/o erróneo pesaje, asumiendo, en exclusiva, el transportista el cumplimiento de la carga y/o volumen útil del vehículo
 o masa máxima del conjunto.

Fig 38. Albarán de RCD

4. **Tratamiento de los RCD** varía según la planta, pero generalmente se emplean los siguientes procedimientos:

- Trituración inicial
- Pre-cribado
- Separación neumática
- Triaje manual
- Separación magnética
- Trituración secundaria
- Cribado
- Acopio del árido reciclado

5. **RCD tratado:** se obtienen tres resultados:

- **RCD valorizable:** se obtiene árido reciclado el cual puede ser reintroducirse en ciclo constructivo para diferentes aplicaciones.
- **RCD no valorizable:** se genera un porcentaje de rechazo que no puede ser reciclado. En este caso, se emite un certificado de la gestión de los RCD y se trasladan los residuos a vertedero.
- **Gestión de impropios:** son aquellos residuos no admitidos en la planta, como pueden ser la madera, el cartón, el plástico y el metal. Estos deben ser enviados a gestores autorizados para su tratamiento.

3.2.5 Maquinaria de tratamiento

La maquinaria empleada se adapta al tipo de planta y a sus necesidades. Aunque cada planta es única, tienen similitudes entre ellas y procedimientos análogos. Fundamentalmente, el tratamiento de los RCD suele incluir las siguientes máquinas asociadas a los procesos de obtención del árido reciclado:

1. Pretratamiento:

- **Báscula:** los camiones recibidos en la planta, antes de ser admitidos, se someten a un pesaje mediante una báscula capaz de soportar cargas alrededor de 60 toneladas. [Fig. 3.39]



Fig 3.39. Báscula para pesaje de camiones

- **Tolvas de recepción:** se trata de contenedores en forma de embudo que canalizan los escombros. [Fig. 3.40]



Fig 3.40. Cintas transportadoras y tolva

- **Alimentadores vibrantes:** se emplea para regular la entrada de RCD a través de movimientos vibratorios que aseguran el suministro uniforme y constante de residuos. [Fig. 3.41]

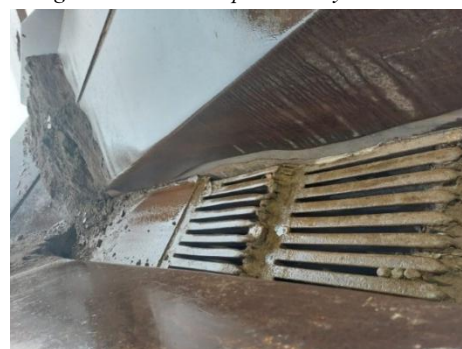


Fig 3.41. Alimentador vibrante con escombros

2. Trituración de escombros:

- **Trituradora de mandíbula:** tritura los escombros por impactos repetidos entre una placa móvil sobre otra placa fija. Normalmente, se trata del primer proceso de trituración al que se someten los escombros. [Fig. 3.42]



Fig 3.42. Trituradora de mandíbula

- **Trituradora de impacto:** tritura los escombros lanzándolos a alta velocidad a una placa de choque, lo que provoca que se rompan en partículas más pequeñas. Normalmente, se emplea después de la trituradora de mandíbula, con el objetivo de obtener menor tamaño de árido. [Fig. 3.43]



Fig 3.43. Trituradora de impacto

- **Trituradora y cribadora móvil:** se trata de una trituradora de escombros que además clasifica por tamaños los áridos. Es una máquina portátil, es decir, se puede mover de un sitio a otro de la planta adaptándose a sus necesidades. [Fig. 3.44]



Fig 3.44. Trituradora y clasificadora móvil de RCD

3. Clasificación granulométrica:

- **Cribas vibratorias:** clasifica y separa el árido reciclado por tamaño de las partículas, funciona como un tamiz. [Fig. 3.45]



Fig 3.45. Criba vibratoria con diferentes tamaños

- **Trómel:** se trata de un cilindro rotativo con perforaciones que separa los materiales según su tamaño. [Fig. 3.46]



Fig 3.46. Trómel rotativo

4. Separación de impropios:

- **Separador magnético:** separa los materiales metálicos del resto de la mezcla de RCD a través de un imán potente. [Fig. 3.47]



Fig 3.47. Separador magnético de metales

- **Separador neumático:** separa los residuos ligeros de baja densidad (plásticos, papel, cartón y trozos de madera), de los pesados (hormigón, cerámicos, etc). Produce un fuerte flujo de aire que causa que los materiales ligeros sean llevados por la corriente de aire, mientras que los pesados caen por gravedad. [Fig. 3.48]



Fig 3.48. Separador neumático de residuos ligeros

- **Cabina de triaje:** consiste en una cabina con una cinta transportadora y varios puntos de recogida manual de impropios. [Fig. 3.49]



Fig 3.49. Cabina de triaje con contenedores para impropios

5. Equipos auxiliares:

- **Excavadoras:** manejan y mueven grandes cantidades de material de un lugar a otro de la planta. [Fig. 3.50]



Fig 3.50. Excavadora manejando RCD

- **Cintas transportadoras:** trasladan el material de una fase del proceso a la siguiente. Además, en muchas ocasiones se aprovechan para realizar una separación manual de impropios. [Fig. 3.51]



Fig 3.51. Cinta de transporte de material

- **Contenedores:** se emplean para carga y transporte los RCD en la planta. [Fig. 3.52]



Fig 3.52. Contenedor con RCD

3.3 Plantas visitadas

Durante la elaboración de este TFG, se han realizado un total de cinco visitas a diferentes empresas dedicadas al tratamiento de RCD y a la elaboración de áridos reciclados con el objetivo de conocer de primera mano su funcionamiento. Aunque comparten muchas similitudes, cada planta es única. Por ello, es importante conocer los procedimientos de cada una de ellas para entender en profundidad la gestión de los RCD.

Para las visitas, se han escogido tres plantas pertenecientes a una empresa privada y dos plantas de la Comunidad de Madrid. [Fig. 3.53]

Se han visitado las siguientes plantas:

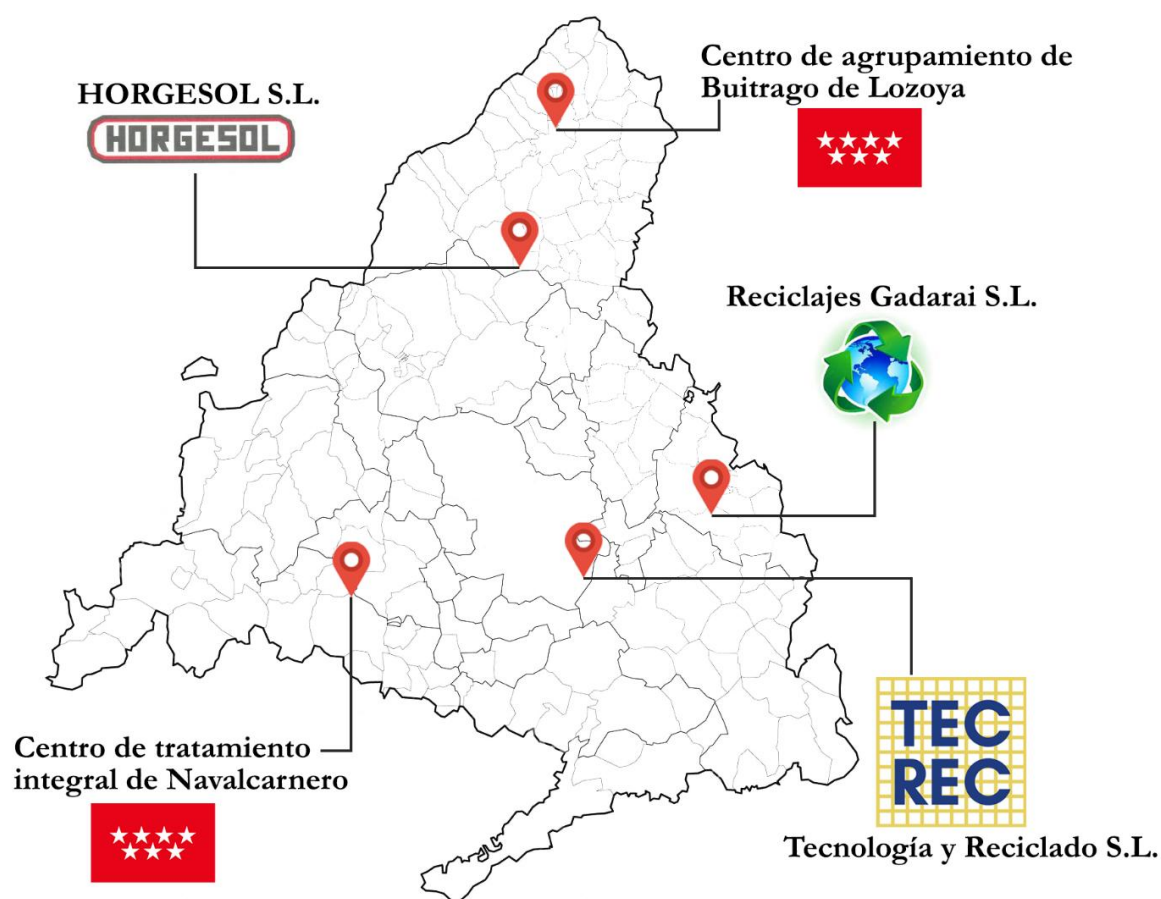


Fig 3.53. Mapa plantas de RCD visitadas

TEC REC	📍	Cam. Ysería la Valenciana, 10, 28031, Villa de Vallecas, Madrid
HORGESOL	📍	Ctra. M-625, Km. 14, 28794, Guadalix de la Sierra, Madrid
Reciclajes Gadarai	📍	C/ Isaac Peral s/n, 28810, Villalbilla, Madrid
Planta RCD Buitrago de Lozoya	📍	Venta de Mea, 28730, Madrid
Planta RCD Navalcarnero	📍	Ctra. M-600, km 700, 28600, Arroyomolinos, Madrid

Se desea dar un especial agradecimiento a estas plantas de RCD que dedicaron amablemente su tiempo a enseñarme sus instalaciones y proporcionar información esencial para el desarrollo de este TFG. En particular, se agradece a: José Ángel Antolín Santillán, director de la planta TEC REC; Ángel García, gerente de HORGESOL; Carmelo Martín, del centro de agrupamiento de Buitrago de Lozoya; y Marco López Mayoral, de la planta de tratamiento integral de Navalcarnero.

3.3.1 Plantas públicas visitadas

Centro de agrupamiento de Buitrago de Lozoya

Se ha realizado una visita al **centro de agrupamiento de Buitrago de Lozoya** para entender el funcionamiento de estas plantas más pequeñas de la Comunidad de Madrid. Esta planta pertenece a la Mancomunidad de Servicios del Valle Norte de Lozoya. En ella, los municipios pertenecientes a la Mancomunidad pueden traer escombros, tanto empresas de obra, como particulares que estén realizando una reforma en casa.

En esta planta, solo utilizan maquinaria móvil para separar y triturar los escombros. Se emplea una excavadora-trituradora que separa los finos y gruesos con un cazo cribador y se machacan los escombros más grandes.



Fig 3.54. Excavadora-trituradora machacando escombros

En la fotografía se observa el montón de residuos mezclados el cual será machacado por la trituradora. Está formado fundamentalmente por residuos cerámicos, de hormigón, tierra, etc. [Fig. 3.54]



En cambio, en el montón de residuo sucio, se observa gran cantidad impropios: plásticos, metales, cartones, etc. Estos serán separados y transportados a plantas de gestión específicas. [Fig. 3.55]

Fig 3.55. Montón de escombros sucios



Fig 3.56. Montón de árido reciclado

El árido reciclado obtenido es una mezcla de materiales y tamaños muy heterogénea. [Fig. 3.56] [Fig. 3.57]



Fig 3.57. Árido reciclado

Centro de tratamiento integral de Navalcarnero

Se ha realizado una visita al **centro de tratamiento integral de Navalcarnero** para conocer el funcionamiento de una de las plantas públicas más grandes de la Comunidad de Madrid [Fig. 3.58] [Fig. 3.59]. Este centro posee una capacidad de tratamiento de 400.000 toneladas al año y un vertedero con un depósito para 2,5 millones de m³ de RCD.



Fig 3.58. Cintas transportadoras de RCD



Fig 3.59. Plata de RCD de Navalcarnero

Cuenta con maquinaria fija y dos líneas diferentes de producción, tanto para el tratamiento de residuos limpios, como para los mezclados.

Primera línea de residuos limpios:

1. Alimentador vibrante
2. Machacadora
3. Molino
4. Separador magnético
5. Separación manual
6. Molino de impacto
7. Criba

Segunda línea de residuos mezclados:

1. Separadora de gruesos
2. Alimentador vibrante
3. Trómel cilindro
4. Cabina de triaje
5. Molino
6. Separador magnético
7. Criba



Fig 3.60. Alimentador vibrante



Fig 3.61. Separador magnético

El resultado obtenido son áridos reciclados de diferentes tamaños [Fig. 3.62]. Actualmente, producen las siguientes granulometrías:

- Zahorra 0 – 20 mm
- Zahorra 20 – 40 mm
- Zahorra 0 – 40 mm



Fig 3.62. Acopios de árido reciclado

3.3.2 Plantas privadas visitadas

TEC REC (Tecnología y Reciclado, S.L.)

Esta planta de tratamiento y reciclaje fue fundada en el año 2000, convirtiéndose en la primera planta de reciclaje y tratamiento de RCD en la Comunidad de Madrid. Su especialización es la producción de áridos reciclados de calidad procedentes de residuos tipo II. Poseen una gran capacidad de gestión, superando las 1.000 toneladas diarias. [57] [Fig. 3.63] [Fig. 3.64]



Fig 3.63. Trituración de RCD



Fig 3.64. Manejo de RCD

A su recepción, los RCD son inspeccionados y pesados mediante una báscula con una capacidad máxima de 60 toneladas [Fig. 3.65]. La planta TEC REC no admite residuos como madera, aislamientos, yesos, metales, tierras. En muchas ocasiones, estos residuos entran en la planta mezclados con otro tipo de residuos, inevitablemente. En su caso, no poseen autorización para el tratamiento de dichos residuos. Por tanto, estos son separados y trasladados a otro gestor autorizado u otro tipo de agente externo.



Fig 3.65. Recepción de camiones

De acuerdo con la Lista Europea de Residuos (LER), la central TEC REC admite los siguientes residuos: [57]

- **LER 17 01 01:** Hormigón.
- **LER 17 01 07:** Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos distintas de las especificadas en el código 17 01 06.
- **LER 17 03 02:** Mezclas bituminosas distintas de las especificadas en el código 17 03 01.
- **LER 17 05 04:** Tierra y piedras distintas de las especificadas en el código 17 05 03.
- **LER 17 06 04:** Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03.
- **LER 17 08 02:** Materiales de construcción a partir de yeso distintos a los especificados en el código 17 08 01.
- **LER 17 09 04:** Otros residuos mezclados de construcción y demolición que no contienen sustancias peligrosas.

Consiguen porcentajes de reciclaje muy elevados, sobre todo para los residuos limpios, donde alcanzan un 97% de reciclaje.



Fig 3.66. Trituradora y excavadora de RCD



Fig 3.67. RCD triturados

Con esto, producen una gran variedad de áridos reciclados, entre los que se encuentran: grava reciclada de hormigón y mixta, zahorra reciclada de hormigón y mixta, suelo tolerable y suelo adecuado.

HORGESOL

Horgesol es un fabricante de hormigón que ha incorporado el tratamiento de RCD en los últimos años. Se dedican al reciclaje de áridos para su venta e incorporación en sus propios productos de hormigón para fabricar hormigón reciclado. [27] [Fig. 3.68]



Fig 3.68. Planta de tratamiento de RCD

Para facilitar el proceso de producción de los áridos reciclados y garantizar su calidad, solo admiten residuos limpios, es decir, previamente separados en obra. Según el código de residuos LER, admiten: [27]

- **LER 17 01 01:** Hormigón.
- **LER 17 05 04:** Tierra y piedras distintas de las especificadas en el código 17 05 03.

Con esto, obtienen dos tipos de árido reciclado: suelo adecuado 20 mm y grava 620 mm [Fig. 3.69]. Con esto, consiguen reciclar un 98% de los RCD recibidos en su planta.



Fig 3.69. Trituradora y clasificadora móvil de RCD

Además, aseguran la calidad de sus áridos reciclados sometiéndolos a un proceso de lavado el cual limpia con agua los áridos de impurezas y partículas finas. De esta forma, mejora el material fabricado, garantizando la pureza de los áridos y la calidad del hormigón de alta resistencia producido. Emplean un trómel lavador [Fig. 3.70] para limpiar los áridos con agua y un tanque decantador [Fig. 3.71] que separa los finos del agua y les permite reutilizarla.



Fig 3.70. Trómel lavador de áridos



Fig 3.71. Tanque decantador

Su principal objetivo es que los porcentajes de áridos reciclados superen a los naturales en los hormigones. Sin embargo, la normativa actual española limita la incorporación de áridos reciclados en el hormigón en masa y armado al 20%. Esperan una normativa más abierta en el futuro con la que se fomente la economía circular y el uso de áridos reciclados frente a los naturales. [Fig. 3.72] [Fig. 3.73] [Fig. 3.74]



Fig 3.72. Cintas transportadoras de material



Fig 3.73. Vista general planta



Fig 3.74. Pila de áridos reciclados

Reciclajes Gadarai

Reciclajes Gadarai se dedica, desde el año 2008, al tratamiento y valorización de RCD, con los que elaboran distintos tipos de áridos reciclados. Poseen dos líneas de trabajo en las que tratan residuos limpios y residuos sucios. Manejan maquinaria móvil para realizar sus procesos.

Gestión de RCD sucios: [Fig. 3.75] [Fig. 3.76]



Fig 3.75. Excavadora manejando RCD sucios



Fig 3.76. Trituradora moliendo RCD sucios

Valorización y tratamiento de RCD limpios: [Fig. 3.77]



Fig 3.77. Trituradora y clasificadora móvil

Con esto, producen áridos reciclados de diferentes tamaños:

Zahorra 0 - 40 mm



Fig 3.78. Árido reciclado fino

Zahorra 40 - 80 mm



Fig 3.79. Árido reciclado grueso

Suelo adecuado



Fig. 3.80. Suelo adecuado reciclado

3.4. Aplicaciones de los RCD

En España, existen varias asociaciones o grupos de interés que actúan como soporte para empresas del sector de los RCD y fomentan su uso y aplicación en el ámbito de la construcción. Sus principales objetivos son: participar en los procesos legislativos sobre los RCD, representar y defender los intereses de sus asociados, así como fomentar la comunicación y la divulgación de las últimas novedades sobre los RCD. Se pueden destacar las siguientes:



Fig 3.01. RCD Asociación

RCD Asociación [Fig. 3.01]

La Asociación Española de Reciclaje de RCD es una plataforma para empresas públicas y privadas del sector de los RCD en España.

En noviembre de 2024 se celebró el II Congreso Internacional de RCD al que acudieron representantes nacionales e internacionales del sector de los RCD. Se comentaron temas de actualidad que afectan a la gestión de los residuos. [48]



Fig 3.02. Áridos reciclados de RCD

Áridos reciclados de RCD [Fig. 3.02]

Se trata de un grupo de empresas gestoras de RCD y asociaciones regionales. [3]



Fig 3.03. AGESMA

AGESMA [Fig.3.03]

Se trata de un grupo de interés de la Comunidad de Madrid al que pertenecen la mayoría de las plantas de RCD de Madrid. [2]



Fig 3.04. Federación de RCDs

Federación de RCDs [Fig.3.04]

La Federación Española de Asociaciones de Empresas Gestoras de RCDs agrupa a asociaciones cuyo ámbito corresponda a toda su Comunidad Autónoma. Entre sus asociados autonómicos se encuentran: APRR.EUS (Euskadi), GRCD.CAT (Cataluña), ASOREX (Extremadura). [18]

En los últimos años, el empleo de RCD en construcción ha ido en aumento. Como resultado, se pueden encontrar numerosos ejemplos del empleo de RCD en diferentes ámbitos, así como nuevos fabricantes de materiales de construcción que han apostado por la sostenibilidad y la innovación incluyendo RCD en sus productos. Estos ejemplos, demuestran que el empleo de RCD en construcción es posible, desde un punto de vista técnico y de economía circular.

Como ya se ha mencionado en el apartado de “Tratamiento de los RCD”, los escombros de obra son trasladados a las plantas de gestión y valorización para elaborar áridos reciclados [Fig. 3.97]. Existen múltiples tipos de áridos reciclados, siendo los más empleados en el sector de la construcción los siguientes: grava reciclada mixta y de hormigón, zahorra reciclada mixta y de hormigón, suelo adecuado y suelo tolerable. Se recogen las características de estos áridos reciclados en las fichas de material mostradas a continuación: [57]

Grava reciclada mixta	Grava reciclada de hormigón
 <p data-bbox="231 999 523 1025"><i>Fig 3.05. Grava reciclada mixta</i></p>	 <p data-bbox="828 999 1177 1025"><i>Fig 3.06. Grava reciclada de hormigón</i></p>
Proceso: Triturado	Proceso: Triturado
Tamaño: 40-80 mm	Tamaño: 40-80 mm
RCD de origen: Hormigón y material cerámico	RCD de origen: Hormigón limpio
Aplicaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Rellenos drenajes en soleras, zanjas y trasdos de muros - Accesos provisionales de obra 	Aplicaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Rellenos drenantes en soleras, zanjas y trasdos de muros - Accesos provisionales de obra
Normativa: <ul style="list-style-type: none"> - PG-3, Art.421 - UNE-EN13242. - GEAR-RT-02 	Normativa: <ul style="list-style-type: none"> - PG-3, Art.421 - UNE-EN13242. - GEAR-RT-02

Tabla 3.02. Ficha técnica de las gravas recicladas



Zahorra reciclada mixta	Zahorra reciclada de hormigón
	
<p><i>Fig 3.07. Zahorra reciclada mixta</i></p>	<p><i>Fig 3.08. Zahorra reciclada de hormigón</i></p>
<p>Proceso: Triturado</p>	<p>Proceso: Triturado</p>
<p>Tamaño: 0-40 mm</p>	<p>Tamaño: 0-40 mm</p>
<p>RCD de origen: Principalmente hormigón y material cerámico</p>	<p>RCD de origen: Hormigón limpio</p>
<p>Aplicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Subbases de firmes - Coronación de terraplenes - Caminos - Drenajes urbanos sostenibles 	<p>Aplicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Árido para bases y subbases de firmes de carreteras para cualquier categoría de tráfico (T2 a T4).
<p>Normativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - PG-3, Art.330. - UNE-EN 13242. - GEAR-RT-02 	<p>Normativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - PG-3, Art.510. - UNE-EN13242. - GEAR-RT-01

Tabla 3.03. Ficha técnica de las zaborras recicladas

Suelo tolerable	Suelo adecuado
	
<p>Fig 3.09. Suelo tolerable</p>	<p>Fig 3.10. Suelo adecuado</p>
<p>Proceso: Precibado</p>	<p>Proceso: Precibado</p>
<p>Tamaño: 0-30 mm</p>	<p>Tamaño: 0-40 mm</p>
<p>RCD de origen: Hormigón, materiales cerámicos y tierras con bajo contenido de impropios</p>	<p>RCD de origen: Hormigón limpio y tierras</p>
<p>Aplicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cimentación de terraplenes - Restauraciones 	<p>Aplicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Explanadas de firmes de carreteras - Caminos rurales - Relleno de zanjas - Explanada en vías ciclistas
<p>Normativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - PG-3, Art.330. - UNE-EN 13242. - GEAR-RT-02 	<p>Normativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - PG-3, Art.330. - UNE-EN 13242. - GEAR-RT-02

Tabla 3.04. Ficha técnica de los suelos reciclados

Con esto, los áridos reciclados tienen numerosas aplicaciones en obra civil. Sus principales usos son:

- **Rellenos y terraplenes**
- **Bases y subbases de carreteras**
- **Zahorras recicladas**
- **Capas de drenaje**

Por otro lado, los áridos reciclados procedentes del tratamiento de RCD también poseen múltiples usos en obras de edificación. Esto conlleva muchas ventajas entre las que se incluyen la reducción del consumo de materias primas y la obtención de créditos para certificaciones como Leed, Breeam y VERDE.

“Hormigón reciclado” – Molin



Un ejemplo del uso de estos áridos reciclados es el fabricante de hormigones Molin. Fabrican varios tipos de hormigones de calidad empleando áridos procedentes de la valorización del hormigón [Fig. 3.11]. Sus campos de aplicación consisten en: [40]

- **Hormigón por dosificación** (100% de árido reciclado)
- **Hormigón de limpieza** (100% de árido reciclado)
- **Hormigón en masa** (20% de árido reciclado respecto al árido total)
- **Hormigón armado** (20% de árido reciclado respecto al árido total)



Fig 3.11. Vertido de hormigón

Las limitaciones de cantidad de áridos reciclados por tipo de hormigón vienen definidas en el Código Estructural (RD470/2021). Estos áridos reciclados son utilizados, normalmente, en hormigones no estructurales para soleras y rellenos, por ejemplo. [Fig. 3.12]



Fig 3.12. Grava reciclada de hormigón

Por otra parte, existen diferentes fabricantes que, apostando por la sostenibilidad y la innovación, deciden crear nuevos materiales que incorporan los RCD. Estos ejemplos de buenas prácticas buscan otras formas de construir arquitectura más sostenibles y eficientes.

“K-Brick” - KENOTEQ

Kenoteq es un fabricante de ladrillos sostenibles de Reino Unido desde el año 2019. Fabrican sus productos con un 90% de áridos procedentes de la valorización de RCD, incluyendo escombros, ladrillos y morteros. Consiguen llegar hasta un 95% de contenido de residuos incorporando placas de yeso y pigmentos reciclados a los áridos. [31] [Fig. 3.13]



Fig 3.13. Ladrillos K-Brick de colores

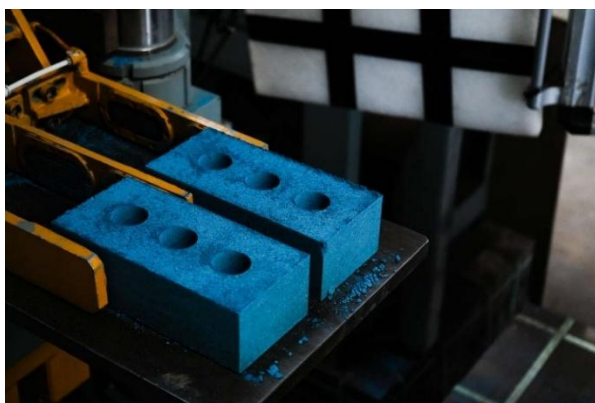


Fig 3.14. Ladrillos K-Brick azules

El proceso de producción de los ladrillos “K-Brick” frente a los ladrillos tradicionales se diferencia en el empleo de una prensa hidráulica que comprime el material a altas presiones [Fig. 3.14]. Después, los ladrillos son curados a bajas temperaturas en cámaras de secado, en vez de ser horneados. De esta forma, consiguen reducir el gasto que consume la fabricación de ladrillos tradicionales a un 10% de la energía. [31]

“Gaviones reciclados” - GAVION COMPACT

Gavion Compact es un fabricante de gaviones que emplea un sistema innovador de jaulas que no requiere de mano de obra en el lugar de montaje. Se caracterizan por fomentar el uso de áridos reciclados. Emplean áridos procedentes de hormigón reciclado y árido siderúrgico descontaminado para la elaboración de los gaviones. [23] [Fig. 3.15]



Fig 3.15. Gavión de árido reciclado

“Placo Planet” – Placo Saint Gobain

Placo Planet es la primera placa de yeso laminado formada por un 28% de producto reciclado en España. Este nuevo producto se debe al programa “Placo RECICLA”, una iniciativa que forma parte del programa REcircula del fabricante internacional de materiales Saint Gobain. Su objetivo principal es el reciclado de placas de yeso laminado provenientes de RCD [Fig. 3.16]. El servicio de reciclaje Placo organiza un sistema de separación y recogida directamente en obra mediante unos contenedores específicos [Fig. 3.17]. Con esto, se facilita la separación de las placas de yeso laminado desde el origen y, por tanto, se favorece así un mayor porcentaje de reciclado del material.

Las Placo Planet están diseñadas para ser colocadas en tabiques, techos y trasdosados, cubriendo las mismas necesidades que una placa de yeso laminado tradicional, además de minimizar su impacto ambiental al ser 100% reciclable. [56]



Fig 3.16. Placas de yeso laminado reciclado



Fig 3.17. Contenedor de yeso reciclado

Por último, cabe destacar diversas iniciativas artísticas que ponen de manifiesto que los RCD pueden ser empleados como un recurso creativo también. Su intención es llevar a la reflexión al público sobre la economía circular y el ciclo de vida de los materiales, poniendo en valor lo que se suele percibir como desecho. Se van a exponer dos casos: el pabellón **“Build of Site”** y el concurso de escultura **“Escombrarte”**.

“Build of Site” - Pabellón de Dinamarca en la Bienal de Venecia

Para la Bienal de Venecia de 2025, el pabellón danés presentó una exposición llamada **“Build of Site”**, por parte del arquitecto Søren Pihlmann. Ubicado en un conjunto de edificios históricos, esta propuesta exhibía el proceso de rehabilitación del complejo, poniendo en valor el proceso constructivo del pabellón, el cual da la sensación de estar inacabado [Fig. 3.18]. [5]



Fig 3.18. Exposición “Build of Site”

De esta forma, la exposición está compuesta por montones de escombros, armaduras a la vista, partes sin pavimento, mobiliario hecho con escombros de la propia obra... Se obtiene una sensación de entrar a una reforma a medio hacer, con salas con distinto nivel de desmontaje. Así pues, los escombros y los residuos cobran importancia, frente a lo acabado y lo perfecto. Lo que lleva a reflexionar sobre la cultura de usar y tirar, y sobre el valor que se le puede dar a los RCD. [5]



Fig 3.19. Muestrario de reciclados



Fig 3.20. Detalle inacabado

“Escombrarte” – Concurso de escultura

“Escombrarte” es un concurso internacional de escultura hecha con materiales de construcción reciclados. Este evento es organizado por el centro de reciclaje de RCD “AR Los Huertos”. La 14ª edición fue celebrada este último año, 2025. Las propuestas fueron muy variadas, lo que demuestra las infinitas posibilidades que aportan los RCD. [47]

ESCOMBRARTE



Fig 3.21. Escultura “Cadena Perpetua” de María Guzmán



Fig 3.22. Escultura “Cal de mare” de Marie-Laure Sudreau



Fig 3.23. Escultura “Dama con abanico” de Fernando Herranz



Fig 3.24. Escultura “Gorriones al ocaso” de Julio César Bracho



Fig 3.25. Escultura "Tsukumogami marino" de Darío Rodríguez



Fig 3.26. Escultura "Elegía" de Matilde Navarro



Fig 3.27. Escultura "Obra nueva" de Ángel Lamela



Fig 3.28. Escultura "Casa con wifi" de Agustín García

4. Casos de estudio: proyectos arquitectónicos destacados

Se ha realizado una selección de tres casos de estudio que incluyen los RCD en la arquitectura actual. Se van a estudiar los siguientes casos: las **viviendas sociales 2104** de H Arquitectes, el **parque Venecia** de Héctor Fernández Elorza, y el **museo de diseño de Gante** de Carmody Groarke. Estos proyectos poseen diferentes programas y escalas, demostrando las múltiples posibilidades que poseen los RCD. En estos casos, se pueden identificar distintas estrategias reales de reutilización y valorización de RCD aplicada a la arquitectura actual, lo que los coloca como grandes referencias en lo relativo a la economía circular y la sostenibilidad.

4.1 Viviendas sociales 2104 – H Arquitectes

Arquitectos	H Arquitectes
Colaboradores	Anna Burgaya, Ángeles Torres, Cynthia Rabanal, Víctor Jorgensen
Proyecto	2021-2022
Obra	2022-2025
Localización	Palma de Mallorca, Illes Balears
Tipo de intervención	Residencial
Superficie construida	1.610 m ²
Fotografía	Adrià Goula

Tabla 4.01. Ficha técnica del proyecto “Viviendas sociales 2104” [24]

Las viviendas sociales 2104 es un proyecto residencial diseñado por el estudio H Arquitectes, destinado principalmente para personas mayores. Se encuentra situado en una parcela en la que había una antigua escuela contruida. Debido a su mal estado de conservación y a que se encontraba fuera de la normativa de ordenación actual, era necesario su derribo. Se decidió reaprovechar el material de derribo de la escuela para construir el nuevo edificio residencial [Fig. 4.01]. Esto se convirtió en el aspecto fundamental del proyecto, basándose en el concepto de “minería urbana” el cual consiste en el uso de los recursos provenientes del medio urbano.



Fig 4.01. Demolición antigua escuela

Los escombros del edificio derribado fueron clasificados y empleados en diferentes partes del nuevo edificio. Los principales residuos de demolición que se obtuvieron de la antigua escuela fueron: marés, cerámicos y hormigón. Se reaprovecharon 140 m³ de residuos cerámicos y hormigón para la construcción de pozos de

cimentación y los muros del semisótano. Por otro lado, se emplearon 160 m³ de marés para la fabricación de 3.000 bloques de hormigón ciclópeo, elaborado con una mezcla de cemento, cal y marés reciclado el cual supuso el 40% de la mezcla total. Para facilitar la fabricación de los bloques, se elaboraron losas de 4x4 m² para, más tarde, ser cortadas en bloques de distintos tamaños por un gran disco-sierra [Fig. 4.02]. Los bloques tienen unas dimensiones de 135 cm de largo, 45 cm de altura y un ancho variable (64, 54, 44, 34 cm). [24]



Fig 4.02. Fabricación bloques de marés reciclado

El resultado son estos bloques en los que se aprecia los grandes trozos del marés reutilizado [Fig. 4.03]. El proceso constructivo del edificio consistió en el apilamiento de estos bloques para generar muros de carga principales de 60 cm de grosor, y secundarios de 13 cm de grosor, además de la colocación de techos de madera contralaminada. [24] [Fig. 4.04]



Fig 4.03. Bloques de marés reciclado

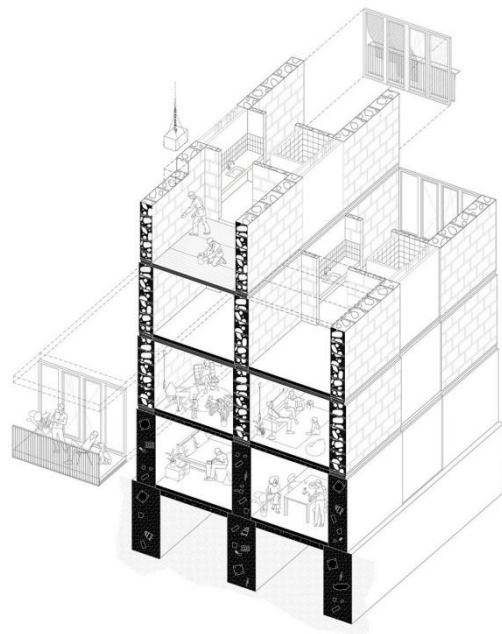


Fig 4.04. Axonometría viviendas sociales 2104

Los bloques adquieren gran importancia en el proyecto dado que la textura se deja a la vista tanto por el exterior del edificio, como por el interior de la vivienda [Fig. 4.05] [Fig. 4.06]. Se accede a las viviendas por pasarelas que dan al jardín interior, y también se crearon espacios comunitarios para salas de estar y lavandería.



Fig 4.05. Viviendas sociales 2104



Fig 4.06. Interior de las viviendas

4.2 Parque Venecia – Héctor Fernández Elorza y Manuel Fernández Ramírez

Arquitectos	Héctor Fernández Elorza y Manuel Fernández Ramírez
Proyecto	2008
Año	2011
Localización	Zaragoza, España
Tipo de intervención	Infraestructura urbana
Superficie construida	2,5 hectáreas
Fotografía	Montse Zamorano

Tabla 4.02. Ficha técnica del proyecto “Parque Venecia” [21]

El proyecto parque Venecia es una intervención de infraestructura urbana construida en un solar de grandes dimensiones entre un nuevo barrio de la ciudad y el Canal Imperial de Aragón [Fig. 4.07]. El proyecto nace a partir de una serie de problemáticas que dificultaban su inicio: la presencia de una antigua gravera y restos de un vertido de residuos inertes, una topografía muy desfavorable con un desnivel de hasta 14 m, contaminación acústica proveniente del tráfico de carreteras próximas y, por último, acumulación de aguas pluviales. [21]



Fig 4.07. Parque Venecia

Con todo esto, los arquitectos Héctor Fernández Elorza y Manuel Fernández Ramírez diseñaron este espacio público que responde a las necesidades del contexto, encontrando oportunidades en las contrariedades. Este proyecto está compuesto por varias partes. Primero, se crea una “balsa de laminación soterrada” que recoge y regula el caudal de lluvia, para solucionar la acumulación de aguas pluviales. De esta forma, se evita la sobrecarga del sistema municipal de red urbana, a la vez que se crea un gran espacio que sirve de plaza pública peatonal de unos 3.150 m² y protegida del viento. [21] [Fig. 4.08] [Fig. 4.09]



Fig 4.08. Plaza peatonal



Fig 4.09. Plaza peatonal

En lo que respecta a la gestión de los RCD, este proyecto incorpora residuos procedentes del movimiento de tierras de la parcela. El emplazamiento poseía un planeamiento previo muy poco pensado en el que no se tuvo en cuenta las grandes cantidades de tierra que eran necesarias mover. Por ello, esta enorme cantidad de material, el cual iba a desaparecer, se decide convertirlo en la característica fundamental del proyecto. Se decide separar por granulometrías los residuos del movimiento de tierras para emplearlos en distintas partes del proyecto [Fig. 4.10].

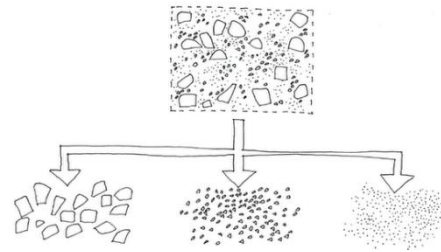


Fig 4.10. Diagrama granulométrico

El árido fino se reutilizó para resolver los desmontes, mientras que el árido mediano se reaprovechó en la construcción de una contención escalonada de muros de tierra armada, resolviendo así el gran desnivel topográfico que presentaba el terreno. [19] [Fig. 4.11] [Fig. 4.12]



Fig 4.11. Tierra armada



Fig 4.12. Muro de tierra armada

Por último, los restos de piedras de gran tamaño fueron empleados en la construcción de un muro de hormigón ciclópeo. Este árido grueso queda a la vista, otorgando a la entrada del parque una textura muy especial. A su vez, estos muros actúan de barrera acústica, protegiendo así las futuras viviendas al otro lado del parque. [Fig. 4.13] [Fig. 4.14]



Fig 4.13. Residuos árido grande



Fig 4.14. Muro de hormigón ciclópeo

Este proyecto demuestra que los RCD se pueden reaprovechar de múltiples maneras y escalas. Invita a reflexionar sobre la responsabilidad del arquitecto para llevar a la arquitectura hacia el camino de la circularidad.

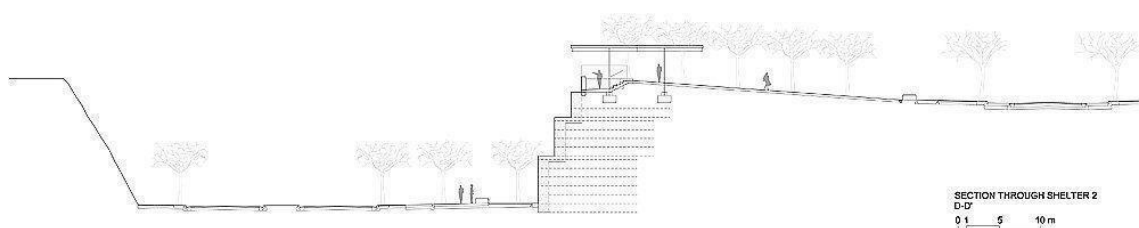


Fig 4.15. Sección parque Venecia

4.3 Museo de diseño de Gante – Carmody Groarke

Arquitectos	Carmody Groarke
Colaboradores	TRANS Architects
Socios promotores	Local Works Studio y BC Materials
Proyecto	2020
Obra	En construcción, próxima apertura en 2026
Localización	Gante, Bélgica
Tipo de intervención	Ampliación de museo
Superficie	1.980 m ²
Fotografía	Cinzia Romanin, Thomas Noceto y Bart van Leuven

Tabla 4.03. Ficha técnica del proyecto “Museo de diseño de Gante” [8]

Este proyecto consiste en una renovación y ampliación del Museo de Diseño de Gante (DING). Este edificio histórico del siglo XVIII acoge, hoy en día, numerosos objetos de diseño, entre los que se encuentran: muebles, lámparas, objetos decorativos, joyería, utensilios cotidianos, etc. Se puede encontrar la colección de Art Nouveau más importante de toda Bélgica, donde se exhibe el trabajo de artistas flamencos como Henry van de Velde y Víctor Horta.

En este contexto, nace la idea de ampliar el museo con una nueva ala que acogiese espacios para nuevas galerías, exposiciones temporales y eventos. Este proyecto fue diseñado por el estudio de arquitectura londinense Carmody Groarke, junto con la colaboración del estudio belga TRANS Architects [Fig. 4.16]. Se diseñó una ampliación que ocupa la esquina de la parcela, completando así el patio histórico del museo. El programa del edificio se reparte en cinco plantas, de las cuales la última queda rematada por un espacio diáfano que se abre a la ciudad de Gante ofreciendo una gran vista del paisaje urbano a los visitantes. [8]

Sin embargo, el aspecto más relevante de este proyecto desde el punto de vista de RCD es su fachada, para la cual se decidió diseñar un nuevo material que respetase la identidad del museo y su entorno. El “Gent Waste Brick” fue desarrollado en colaboración con los estudios belgas Local Works Studio y BC Materials, especializados en el diseño de materiales [Fig. 4.17]. Este nuevo ladrillo incorpora RCD locales con objetivo de reaprovechar los residuos disponibles y conseguir el kilómetro 0 de los recursos. El ladrillo está elaborado con residuos de hormigón y vidrio, los cuales son filtrados y clasificados, para más tarde ser mezclados con cal hidráulica como conglomerante.



Fig 4.16. Museo de diseño de Gante



Fig 4.17. Gent Waste Brick

El proceso de elaboración del “Gent Waste Brick” constó de cuatro etapas: triturado [Fig. 4.18], mezclado [Fig. 4.19], prensado [Fig.4.20], fraguado y curado [Fig. 21]. [6]

1. Triturado



Fig 4.18. Triturado de materiales

2. Mezclado



Fig 4.19. Mezclado de materiales

3. Prensado



Fig 4.20. Prensado hidráulico ladrillos

4. Fraguado y curado



Fig 4.21. Fraguado y curado al aire.

A diferencia de los ladrillos tradicionales, estos ladrillos se curan, en vez de cocerse lo que ayuda a reducir el consumo de energía durante la producción. Con esto, el resultado es un ladrillo de color claro, respetando el aspecto de los edificios contiguos, y con un contenido de residuo local en torno a un 63%. Este proceso de fabricación, sumado al uso de áridos reciclados, da como resultado un ladrillo con 0,17 kg de CO₂e/kg. [6]

Los ladrillos son fabricados en un centro de producción de la ciudad de Gante a menos de 5 km del museo, con la intención de mantenerse en un radio de proximidad y reducir las emisiones asociadas al transporte. Los ladrillos fueron compactados con una prensa hidráulica móvil diseñada específicamente para este proyecto, lo que mecanizó y agilizó en gran medida el proceso de producción. El proceso de producción de los ladrillos duró cuatro meses en los que se fabricaron 82.000 bloques, con un total de 230 toneladas de material producido. [6]

Además, fueron sometidos a ensayos y pruebas que determinaron que el “Gent Waste Brick” es apto para su utilización para la exterior de la fachada, según normativas europeas y del BCCA (Asociación Belga de Certificación de la Construcción).

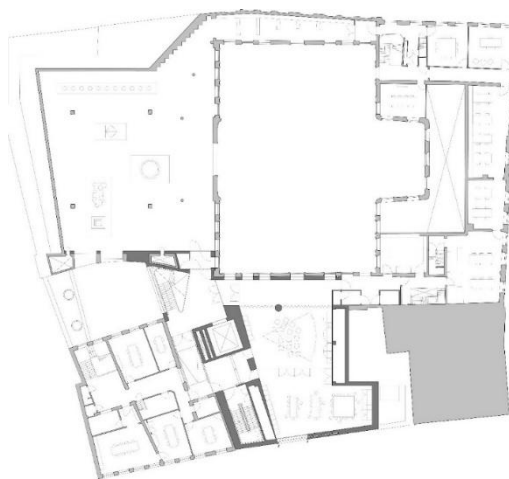


Fig 4.22. Planta Museo de diseño de Gante

5. Residuos cerámicos

5.1. Fabricación de la cerámica

La cerámica es uno de los materiales más antiguos utilizados en construcción. Desde los inicios de la civilización, se pueden encontrar materiales cerámicos en muchas construcciones de culturas como Mesopotamia, Egipto o Sumeria. Esto se debe a la gran versatilidad y durabilidad que caracteriza a este material. Los materiales cerámicos pueden ser empleados de muchas formas distintas. Se pueden encontrar en ladrillos, tejas, baldosas, azulejos, etc., a lo largo de toda la historia.

La cerámica se obtiene a partir de arcilla y otros minerales como sílices y feldespatos, fundamentalmente. Estos se someten a altas temperaturas mediante un proceso de cocción con el cual adquieren resistencia, rigidez y estabilidad. Con ello, el material adquiere las siguientes características: [1]

- Alta dureza
- Resistencia a compresión
- Durabilidad: resistencia a corrosión y desgaste
- Baja conductividad: aislamiento térmico y eléctrico
- Estabilidad química
- Fragilidad: baja resistencia a tracción y flexión

Más concretamente, el origen del ladrillo cocido se data hace más de 10.000 años en el Medio Oriente. Se pueden encontrar ladrillos en muchos monumentos históricos alrededor del mundo y a lo largo de la historia. Algunos ejemplos relevantes de diferentes periodos son:

Zigurat de Ur [Fig. 5.01]
(s. XXI a.C) (Irak)

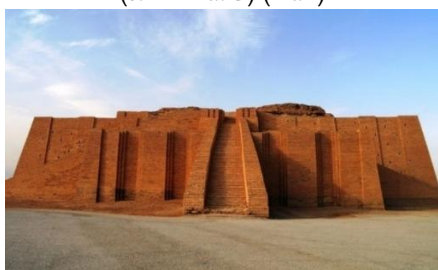


Fig 5.01. Zigurat de Ur

Puerta de Ishtar [Fig. 5.02]
(s. VI a.C) (Babilonia)

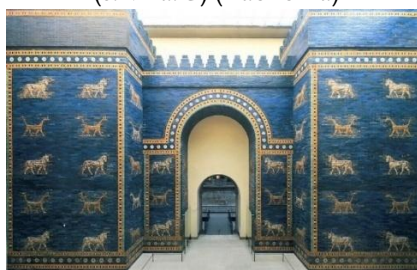


Fig 5.02. Puerta de Ishtar

Termas de Caracalla [Fig. 5.03]
(s. III d.C) (Roma)



Fig 5.03. Termas de Caracalla

El proceso de producción de la cerámica ha evolucionado en gran medida a lo largo de toda la historia y, sobre todo, en las últimas décadas. Actualmente, los procesos de fabricación de los materiales cerámicos se encuentran altamente automatizados y siguen las siguientes etapas: [15]

1. Extracción

El proceso de producción de los materiales cerámicos comienza con la obtención de las materias primas, principalmente la arcilla. Estas son extraídas de canteras y transportadas a centros de procesamiento. Antes de comenzar con la fabricación, la materia prima es almacenada en la planta. Existen diferentes clases de almacenamiento según el tipo de molienda llevada a cabo: por la vía húmeda (arcilla se mezcla con agua para formar una pasta) y por la vía seca (arcilla se tritura y muele en seco, sin agua) [Fig. 5.04].

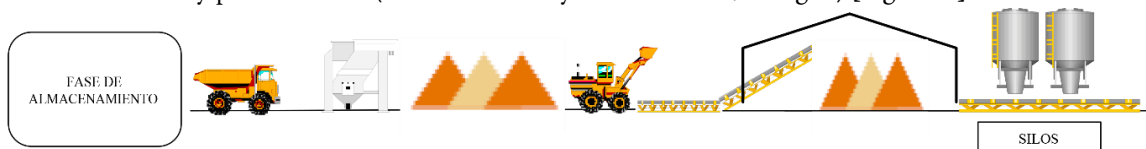


Fig 5.04. Esquema de producción de materiales cerámicos. Fuente: Hispalyt

2. Desmenuzado, mezcla y molienda

La fabricación de los materiales cerámicos comienza con el “desmenuzado”, proceso mediante el cual se tritura y muele la materia primer para reducir el tamaño de las partículas de grano, con el fin de lograr un conjunto homogéneo. Los diferentes tipos de arcillas son almacenados en silos antes de proceder con el siguiente paso. A continuación, se mezclan las arcillas con desengrasantes y posibles aditivos en silos independientes con dosificadores o cajones alimentadores [Fig. 5.05].

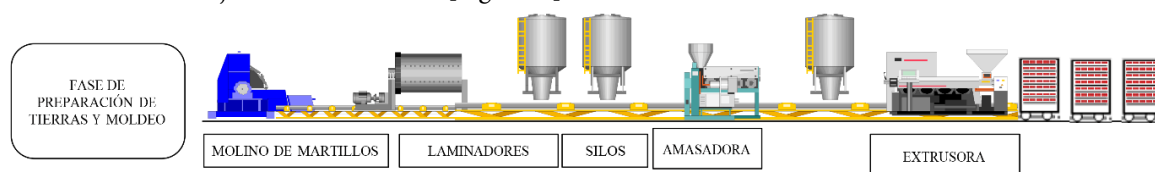


Fig 5.05. Esquema de producción de materiales cerámicos

3. Amasado

Se procede con la mezcla de la arcilla molida con agua en una amasadora hasta lograr una masa plástica moldeable. La cantidad de agua depende del nivel de humedad que contenga la arcilla, así como del tipo de almacenamiento que se haya llevado a cabo.

4. Moldeo

La masa se pasa por una extrusora que ejerce presión en la mezcla y extrae el aire de la masa con una bomba de vacío. De esta forma, el resultado es una barra extrusionada de material con la forma del producto.

5. Cortado y apilado

La barra extrusionada de material es trasladada a una cortadora la cual genera las piezas con las dimensiones deseadas. El producto final es apilado para proceder con las siguientes fases.

6. Secado y cocción

Antes del horneado, los materiales cerámicos deben ser sometidos a un proceso de secado para reducir el contenido de humedad de las piezas hasta un 1-2%. Tras su paso por el secadero, las piezas son llevadas a un horno túnel para su cocción por fases: calentamiento, cocción y enfriamiento [Fig. 5.06].

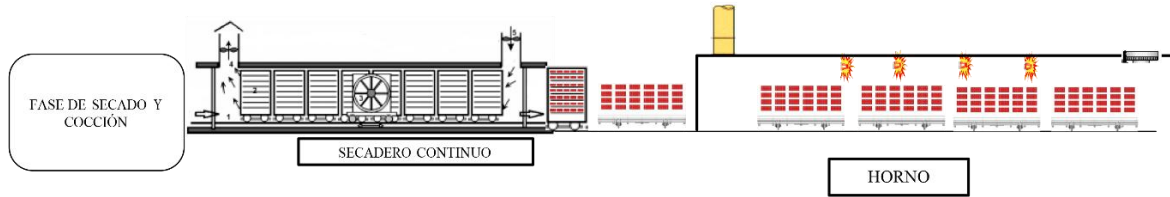


Fig 5.06. Esquema de producción de materiales cerámicos

7. Empaquetado y almacenamiento

Finalizado el proceso de cocción, los materiales cerámicos son empaquetados para ser transportados a las obras de construcción [Fig. 5.07].

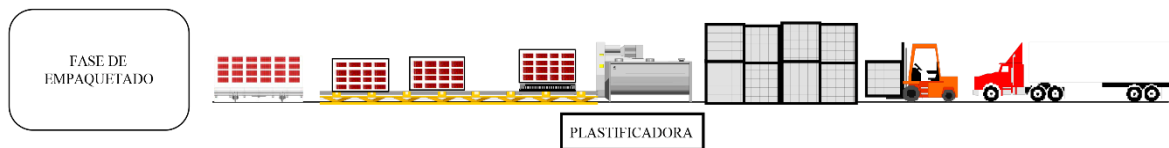


Fig 5.07. Esquema de producción de materiales cerámicos

En la actualidad, la producción de materiales cerámicos ha ido aumentando en la última década, como se muestra en los siguientes datos proporcionados por la Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida (Hispalyt, 2024). [26]

A continuación, se puede observar un desglose de la producción por tipo de material cerámico publicado en el Informe de Coyuntura Económica Cepco, elaborado por la Confederación Española de Asociaciones de Fabricantes de Productos de Construcción en el año 2020. [28] [Fig. 5.08]

Familia de productos	%	ton/año
Adoquines	0,5%	23.365
Ladrillos Cara Vista	13%	659.490
Bovedillas	2%	76.095
Ladrillos y bloques para revestir	55%	2.790.150
Tableros	6%	304.380
Tejas	15%	760.950
Otros	9%	456.570
Total	100%	5.073.000

Tabla 5.02. Producción por tipo de material

Año	Nº empresas	Producción (Tn/año)	Volumen negocio (millones €)	Nº empleados
2014	300	3.900.000	350	3.600
2015	200	4.100.000	370	3.700
2016	185	4.350.000	380	3.800
2017	170	4.785.000	400	4.000
2018	140	5.073.000	420	3.950
2019	135	5.350.000	450	4.000
2020	130	5.210.000	465	4.100
2021	130	6.300.000	615	4.550
2022	130	5.300.000	850	4.550
2023	130	5.600.000	720	4.790
2024	130	5.450.000	719	4.877
Comparativo 2024-2023	0,00%	-2,70%	-0,10%	1,80%

Tabla 5.01. Sector de la cerámica estructural

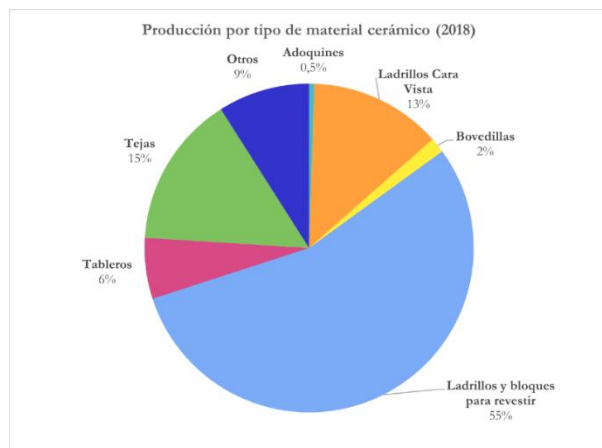


Fig 5.08. Producción de material cerámico por tipo de producto

Con esto, los materiales cerámicos se mantienen como uno de materiales fundamentales en el sector de la construcción, tanto por su tradición y durabilidad, como por su versatilidad y adaptabilidad a las nuevas necesidades actuales.

5.2. Tratamiento de los residuos cerámicos y aplicación

Como se ha visto en el apartado anterior, los materiales cerámicos son uno de los productos más comunes en el sector de la construcción y, por tanto, su elevado uso genera grandes cantidades de residuos. La recuperación y el reciclaje de los residuos cerámicos no posee una normativa específica en España, lo que dificulta su aplicación. En cambio, los residuos procedentes del hormigón sí poseen cierta normativa que los regula, por lo que su empleo está mucho más generalizado. Por estas razones, se ha decidido centrar la investigación en los residuos cerámicos y fomentar así su uso en la arquitectura.

Por tanto, ¿qué se puede hacer con el residuo cerámico para que pueda reutilizarse? [Fig. 5.09]



Fig 5.09. Residuos cerámicos

Los residuos cerámicos se pueden valorizar de dos formas distintas:

Como ya se ha visto con anterioridad, se puede generar árido reciclado a partir de los residuos cerámicos. Sin embargo, suelen venir mezclados con otros tipos de residuos ya sean hormigón, asfalto, etc. Estos áridos suelen ser empleados para:

- **Terraplenes y rellenos**
- **Capas firmes de carreteras**
- **Fabricación de hormigón reciclado**

Su uso depende de la composición mayoritaria de los residuos. La fabricación de hormigón reciclado se encuentra mucho más limitada. El material principal de sus áridos reciclados debe ser hormigón valorizado, aunque admite cierta cantidad de residuo cerámico. Sin embargo, las otras dos aplicaciones son mucho más comunes para los residuos cerámicos.

Por otro lado, estos residuos también pueden ser reutilizados mediante su valorización en nuevos materiales para la arquitectura. Estos pueden ser:

- **Fabricación de ladrillos y bloques:** sustitución parcial de la arcilla natural por residuo cerámico molido o chamota procedente de residuos cocidos.
- **Hormigones y morteros:** sustitución parcial del árido utilizado para su fabricación.
- **Elementos prefabricados:** adoquines y pavimentos, bloques no estructurales, paneles, etc.

En estos casos, los residuos cerámicos sustituirían parcialmente al árido natural, por tanto, se requiere un tratamiento más específico para estas aplicaciones.

Los escombros de residuos cerámicos componen una mezcla muy heterogénea, lo que genera una composición química variable, dificultando su reutilización y aplicación. Según un informe del Centro de estudios y experimentación de obras públicas sobre los RCD, se pueden tomar los siguientes datos orientativos: [10]

	Escombros cerámicos
SiO ₂	40-50
Al ₂ O ₃	6-8
Fe ₂ O ₃	2-4
CaO	20-28
MgO	0-1

Tabla 5.03. Composición química

Con el objetivo de ejemplificar el potencial de reutilización de los residuos cerámicos, se ha realizado una búsqueda de fabricantes, estudios de investigación, proyectos, etc.

“Wastebasedbrick” – DC Bricks



DC Bricks es un fabricante holandés de ladrillos cerámicos. Sin embargo, sus ladrillos no se limitan a las soluciones tradicionales, sino que incorporan un 60% de residuo cerámico proveniente del sector de la construcción en los Países Bajos. Su filosofía se centra en la fabricación de ladrillos, un material de siempre y tradicional, pero con una visión de futuro. Desarrollan su producto el “wastebasedbrick” con un 40% de arcilla natural de alta calidad y un 60% de residuos cerámicos reciclados. [22]

El proceso de elaboración de sus productos comienza con la selección de los residuos a reutilizar. Una vez son triturados, los residuos son mezclados con arcilla natural proveniente de Alemania. La mezcla es prensada en moldes y llevada a unos secaderos. Tras el secado, se introducen en el horno, donde son cocidos a bajas temperaturas, a unos 200°. El resultado es un ladrillo que puede ser utilizado en fachada, para mobiliario y para pavimentos exteriores e interiores. [Fig. 5.10]



Fig 5.10. Waste based bricks

Características del “wastebasedbrick” [22]

Dimensiones medias	218 x 104 x 50
Tolerancia de tamaño	T2
Distribución de tamaño	R1
Masa volumétrica bruta	1920 kg/m ³
Resistencia media a compresión	≥ 15 N/mm ²
Absorción inicial de agua	IW3 normalmente absorbente 1,5 – 4,0 kg/m ² ·min
Absorción de agua	≤ 10%
Resistencia a la congelación y descongelación	F2 clase D de escarcha

Tabla 5.04. Características técnicas del “Waste based brick”

“Mortero higroscópico” – LOOP Disseny

LOOP Disseny es una plataforma que conecta a una gran variedad de arquitectos, diseñadores, investigadores, productores, etc., para llevar a cabo diferentes actividades relacionadas con la sostenibilidad y la economía circular. En el caso de su proyecto “Mortero higroscópico”, su objetivo es crear un nuevo material incorporando residuos cerámicos procedentes del fabricante “Ladrillerías mallorquinas”. Esta empresa produce 250.000 toneladas de material al año, lo que lleva asociado la creación de muchos residuos. Por ello, se decide reaprovechar estos residuos y darles una segunda vida, apostando así por los recursos locales y por el concepto de “kilómetro 0”. [45]

Para la fabricación, se escogió un producto en específico y con mucha identidad, la “bóveda mallorquina”. Estos residuos cerámicos se trituraron y combinaron con piedra reciclada (85%), y cemento blanco como ligante (15%). [Fig. 5.11]

El resultado final son adoquines con una variedad de diseños para pavimentos peatonales y ciclistas. El uso de la cerámica limita la capacidad estructural, por lo que no son aptos para vías con tráfico rodado o cargas pesadas. [Fig. 5.12]

Estos adoquines se caracterizan por su “higroscopicidad”, es decir, por su capacidad de absorber agua y filtrarla directamente al suelo.



Fig 5.11. Residuos y adoquines

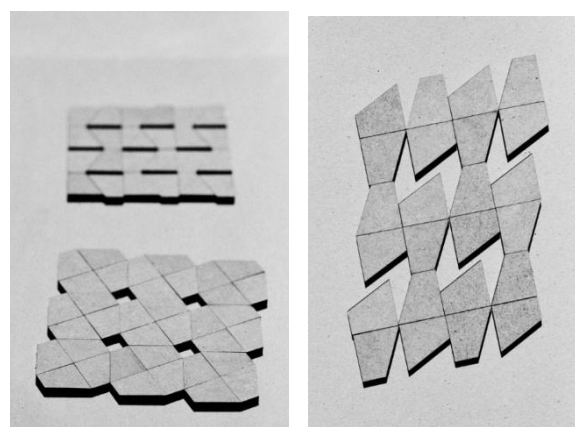


Fig 5.12. Adoquines reciclados

“RECERCO”

RECERCO es un proyecto financiado por la Generalitat Valenciana y la Unión Europea, centrado en el reaprovechamiento de residuos generados durante la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos [Fig. 5.13]. Se trata de materiales descartados por no cumplir los estándares de calidad requeridos para su puesta en el mercado. Su objetivo es la producción de nuevos materiales de construcción, aportando por dos soluciones diferentes: un material cerámico y un composite de matriz polimérica termoestable y termoplástica.

Primero, crean nuevas baldosas cerámicas sustituyendo parcialmente la arcilla natural por residuos cerámicos triturados. Estas baldosas cumplen los estándares para su uso en construcción [Fig.5.14]. Por otro lado, emplean residuos cerámicos como agente de refuerzo para materiales compuestos. Se desarrollaron diferentes formulaciones para distintos materiales como perfilera de PVC o top coats. [30]

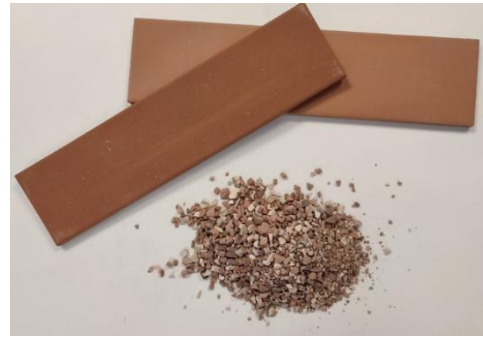


Fig 5.13. Residuos cerámicos



Fig 5.14. Baldosas recicladas

“Ladrillo ecológico” – La Paloma

La Paloma Cerámicas es uno de los fabricantes de productos cerámicos más relevantes de este país. Se trata de una empresa con mucha historia ya que llevan elaborando sus productos desde hace 150 años. En 2024, sacaron su “ladrillo ecológico” elaborado con un 100% de material reciclado proveniente de residuos cerámicos producidos en su propia fábrica [Fig 5.15]. De esta forma, consiguen lograr una economía circular de sus residuos dentro de su propia empresa y, por tanto, una gestión más eficiente de sus recursos. Aunque los residuos para la elaboración del “ladrillo ecológico” no provengan de la construcción como tal, es un ejemplo de buena práctica que apuesta por la economía circular y reduce el uso de nuevas materias primas. [32]



Fig 5.15. Ladrillo ecológico de La Paloma

6. Proceso experimental

6.1. Materiales y métodos

Como complemento al marco teórico de este TFG, se ha decidido enfocar todo lo aprendido durante la investigación en una propuesta de un material que incorpore residuos cerámicos.

Se han escogido los residuos cerámicos como protagonistas del experimento por dos razones principales. Los residuos cerámicos contienen un gran potencial de reutilización poco explorado todavía, además de que se ha detectado una falta de investigación en este ámbito. Se debería impulsar el estudio de este tipo de residuos ya que los materiales cerámicos son uno de los productos más utilizados en construcción y, por tanto, la cantidad de residuos cerámicos producida es muy elevada. Por otro lado, durante las visitas a las plantas de tratamiento de RCD se observó que los residuos cerámicos se encuentran altamente desaprovechados. Siempre se encuentran mezclados con otros tipos de residuos que dificultan su reutilización [Fig. 6.01].



Fig 6.01. Zaborra reciclada mixta

El objetivo de esta propuesta es la elaboración de un ladrillo que contenga residuos cerámicos y evaluar sus propiedades, determinando su uso potencial en construcción.

Para la elaboración de la propuesta, se ha seguido el siguiente procedimiento:

1. Obtención de los residuos:

Se han seleccionado residuos cerámicos de diferentes localizaciones con el objetivo de reunir una gran variedad de tipos distintos. Para la propuesta, era importante acercarse a la realidad lo máximo posible. Los RCD cerámicos son muy variados, incluyendo tejas, ladrillos, adoquines, baldosas... Cada uno de estos posee unas características y un tratamiento térmico diferente, por lo que es imposible conseguir una mezcla homogénea. Por ello, se han obtenido residuos cerámicos de diferentes tipos, localizaciones y colores, con la intención de tener un espectro amplio de cerámicos para el desarrollo de la propuesta.



Fig 6.02. Residuos cerámicos obtenidos

ID del residuo	RC-01	 <p><i>Fig 6.04. RC-01</i></p>
Tipo de residuo cerámico	Ladrillo macizo	
Origen	ETSAM	
Imagen microscopio	 <p><i>Fig 6.03. Microscopio RC-01</i></p>	

Tabla 6.01. RC-01

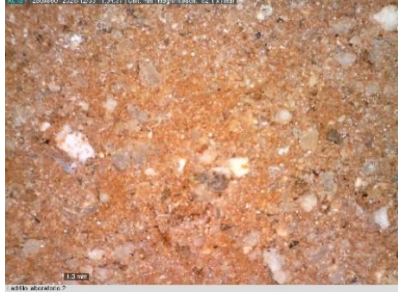
ID del residuo	RC-02	 <p><i>Fig 6.06. RC-02</i></p>
Tipo de residuo cerámico	Ladrillo macizo	
Origen	Laboratorio	
Imagen microscopio	 <p><i>Fig 6.05. Microscopio RC-02</i></p>	

Tabla 6.02. RC-02



ID del residuo	RC-03	 <p><i>Fig 6.08. RC-03</i></p>
Tipo de residuo cerámico	Fragmentos sueltos	
Origen	Laboratorio	
Imagen microscopio	 <p><i>Fig 6.07. Microscopio RC-03</i></p>	

Tabla 6.03. RC-03

ID del residuo	RC-04	
Tipo de residuo cerámico	Tejas	
Origen	Planta RCD Buitrago de Lozoya	
Imagen microscopio	 <p><i>Fig 6.09. Microscopio RC-04</i></p>	

Tabla 6.04. RC-04

Fig 6.10. RC-04

ID del residuo	RC-05	
Tipo de residuo cerámico	Ladrillo perforado	
Origen	Contenedor de obra ETSAM	
Imagen microscopio	 <p><i>Fig 6.11. Microscopio RC-05</i></p>	

Tabla 6.05. RC-05

Fig 6.12. RC-05


ID del residuo	RC-06	
Tipo de residuo cerámico	Ladrillo perforado	
Origen	Contenedor de obra	
Imagen microscopio	 <p><i>Fig 6.13. Microscopio RC-06</i></p>	

Tabla 6.06. RC-06

Fig 6.14. RC-06

2. Limpieza de los residuos

Se han eliminado las impurezas adheridas a los residuos, en la medida de lo posible. Se han lavado con agua los materiales para quitar los residuos no deseados para que la mezcla fuese lo más homogénea posible. Principalmente, se han encontrado trozos de mortero adherido, los cuales han sido eliminados con agua y un cepillo, o en algunos casos, con un martillo.

3. Trituración

Se ha llevado a cabo el proceso de trituración de los residuos para obtener la granulometría más fina posible. El laboratorio de la ETSAM no posee una trituradora para este tipo de trabajos, por tanto, se ha recurrido al método manual. Los residuos fueron sometidos a dos procesos de trituración diferentes. Se comenzó con un martillo para romper los residuos más grandes. Una vez obtenidos trozos más pequeños, se molieron con un mortero para conseguir un grano más fino todavía. Tras la primera trituración, los resultados fueron los siguientes:

RC-01



Fig 6.15. RC-01 triturado

RC-02



Fig 6.16. RC-02 triturado

RC-03



Fig 6.17. RC-03 triturado

RC-04



Fig 6.18. RC-04 triturado

RC-05



Fig 6.19. RC-05 triturado

RC-06



Fig 6.20. RC-06 triturado

4. Tamizado

Tras la trituración de los residuos, estos fueron pasados a través de tamices para clasificar por tamaño de partícula cada residuo, y de esta forma quedarse con el grano más fino posible. Se utilizaron los tamices de 4 mm y 2 mm. Por tanto, para la propuesta se tomará el árido pasado por el tamiz 2 mm como árido fino, y el pasado por el tamiz 4 mm como árido grueso.



Fig 6.21. Tamizado de los residuos



Fig 6.22. Tamices 2 mm y 4 mm

5. Residuos obtenidos

El resultado de la trituración y el tamizado es bastante variado. Se aprecian distintos tamaños de grano según el tipo de residuo. Lo ideal sería lograr una homogeneidad de tamaño entre todos los tipos de residuos, y cuánto más fino, mejor. Esto se conseguiría con una trituradora mecánica.

Se han obtenido las siguientes cantidades de árido por tipo de residuo:

2 mm		4 mm	
Tipo de residuo	Cantidad (g)	Tipo de residuo	Cantidad (g)
RC-01	1814 g	RC-01	432,6 g
RC-02	641 g	RC-02	-
RC-03	303 g	RC-03	-
RC-04	224 g	RC-04	489,9 g
RC-05	562 g	RC-05	157,9 g
RC-06	474 g	RC-06	296,7 g
Total	4018 g	Total	1337 g

Tabla 6.07. Pesos de cada tipo de residuo obtenido



Fig 6.23. Áridos obtenidos

RC-01



Fig 6.24. RC-01 obtenido

RC-02



Fig 6.25. RC-02 obtenido

RC-03



Fig 6.26. RC-03 obtenido

RC-04



Fig 6.27. RC-04 obtenido

RC-05



Fig 6.28. RC-05 obtenido

RC-06



Fig 6.29. RC-06 obtenido

6. Fabricación del molde

En el molde, era importante dejar un ancho mínimo de 10 cm por el interior ya que esa es la dimensión del disco de la prensadora hidráulica que se empleará para compactar el ladrillo. Además, se han cortado unas tablas con las dimensiones del molde, con el objetivo de que repartan uniformemente la presión ejercida por el disco en todo el ladrillo.

Se han fabricado tres moldes con tableros de aglomerado con melamina con las siguientes dimensiones:

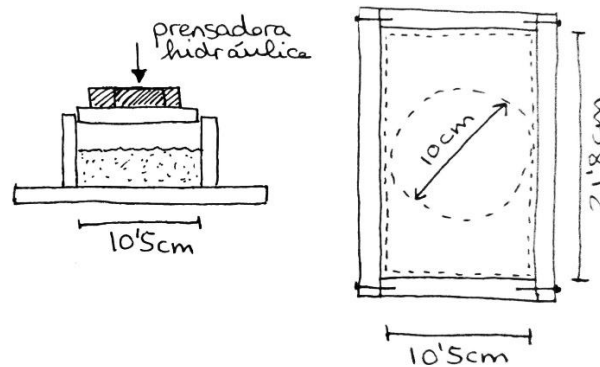


Fig 6.30. Dimensiones del molde



Fig 6.31. Cortado del material



Fig 6.32. Moldes terminados

7. Definición de la mezcla

El objetivo de esta propuesta experimental es comparar el comportamiento de los residuos cerámicos combinados con distintos tipos de conglomerantes. Se ha decidido fabricar tres ladrillos, cada uno con un material ligante diferente: arcilla, yeso y cemento blanco. Asimismo, se han elaborado múltiples probetas con los tres tipos de conglomerantes, así como con dos tamaños diferentes de partículas de residuo cerámico: 2mm y 4 mm. De esta forma, se van a realizar ensayos de laboratorio para caracterizar los materiales propuestos.

Basado en estudios previos realizados, se han seguido las siguientes proporciones de materiales para la realización de las mezclas:

$$\left[\begin{array}{l} 1 \text{ conglomerante} \\ 3 \text{ árido} \\ 0,5 \text{ agua} \end{array} \right]$$

El ladrillo diseñado para esta propuesta experimental posee las siguientes dimensiones de 17,5 x 10,5 x 5 cm, por lo que se obtiene un volumen de 918,75 cm³.

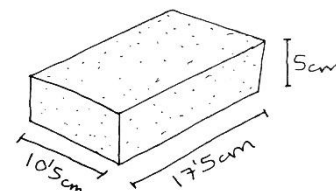


Fig 6.33. Dibujo medidas ladrillo

Para la elaboración de los tres ladrillos, se ha mantenido la misma proporción de árido y conglomerante, mientras que la cantidad de agua ha sido adaptada ya que las mezclas de cemento y yeso precisaban de mayor cantidad. Con esto, se han determinado las proporciones de cada material para la fabricación de los tres ladrillos con los residuos cerámicos finos. Estas son:

Tipo de residuo	Cantidad (g)	÷3	Proporción (%)
RC-01	1814 g	604 g	45,2 %
RC-02	641 g	213 g	15,9 %
RC-03	303 g	101 g	7,5 %
RC-04	224 g	74 g	5,6 %
RC-05	562 g	187 g	14 %
RC-06	474 g	158 g	11,8 %
Total	4018 g	1337 g	100 %

Tabla 6.08. Proporción de cada tipo de residuo cerámico

Una vez obtenido la cantidad de residuo cerámico deseado para cada ladrillo (1337 g), se calcula con una regla de tres el conglomerante y el agua necesarios según la proporción mencionada anteriormente:

3 árido = 1337 g
 1 conglomerante = 445 g
 0,5 agua = 225 g



Fig 6.34. Báscula con residuos cerámicos



Fig 6.35. Báscula con arcilla natural



Fig 6.36. Báscula con agua

Por tanto, el resultado de las mezclas es el siguiente:

	Mezcla 1 (arcilla)	Mezcla 2 (yeso)	Mezcla 3 (cemento)
Residuos cerámicos	1337 g	1337 g	1337 g
Conglomerante	445 g	445 g	445 g
Agua	225 g + 100 g	225 g + 225 + 225 + 225 g	225 g + 225 + 225 + 225 g

Tabla 6.09. Cantidad de materiales empleados para los ladrillos

Se procede con el mezclado manual de los residuos y los conglomerantes en seco:



Fig 6.37. Mezcla en seco de arcilla y residuos



Fig 6.38. Mezcla en seco de cemento blanco y residuos

A continuación, se añade el agua a las mezclas y se ajustan las cantidades de agua en las mezclas 2 y 3:

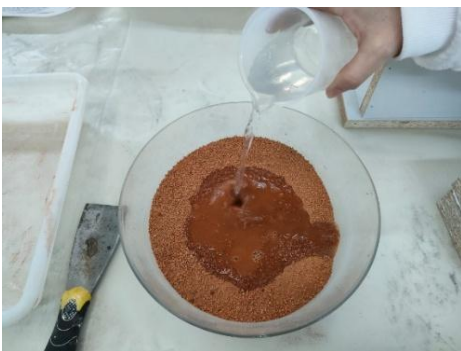


Fig 6.39. Vertido de agua en la mezcla 1



Fig 6.40. Vertido de agua en la mezcla 3

8. Vertido en el molde



Fig 6.41. Mezclado de los materiales



Fig 6.42. Vertido en el molde y prensado manual

Seguidamente, el ladrillo 1 con la arcilla y los residuos cerámicos se ha sometido a un prensado, con el objetivo de compactar lo máximo posible la mezcla. En cambio, los ladrillos 2 y 3, elaborados con yeso y cemento, se han dejado reposar para el fraguado y curado de las mezclas.

A su vez, se han elaborado probetas de los tres tipos de mezclas para los ensayos:



Fig 6.43. Probetas de la mezcla 2



Fig 6.44. Probetas de la mezcla 3

9. Prensado hidráulico

El ladrillo 1 se ha compactado mediante una prensadora hidráulica para reducir lo máximo posible su volumen, reduciendo su nivel de porosidad. De esta forma, se pretende aportar resistencia y compacidad al ladrillo ya que no se someterá a un proceso de horneado.



Fig 6.45. Prensadora hidráulica



Fig 6.46. Prensado hidráulico del ladrillo 1

10. Desmolde

Por último, se ha procedido con el desmolde de los ladrillos y las probetas. Se han obtenido los siguientes resultados:

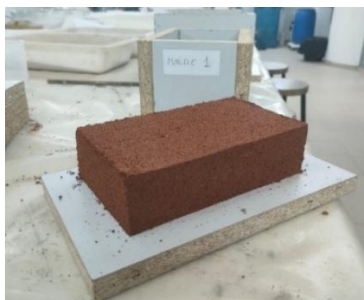


Fig 6.47. Ladrillo 1 (arcilla + res. fino)



Fig 6.48. Ladrillo 2 (yeso + res. fino)



Fig 6.49. Ladrillo 3 (cemento + res. fino)



Fig 6.50. Probetas 1 (arcilla + res. fino)



Fig 6.51. Probetas 2 (yeso + res. fino)



Fig 6.52. Probetas 3 (cemento + res. fino)



Fig 6.53. Probetas (cemento + res. grueso)



Fig 6.54. Probeta (yeso + residuo grueso)



Fig 6.55. Ladrillo (cemento + res. grueso)

11. Cocción/Secado

Se ha llevado a cabo un secado o cocción a bajas temperaturas de ladrillo cerámico reciclado, con la intención de eliminar la humedad residual contenida. El ladrillo fue sometido a una cocción a una temperatura de 900° durante 8 horas.



Fig 6.56. Resultado ladrillo cerámico reciclado



Fig 6.57. Salida del horno del ladrillo

6.2. Caracterización del material

Una vez fabricados los materiales, se han realizado una serie de ensayos de laboratorio con el objetivo de caracterizar las propuestas desarrolladas. Se van a llevar a cabo diferentes pruebas para evaluar las principales propiedades físicas y mecánicas de los materiales planteados. En concreto, se han realizado ensayos hídricos y de resistencia mecánica, para determinar su comportamiento frente al agua, su capacidad para resistir esfuerzos a flexión y a compresión y, por último, su resistencia superficial al desgaste. Con esto, se ha realizado una valoración técnica de los materiales desarrollados y determinado una serie de conclusiones.

Se han realizado los ensayos sobre las probetas a las que se les ha dado los siguientes nombres:

	Composición	Nombre
Probeta 1	cemento + residuo cerámico fino	Cem-F
Probeta 2	cemento + residuo cerámico grueso	Cem-G
Probeta 3	yeso + residuo cerámico fino	Yes-F
Probeta 4	yeso + residuo cerámico grueso	Yes-G
Probeta 5	arcilla + residuo cerámico fino	Arc-F

Tabla 6.10. Probetas para los ensayos

6.2.1 Ensayos hídricos

El ensayo hídrico permite evaluar la absorción y durabilidad de un material al medir cómo interactúa frente al agua. Para ello, las probetas fueron pesadas en seco, luego sumergidas en agua durante 24 horas y, finalmente, pesadas de nuevo para determinar su variación. Se han seleccionado las siguientes probetas para este ensayo:


	Nombre	
Probeta 1	Cem-F	
Probeta 2	Cem-G	
Probeta 3	Yes-F	

Fig 6.58. Probetas

Tabla 6.11. Probetas para los ensayos hídricos

Proceso de inmersión total de las probetas durante un periodo de 24 horas:

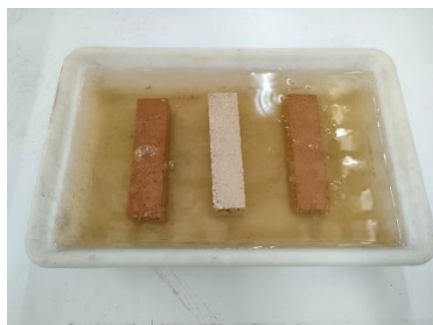


Fig 6.59. Probetas sumergidas

Resultados obtenidos del pesaje previo, tras la inmersión de un día y en balanza sumergida:

	Peso seco	Peso saturado	Peso sumergido
Cem-F	360 g	422 g	188 g
Cem-G	418 g	458 g	219 g
Yes-F	345 g	443 g	183 g

Tabla 6.12. Resultados de los ensayos hídricos



Fig 6.60. Peso saturado de la probeta



Fig 6.61. Peso en balanza sumergida

Dados estos resultados, se puede determinar las siguientes propiedades:

- **Absorción del agua:** mide la capacidad de un material para absorber agua. En este caso, se ha medido por la inmersión total de las probetas en agua. Indica el aumento de peso de la probeta en porcentaje cuando se satura con agua.

$$\left[C_{abs} (\%) = \frac{P_{sat} - P_s}{P_s} \cdot 100 \right]$$

	Coefficiente de absorción (%)
Cem-F	$C_{abs} = \frac{422-360}{360} \cdot 100 = 17,22\%$
Cem-G	$C_{abs} = \frac{458-418}{418} \cdot 100 = 9,57\%$
Yes-F	$C_{abs} = \frac{443-345}{345} \cdot 100 = 28,41\%$

Tabla 6.13. Coeficiente de absorción de las propuestas

- **Densidad aparente:** relación entre la masa seca y el volumen total que ocupa el material, considerando tanto las partículas sólidas, como los huecos o poros. Indica la distribución de las partículas dentro del material lo que permite evaluar su nivel de compactación o porosidad, resistencia mecánica, etc.

$$\left[V_{ap} (m^3) = \frac{P_{sat} \cdot P_{sum}}{\gamma} \right] \quad \left[D_{ap} (kg/m^3) = \frac{P_{sec}}{V_{ap}} \right]$$

	Volumen aparente (m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)
Cem-F	$V_{ap} = \frac{422 \cdot 188}{1} = 0,0793 \text{ m}^3$	$D_{ap} = \frac{360}{0,0793} = 4537 \text{ kg/m}^3$
Cem-G	$V_{ap} = \frac{458 \cdot 219}{1} = 0,1003 \text{ m}^3$	$D_{ap} = \frac{418}{0,1003} = 4167 \text{ kg/m}^3$
Yes-F	$V_{ap} = \frac{443 \cdot 183}{1} = 0,0811 \text{ m}^3$	$D_{ap} = \frac{345}{0,0811} = 4255 \text{ kg/m}^3$

Tabla 6.14. Volumen y densidad aparentes de las propuestas

- **Porosidad abierta:** relación entre el volumen de poros abiertos de un material y su volumen total aparente. El nivel de porosidad es una propiedad asociada a la densidad del material, permite determinar su nivel de permeabilidad.

$$\left[P_{ab} (\%) = \frac{P_{sat} - P_s}{P_{sat} - P_{sum}} \cdot 100 \right]$$

	Porosidad abierta (%)
Cem-F	$P_{ab} = \frac{422-360}{422-188} \cdot 100 = 26,49\%$
Cem-G	$P_{ab} = \frac{458-418}{458-219} \cdot 100 = 16,74\%$
Yes-F	$P_{ab} = \frac{443-345}{443-183} \cdot 100 = 37,69\%$

Tabla 6.15. Porosidad abierta de las propuestas

Conclusiones:

El Cem-G es el material con menor coeficiente de absorción (9,57%) y menor porosidad abierta (16,74%), mientras que el Yes-F ha obtenido la absorción (28,41%) y porosidad más alta (37,69%). Teniendo en cuenta estos resultados, se determina que el material fabricado con cemento y residuos cerámicos gruesos es el que mejor comportamiento presenta frente al agua por ser el material menos absorbente y poseer una baja porosidad abierta, lo que le proporciona una mayor impermeabilidad. Por tanto, es el más ideal para ambientes húmedos. Por el contrario, el material compuesto de yeso y residuos cerámicos finos es el más vulnerable ya que es un material muy poroso y absorbente. Se trata de un material permeable, por lo que presenta mayor probabilidad de deterioro frente a ambientes húmedos por capilaridad, heladicidad y degradación. Se comprueba que combinando el cemento con residuos cerámicos se obtiene un material compacto y con una porosidad moderada.

6.2.2 Ensayos mecánicos

Se han realizado ensayos de resistencia sobre las probetas para determinar su capacidad para soportar esfuerzos mecánicos a flexión, compresión y dureza superficial. Para ello, se ha empleado una prensadora hidráulica para comprender cómo se comportan los materiales desarrollados ante una carga.

- **Ensayos de resistencia a flexión:** mide la fuerza máxima que la probeta es capaz de soportar en flexión antes de la rotura. La probeta se coloca sobre dos apoyos y se aplica una carga en el centro. Con esto, se determina la rigidez del material.

Los resultados obtenidos del ensayo a flexión son los siguientes:

	Flexión	
	1º ensayo	2º ensayo
Cem-F	0,693 kN	0,951 kN
Cem-G	1,393 kN	-
Yes-F	0,403 kN	0,464 kN
Yes-G	0,327 kN	-
Arc-F	0,038 kN	-

Tabla 6.16. Resultados ensayo de resistencia a flexión



Fig 6.62. Probeta Cem-F sometida a flexión



Fig 6.63. Probeta Yes-F sometida a flexión



Fig 6.64. Probeta Arc-F sometida a flexión

- **Ensayos de resistencia a compresión:** determina el comportamiento de las probetas al ser sometidas a una fuerza de compresión. La probeta se coloca apoyada sobre una superficie lisa y se ejerce una carga de aplastamiento en el centro.

Se ha realizado un segundo ensayo para las probetas

Se han obtenido los siguientes resultados del ensayo de resistencia a compresión:

	Compresión	
	1º ensayo	2º ensayo
Cem-F	25,270 kN	22,826 kN
Cem-G	43,331 kN	-
Yes-F	6,865 kN	7,185 kN
Yes-G	7,581 kN	-
Arc-F	0,449 kN	-

Tabla 6.17. Resultados ensayo de resistencia a compresión



Fig 6.65. Probeta Cem-F sometida a compresión



Fig 6.66. Probeta Cem-G sometida a compresión



Fig 6.67. Probeta Arc-F sometida a compresión

Conclusiones:

Se han obtenido resultados favorables para las probetas fabricadas con cemento y residuos cerámicos, habiendo logrado valores de carga máxima de 25,3 kN para los residuos finos, y 43,3 kN para los gruesos. Han demostrado la resistencia a compresión y flexión más elevadas, especialmente la probeta elaborada con cemento y residuo cerámico grueso (4 mm). En cambio, la combinación de arcilla natural y residuos cerámicos ha obtenido resultados desfavorables, con una resistencia mecánica muy baja.

En general, todas las probetas han mostrado una capacidad a resistir a esfuerzos de flexión muy bajos. Mientras que, a compresión, destacan claramente las fabricadas con cemento.

- **Ensayos de dureza superficial:** se ha realizado un ensayo de dureza para el que se ha empleado las escalas Shore. Existen varias escalas de dureza Shore desde la “A”, para los materiales más blandos, hasta la “D”, para los más duros. En este caso, se han utilizado las escalas “C” y “D”. El resultado del ensayo indica la resistencia de las probetas a la indentación, es decir, mide la dureza del material mediante la profundidad de penetración.

Se ha realizado el ensayo en dos caras diferentes de cada probeta, así como se han tomado cinco mediciones por cara, con el fin de obtener un resultado fiable del ensayo calculando la media de las cinco mediciones de cada cara. Para las probetas “Cem-F” y “Yes-F, se han ejecutado las pruebas en dos probetas diferentes para contrastar las mediciones.

Con esto, se han obtenido los siguientes resultados del ensayo de dureza Shore:

Shore D		Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Resultado (media)
Cem-F (1ª probeta)	Cara A	60	65	53	56	55	57,8
	Cara B	60	57	62	60	55	58,8
Cem-F (2ª probeta)	Cara A	45	45	52	42	60	48,8
	Cara B	53	35	60	45	50	48,6

Tabla 6.18. Resultados ensayo de dureza Shore

Shore D		Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Resultado (media)
Cem-G (1ª probeta)	Cara A	65	76	76	74	75	73,2
	Cara B	71	72	60	71	70	68,8

Tabla 6.19. Resultados ensayo de dureza Shore

Shore C		Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Resultado (media)
Yes-F (1ª probeta)	Cara A	60	62	61	66	63	62,4
	Cara B	73	69	75	84	81	76,4
Yes-F (2ª probeta)	Cara A	62	67	67	70	72	67,6
	Cara B	65	66	74	64	75	68,8

Tabla 6.20. Resultados ensayo de dureza Shore

Shore D		Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Resultado (media)
Yes-G (1ª probeta)	Cara A	65	51	45	60	63	56,8
	Cara B	50	56	76	55	56	58,6

Tabla 6.21. Resultados ensayo de dureza Shore

Conclusiones:

Los ensayos Shore muestran que la dureza del material depende tanto del tipo de conglomerante, como de la granulometría del residuo cerámico. Las probetas elaboradas con cemento y con residuo cerámico fino presentan valores de dureza entre 48,6 y 58,8 en la escala Shore D. Se han detectado variaciones en las mediciones que se pueden deber a una falta de homogeneidad en la mezcla. Además, la probeta de cemento y residuos cerámicos gruesos alcanza valores de mayor dureza. Por otro lado, las probetas de yeso muestran resultados entre 62,4 y 76,4 en la escala Shore C. Se ha empleado una escala más pequeña ya que el yeso presenta una menor rigidez frente al cemento.

6.2.3 Conclusiones generales de las propuestas

Con todo esto, se ha demostrado que el material fabricado con arcilla natural y residuos cerámicos no ha obtenido buenas prestaciones. El resultado ha sido un material frágil, con baja cohesión interna, alta porosidad y muy débil al ser sometido a esfuerzos de compresión y flexión.

Por otro lado, se ha demostrado la viabilidad del uso de residuos cerámicos con otro tipo de conglomerante más fuerte, como el cemento. La incorporación de residuos cerámicos más gruesos (4 mm) mejora significativamente el comportamiento a compresión y flexión, así como frente al agua. El mayor tamaño de árido influye positivamente en las propiedades del material, aportando una mayor cohesión interna, durabilidad y resistencia mecánica.

La propuesta fabricada con residuos cerámicos y arcilla natural se beneficiaría de un tamizado más fino, lo que podría contribuir a lograr una mezcla más homogénea y compacta. Además, la trituración manual de los residuos ha limitado la precisión sobre los tamaños de grano de las mezclas. Mediante una trituración mecánica, se obtiene un tamaño de partícula más uniforme y homogéneo, mejorando así el comportamiento de los materiales desarrollados.

7. Análisis crítico y conclusiones

Una vez finalizado este Trabajo de Fin de Grado, es posible extraer una serie de conclusiones sobre los aspectos tratados que permiten comprender con mayor profundidad la situación actual de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

Tras la investigación realizada, se ha confirmado que el sector de la construcción es, a escala global, una de las actividades que genera un mayor volumen de residuos. Estos excesos tienen impactos significativos sobre el medio ambiente y los ecosistemas. En el contexto actual, donde la preocupación por la sostenibilidad del planeta es primordial, la gestión de los RCD no puede ser ignorada.

A lo largo de los cursos del Grado en Fundamentos de la Arquitectura, se ha hecho incapié en la necesidad de vincular arquitectura y sostenibilidad; sin embargo, la problemática de los RCD apenas se ha mencionado. Para avanzar hacia una arquitectura verdaderamente sostenible, resulta imprescindible abordar la gestión de residuos, su clasificación y qué estrategias se pueden llevar a cabo para reincorporarlos al ciclo constructivo y reducir su impacto.

El uso de materiales que procedan de RCD en arquitectura ofrece beneficios relevantes: reducción de la huella de carbono, disminución de la extracción de materias primas o la mitigación de la sobreexplotación de los ecosistemas. La implantación de una economía circular de los recursos en el proceso constructivo no sólo alivia la presión sobre el entorno natural, sino que también promueve un modelo más eficiente y responsable.

Por tanto, los beneficios que engloban a la reutilización y el uso de los RCD son muchos y significativos. Sin embargo, el proceso se ve obstaculizado por una serie de barreras que dificultan su gestión, su valorización y su aplicación en la arquitectura actual. Estas limitaciones afectan a los RCD desde un ámbito técnico, económico y cultural.

A pesar del avance en el reciclaje y la valorización de los RCDs en las últimas décadas, no se explota todo su potencial de reutilización. Entre las barreras que dificultan el aprovechamiento de los RCD destacan: la falta de concienciación sobre los impactos generados por la construcción, la falta de normativa específica que regule su aplicación en la arquitectura, la desconfianza del sector sobre el empleo de materiales reciclados y la variable económica, ya que los áridos reciclados suelen ser más costosos que los naturales lo que limita su competitividad en el mercado. A estas limitaciones se suma un factor clave: la insuficiente separación de residuos en obra.

Por todo ello, es fundamental tener en cuenta una planificación rigurosa de la gestión de los RCD desde la fase inicial del proyecto. Tanto para incorporar el uso de materiales reciclados en los edificios, como para incluir la separación de tipos de residuos durante la obra.

Asimismo, como recomendación relevante, la correcta gestión de los RCD y, en particular la separación por componentes en obra, debería figurar como un procedimiento obligatorio definido dentro del Plan de Gestión de Residuos de cualquier proyecto. La planificación en la fase de proyecto de la separación de los RCDs es esencial para lograr definir procedimientos tales como las reservas de zonas de acopio en la obra, protocolos de clasificación, formación específica para el personal de la obra, etc. Con esto, se conseguiría avanzar hacia una arquitectura más circular y eficiente.

Las plantas de tratamiento son elementos clave para cerrar el ciclo de los RCD. Sin embargo, su labor se ve dificultada en gran medida debido a la mezcla inadecuada de residuos. La separación en origen es esencial para conseguir el mayor porcentaje de material reciclado posible. Cuando los residuos llegan limpios y correctamente diferenciados, las plantas de tratamiento logran porcentajes de reciclaje muy elevados y además, abaratan las tasas de recepción. Se demuestra por tanto, que es muy importante fomentar la colaboración directa entre los estudios de arquitectura y las plantas de tratamiento para conseguir que la separación en origen no sea un aspecto accesorio sino requisito esencial para mejorar la eficacia de la gestión de los RCD e impulsar la economía circular a la par que disminuir los costes globales del proyecto.

Durante las visitas a plantas de tratamiento y reciclaje realizadas durante la elaboración de este TFG, se han detectado una serie de diferencias entre las plantas de gestión pública y las privadas. Las plantas de titularidad pública se enfocan mayormente en ofrecer un servicio público mediante una gestión más territorial. Se encuentran estructuras en fases lo que ralentiza su proceso y afecta a la calidad de los materiales reciclados obtenidos. Por otra parte, las plantas pertenecientes a empresas privadas buscan la rentabilidad de sus productos, enfocándose en aquellos residuos que aporten mayor beneficio. De esta forma, algunos residuos, como los cerámicos, quedan en un segundo plano.

En la actualidad, existe una problemática real en el reciclaje de los residuos cerámicos, destacando por ser uno de los residuos menos reciclados y más abundantes. Los materiales cerámicos son muy variados y versátiles, lo que hace que se mantengan como uno de los productos más usados en construcción hoy en día. Esto resulta en la producción de grandes cantidades de residuos con muy poco porcentaje de reaprovechamiento. Su uso mayoritario actual es en la fabricación de subbases y rellenos, y muy poco en arquitectura. Entre las principales causas que obstaculizan su reutilización se encuentra la falta de investigación aplicada lo que afecta al desarrollo de productos reciclados para su comercialización.

Debido a esta situación, se ha desarrollado una propuesta experimental para valorar el uso de los residuos cerámicos en construcción. Tras su ejecución, se ha demostrado la viabilidad de fabricar nuevos materiales con dichos residuos, así como las complicaciones asociadas a su reutilización. Durante su elaboración se han detectado dificultades en el control de la granulometría y en la compatibilidad de los residuos cerámicos con otros materiales. El experimento evidencia la necesidad de continuar con la investigación de los residuos cerámicos dado su gran margen de desarrollo y mejora.

Por último, se han demostrado las múltiples y variadas aplicaciones de los RCDs, desde su empleo en proyectos de arquitectura, hasta la creación de materiales innovadores, ejemplificando así las infinitas posibilidades que ofrecen los RCDs. Cabe destacar el valor añadido que aporta el uso de los RCDs en los proyectos, convirtiendo lo considerado como residuo en un recurso arquitectónico con un gran potencial.

8. Futuras líneas de investigación

La investigación realizada durante este Trabajo de Fin de Grado abre nuevas vías para futuras investigaciones. A continuación, se indican posibles líneas de estudio:

- Desarrollar nuevos materiales que incorporen otros tipos de RCD.
- Continuar la investigación relativa a los residuos cerámicos, explorando todo su potencial de reutilización
- Investigar sobre la adaptación normativa necesaria para fomentar la reutilización de residuos cerámicos.
- Optimizar la granulometría y proporción del residuo cerámico del ladrillo propuesto.
- Determinar comportamiento térmico del ladrillo cerámico reciclado propuesto y comparar frente a ladrillos convencionales.
- Realizar una evaluación ambiental del ladrillo cerámico reciclado propuesto y comparar frente a un ladrillo convencional.

9. Bibliografía

9.1. Referencias bibliográficas

- [1] Aira Zunzunegui, Jose Ramón, y María del Mar Barbero Barrera. Materiales para la arquitectura. 1a edición. UPMPress, 2024. <https://upmpress.upm.es/2024/09/16/materiales-para-la-arquitectura/>.
- [2] AGESMA. s. f. <https://agesmarcd.org/>.
- [3] Áridos reciclados. s. f. <https://www.aridosrecicladosdercd.es/>.
- [4] Asamblea General de las Naciones Unidas. «Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible». 18 de septiembre de 2015.
- [5] Ballesteros, Alberto, y Enrique Morillo. Build of Site. Pabellón de Dinamarca en la Bienal de Venecia 2025. 16 de mayo de 2025. <https://arquitecturaviva.com/articulos/build-of-site-pabellon-danes-en-la-bienal-de-venecia-2025>.
- [6] BC materials. Gent Waste Brick for DING. s. f. <https://bcmaterials.org/node/139>.
- [7] CARMAQ. Maquinaria para el Tratamiento de RCD. s. f. <https://www.carmaq.es/productos/reciclaje-y-recuperacion/reciclaje-rcds/>.
- [8] Carmody Groarke. Gent Waste Brick. s. f. <https://carmodygroarke.com/work/gent-waste-brick>.
- [9] CCR Las Mulas. s. f. <https://ccrlasmulas.com/>.
- [10] Centros de estudios y experimentación de obras públicas. Residuos de Construcción y Demolición. 2014.
- [11] Comunidad de Madrid. Residuos de Construcción y Demolición (RCD). s. f. <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/residuos-construccion-demolicion-rcd>.
- [12] «Decreto 110/2024, de 11 de diciembre, del Consejo de Gobierno, por el que se regulan los requisitos de utilización y usos admitidos de áridos reciclados procedentes de operaciones de valorización de residuos de construcción y demolición en la Comunidad de Madrid.» Comunidad de Madrid, 11 de diciembre de 2024. https://gestiona.comunidad.madrid/wleg_pub/secure/normativas/contenidoNormativa.jsf?opcion=VerHtml&nmnorma=13890&eli=true#no-back-button.
- [13] «Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos.» Boletín Oficial del Estado, 14 de junio de 2018. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2018-80998>.
- [14] «Directiva 2008/98/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos.» Diario Oficial de la Unión Europea, 19 de noviembre de 2008.
- [15] Diez razones por las que los productos cerámicos son sostenibles. Folleto. Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas, Hispalyt, 2020.
- [16] Empresas autorizadas por la Comunidad de Madrid para la realización de actividades de gestión de residuos de la construcción y demolición. Listado. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior, Dirección General de Transición Energética y Economía Circular, 2024. <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/listados-gestores-transportistas-residuos>.
- [17] Eurostat. Estadísticas de residuos. septiembre de 2024. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics&action=statexp-seat&lang=es.
- [18] Federación RCDs. s. f. <https://federacionrcd.org/>.

- [19] Fernández Elorza, Héctor, y H Arquitectes. «Cosas de obras». Conferencia. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, COAM, 28 de mayo de 2024. <https://www.coam.org/actualidad-canal-coam-galeria-de-videos-actos-y-conferencias/>.
- [20] Fernández Elorza, Héctor, y Josep Ricart. «¿Residuos o recursos?» Debate. Espacio Arquia, Madrid, 24 de septiembre de 2025.
- [21] Fernández Elorza, Héctor, y Manuel Fernández Ramírez. Parque Venecia / Héctor Fernández Elorza + Manuel Fernández Ramírez. 16 de septiembre de 2013. <https://www.archdaily.cl/cl/02-293258/parque-venecia-hector-fernandez-elorza-manuel-fernandez-ramirez>.
- [22] FRONT. WasteBasedBricks. s. f. <https://www.front-materials.com/wastebasedbricks/>.
- [23] Gavion Compact. s. f. <https://www.gavioncompact.com/>.
- [24] H Arquitectes. Viviendas sociales 2104. s. f. <https://www.harquitectes.com/es/proyectos/ibavi-2104/>.
- [25] Herrero Olavarri, Alejandra. «Arquitectura reciclada: residuos como nuevos materiales de construcción». Universidad Politécnica de Madrid, 15 de enero de 2019.
- [26] Hispalyt. «El sector de ladrillos y tejas acelera su crecimiento en 2021, y reclama más medidas para la industria gas intensiva». 2021.
- [27] Horgesol. s. f. <https://horgesol.com/>.
- [28] Informe conyuntura económica CEPCO. Confederación Española de Asociaciones de Fabricantes de Productos de Construcción, CEPCO, 2020.
- [29] Instalaciones de residuos. Listado. Dirección General de Economía Circular, s. f. <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/listados-gestores-transportistas-residuos>.
- [30] ITC-AICE. ITC-AICE valorizará residuos cerámicos con el proyecto RECERCO. 26 de noviembre de 2022. <https://www.itc.uji.es/itc-aice-valorizara-residuos-ceramicos-con-el-proyecto-recerco/>.
- [31] Kenoteq. K-Brick. s. f. <https://www.kenoteq.com/k-briq>.
- [32] La Paloma. «Ladrillo ecológico». 15 de noviembre de 2024, s. f. <https://ceramica-lapaloma.com/bricknews/el-innovador-ladrillo-ecologico-que-reduce-un-32-las-emisiones-de-co2/>.
- [33] «LER - Listado Europeo de Residuos (oficial)». Decisión 2014/955/UE, 2014. <https://asegre.com/ler-listado-europeo-de-residuos-oficial/>.
- [34] «Ley 1/2024, de 17 de abril, de Economía Circular de la Comunidad de Madrid». Boletín Oficial del Estado, 22 de julio de 2024.
- [35] «Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.» Boletín Oficial del Estado, 29 de julio de 2011. <https://www.boe.es/eli/es/l/2011/07/28/22/con>.
- [36] «Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular». Jefatura del Estado, 9 de abril de 2022. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>.
- [37] MATTER. «Taller materialidad innovadora». Conferencia. MATCOAM, 26 de noviembre de 2025.
- [38] Mejía-de-Gutiérrez, Ruby, Rafael Robayo-Salazar, y William Valencia-Saavedra. «Residuos de construcción y demolición como materia prima de concretos y elementos de construcción obtenidos mediante activación alcalina». *31 agosto 2023*, advance online publication, 2023. <https://doi.org/doi:%2520https://doi.org/10.18257/raccefyn.1892>.
- [39] Memoria anual de generación y gestión de residuos. Residuos de construcción y demolición (RCD). Ministerio para la transición ecológica y el resto demográfico, 2020.

- [40] Molins. Áridos reciclados de hormigón. s. f. <https://www.molins.es/concrete-aggregates/products/aridos/aridos-recicladados-de-hormigon/>.
- [41] «ORDEN 2726/2009, de 16 de julio, por la que se regula la gestión de los residuos de construcción y demolición en la Comunidad de Madrid.» Comunidad de Madrid, 7 de agosto de 2019.
- [42] Pénochet, Simon, dir. Gypsum Concrete. 2022. Cortometraje, 6' 30".
- [43] Pitarch, Reig, Mira, Corrales, y Vilalta. «Reusing ceramic tile waste in the development of concrete pavers». Qualicer, 2024.
- [44] Planta RCD Buitrago. s. f. <https://mancomunidadvalleortedelozoya.es/residuos/planta-rcd-buitrago>.
- [45] Prieto, Camila. «Arquitectos españoles crean mortero absorbente de humedad a partir de residuos de la construcción». 26 de noviembre de 2022, s. f. <https://www.archdaily.cl/cl/992203/arquitectos-espanoles-crean-mortero-absorbente-de-humedad-a-partir-de-residuos-de-la-construccion>.
- [46] «Plan de gestión de residuos de construcción y demolición». Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior de la Comunidad de Madrid, 2024 de 2017. <https://www.comunidad.madrid/transparencia/informacion-institucional/planes-programas/plan-gestion-residuos-construccion-y-demolicion-2017-2024>.
- [47] RCD Asociación. Escombrarte 2025: El arte que renace de los escombros. 22 de septiembre de 2025. <https://rcdasociacion.es/blog/210-escombrarte-2025-el-arte-que-renace-de-los-escombros>.
- [48] RCD Asociación. s. f. <https://rcdasociacion.es/>.
- [49] Redacción. El sector de la construcción avanza con fuerza en 2024 pese al aumento de costes y falta de mano de obra cualificada. 3 de junio de 2025. <https://innovandoenlaconstruccion.com/informe-construccion-2024-crecimiento/>.
- [50] «Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.» Boletín Oficial del Estado, 13 de febrero de 2008. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-2486>.
- [51] «Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.» Boletín Oficial del Estado, 19 de junio de 2020. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-6422>.
- [52] «Reglamento (UE) 2024/1157 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de abril de 2024, relativo a los traslados de residuos, por el que se modifican los Reglamentos (UE) no 1257/2013 y (UE) 2020/1056, y se deroga el Reglamento (CE) no 1013/2006.» Boletín Oficial del Estado, 30 de abril de 2024. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2024-80606>.
- [53] Sáiz Martínez, Pablo. «Utilización de arenas procedentes de Residuos de Construcción y Demolición, RCD, en la fabricación de morteros de albañilería». Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2015.
- [54] Salmedina TRI. s. f. <https://salmedinatri.com.es/>.
- [55] Santos Jiménez, Rocío. «Reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) de tipo cerámico para nuevos materiales de construcción sostenibles». Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2018.
- [56] Saint Gobain, Placo. Placo® lanza Placo® Planet, la placa de yeso laminado con mayor contenido reciclado en España. 25 de enero de 2023. <https://www.placo.es/noticia/placo-lanza-placo-planet-la-placa-de-yeso-laminado-con-mayor-contenido-reciclado-en-espana>.
- [57] TEC REC. Áridos reciclados para la economía circular. s. f. <https://recicladados.net/>.
- [58] Vallés, Mario. «La Paloma». Conferencia. ETSAM, 15 de octubre de 2025.
- [59] Zaragoza Benzal, Alicia. «Reutilización de Residuos de Construcción y Demolición para Desarrollo de Nuevos Materiales de Construcción Sostenibles». Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2025.

9.2 Bibliografía gráfica (imágenes)

Portada: Elaboración propia.

1. Introducción

Figura 1.01. Escombros de obra con retroexcavadora. Fuente: Elaboración propia.

2. Estado de la cuestión

Figura 2.01. Generación de residuos de construcción en la UE. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat.

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics&action=statexp-seat&lang=es

Figura 2.02. Toneladas generadas por sectores en la UE. Obtenido de: Eurostat.

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics&action=statexp-seat&lang=es

Figura 2.03. Gráfico generación de residuos por actividad económica. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat.

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics&action=statexp-seat&lang=es

Figura 2.04. Gráfico generación de residuos por actividad económica en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat.

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics&action=statexp-seat&lang=es

Figura 2.05. Gráfico generación de RCD no peligrosos en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de “Memoria anual de generación y gestión de residuos. Residuos de construcción y demolición (RCD). Ministerio para la transición ecológica y el resto demográfico, 2020.”

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/memoria-anual-generacion-gestion-residuos.html#residuos-de-construccion-y-demolicion>

Figura 2.06. Gráfico porcentaje de residuos valorizados en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de “Memoria anual de generación y gestión de residuos. Residuos de construcción y demolición (RCD). Ministerio para la transición ecológica y el resto demográfico, 2020.”

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/memoria-anual-generacion-gestion-residuos.html#residuos-de-construccion-y-demolicion>

Figura 2.07. Rueda ODS. Fuente: Elaboración propia.

<https://www.pactomundial.org/que-puedes-hacer-tu/ods/>

Figura 2.08. ODS. Obtenido de: <https://www.pactomundial.org/que-puedes-hacer-tu/ods/>

Figura 2.09. Pirámide jerarquía gestión de residuos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.10. Marcado CE. Fuente: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_es.htm

3. Residuos de construcción y demolición (RCD)

Figura 3.01. Operaciones de movimiento de tierras. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.02. Construcción de edificio de viviendas. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.03. Obra de demolición. Fuente: <https://www.posada.org/tipos-demoliciones/>

Figura 3.04. Maquinaria de separación y triaje de escombros. Fuente: <https://www.carmaq.es/productos/reciclaje-y-recuperacion/reciclaje-rcds/>

Figura 3.05. Escombros de madera. Fuente: <https://agecko.com/expert-insights/giving-wood-waste-a-second-life/>

Figura 3.06. Escombros metálicos. Fuente: <https://ferrometales.com/compramos-a/>

Figura 3.07. Escombros de vidrio. Fuente: <https://www.vivesceramica.com/empresa/ecovives/nuestras-actuaciones/gestion-y-valorizacion-de-residuos.html>

Figura 3.08. Escombros de yeso. Fuente: https://reciclajescamargo.com/tarifa_yeso/

Figura 3.09. Escombros de plástico. Fuente: <https://plastic4trade.com/supplier/upvc-scrap-white-upvc-scrap-pipe-extrusion-pipe-hyderabad-telangana-india>

Figura 3.10. Escombros de hormigón. Fuente: https://www.freepik.com/premium-photo/environmental-solid-waste-polluting-environment-concrete-waste-construction-waste_36783304.htm

Figura 3.11. Escombros de ladrillos. Fuente: <https://guerola.es/firmes-y-pavimentos/rcds>

Figura 3.12. Escombros de azulejos. Fuente: https://www.freepik.es/fotos-premium/baldosas-revestimiento-desmanteladas-suelo-residuos-construccion-reparacion-local_50050354.htm

Figura 3.13. Escombros cerámicos. Fuente: <https://www.vivesceramica.com/empresa/ecovives/nuestras-actuaciones/gestion-y-valorizacion-de-residuos.html>

Figura 3.14. Escombros de piedra. Fuente: <https://www.vivesceramica.com/empresa/ecovives/nuestras-actuaciones/gestion-y-valorizacion-de-residuos.html>

Figura 3.15. Escombros metálicos en contenedor. Fuente: Elaboración propia en planta Reciclajes Gadarai

Figura 3.16. Escombros de yeso separados. Fuente: Elaboración propia en planta TEC REC.

Figura 3.17. Escombros de madera en contenedor. Fuente: Elaboración propia en planta Reciclajes Gadarai.

Figura 3.18. Residuos limpios de hormigón. Fuente: Elaboración propia en planta TEC REC.

Figura 3.19. Residuos mezclados. Fuente: Elaboración propia en planta de Buitrago de Lozoya.

Figura 3.20. Residuos sucios. Fuente: Elaboración propia en planta Reciclajes Gadarai.

Figura 3.21. Mapa de la Comunidad de Madrid con centrales de RCD. Fuente: Elaboración propia a partir de listado oficial de empresas autorizadas.

Figura. 3.22. Localización en Google MyMaps de centrales de RCD. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.23. Empresas de tratamiento de RCD en la Comunidad de Madrid. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.24. Vertederos de RCD en la Comunidad de Madrid. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.25. Almacenamiento de RCD en la Comunidad de Madrid. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.26. Planta de RCD y vertedero. Fuente: <https://salmedinatri.com.es/>

Figura 3.27. Planta de RCD y vertedero. Fuente: <https://ccrlasmulas.com/>

Figura 3.28. Proceso RCD en Las Mulas. Fuente: <https://ccrlasmulas.com/>

Figura 3.29. Maquinaria de planta fija de tratamiento. Fuente: CARMAQ
<https://www.carmaq.es/productos/reciclaje-y-recuperacion/reciclaje-rcds/>

Figura. 3.30. Maquinaria de planta modular de tratamiento. Fuente: CARMAQ
<https://www.carmaq.es/productos/reciclaje-y-recuperacion/reciclaje-rcds/>

Figura 3.31. Maquinaria de planta semi-modular de tratamiento. Fuente: CARMAQ
<https://www.carmaq.es/productos/reciclaje-y-recuperacion/reciclaje-rcds/>

Figura 3.32. Maquinaria de planta móvil de tratamiento. Fuente: CARMAQ
<https://www.carmaq.es/productos/reciclaje-y-recuperacion/reciclaje-rcds/>

Figura 3.33. Centros de agrupamiento de la Comunidad de Madrid. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.34. Centros de clasificación de la Comunidad de Madrid. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.35. Vista aérea planta RCD de Moralzarzal. Fuente: Google Earth.

Figura 3.36. Centros de tratamiento integral de la Comunidad de Madrid. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.37. Proceso de gestión de los RCD. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.38. Albarán de RCD. Fuente: Planta RCD de Buitrago de Lozoya.

Figura 3.39. Báscula para pesaje de camiones. Fuente: Elaboración propia en planta Reciclajes Gadarai.

Figura 3.40. Cintas transportadoras y tolva. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.41. Alimentador vibrante con escombros. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.42. Trituradora de mandíbula. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.43. Trituradora de impacto. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.44. Trituradora y clasificadora móvil de RCD. Fuente: Elaboración propia en planta TEC REC.

Figura 3.45. Criba vibratoria con diferentes tamaños. Fuente: GRANIER
<https://www.mopsarecambios.com/maquinaria-GRANIER/Cribas-Vibrantes-CVN.html>

Figura 3.46. Trómel rotativo. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.47. Separador magnético de metales. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.48. Separador neumático de residuos ligeros. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.49. Cabina de triaje con contenedores para impropios. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.50. Excavadora manejando RCD. Fuente: Elaboración propia en planta Reciclajes Gadarai.

Figura 3.51. Cinta de transporte de material. Fuente: Elaboración propia en planta Horgesol.

Figura 3.52. Contenedor con RCD. Fuente: Elaboración propia en planta TEC REC.

Figura 3.53. Mapa plantas de RCD visitadas. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.54. Excavadora-trituradora machacando escombros. Fuente: Elaboración propia en planta de Buitrago de Lozoya.

Figura 3.55. Montón de escombros sucios. Fuente: Elaboración propia en planta de Buitrago de Lozoya.

Figura 3.56. Montón de árido reciclado. Fuente: Elaboración propia en planta de Buitrago de Lozoya.

Figura 3.57. Árido reciclado. Fuente: Elaboración propia en planta de Buitrago de Lozoya.

Figura 3.58. Cintas transportadoras de RCD. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.59. Planta de RCD de Navalcarnero. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.60. Alimentador vibrante. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.61. Separador magnético. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.62. Acopios de árido reciclado. Fuente: Elaboración propia en planta de Navalcarnero.

Figura 3.63. Trituración de RCD. Fuente: <https://reciclados.net/>

Figura 3.64. Manejo de RCD. Fuente: <https://reciclados.net/>

Figura 3.65. Recepción de camiones. Fuente: Elaboración propia en planta TEC REC.

Figura 3.66. Trituradora y excavadora de RCD. Fuente: Elaboración propia en planta TEC REC.

Figura 3.67. RCD triturados. Fuente: Elaboración propia en planta TEC REC.

Figura 3.68. Planta de tratamiento de RCD. Fuente: <https://horgesol.com/>

Figura 3.69. Trituradora y clasificadora móvil de RCD. Fuente: Elaboración propia en planta Horgesol.

Figura 3.70. Trómel lavador de áridos. Fuente: Elaboración propia en planta Horgesol.

Figura 3.71. Tanque decantador. Fuente: Elaboración propia en planta Horgesol.

Figura 3.72. Cintas transportadoras de material. Fuente: Elaboración propia en planta Horgesol.

Figura 3.73. Vista general planta. Fuente: Elaboración propia en planta Horgesol.

Figura 3.74. Pila de áridos reciclados. Fuente: Elaboración propia en planta Horgesol.

Figura 3.75. Excavadora manejando RCD sucios. Fuente: Elaboración propia en planta Reciclajes Gadarai.

Figura 3.76. Trituradora moliendo RCD sucios. Fuente: Elaboración propia en planta Reciclajes Gadarai.

Figura 3.77. Trituradora y clasificadora móvil. Fuente: <https://www.reciclajesgadarai.es/>

Figura 3.78. Árido reciclado fino. Fuente: Elaboración propia en planta Reciclajes Gadarai.

Figura 3.79. Árido reciclado grueso. Fuente: Elaboración propia en planta Reciclajes Gadarai.

Figura 3.80. Suelo adecuado reciclado. Fuente: Elaboración propia en planta Reciclajes Gadarai.

3.2 Aplicaciones de los RCD

Figura 3.01. RCD Asociación. Fuente: <https://rcdasociacion.es/>

Figura 3.02. Áridos reciclados de RCD. Fuente: <https://www.aridosrecicladodercd.es/>

Figura 3.03. AGESMA. Fuente: <https://agesmarcd.org/>

Figura 3.04. Federación de RCDs. Fuente: <https://federacionrcd.org/>

Figura 3.05. Grava reciclada mixta. Fuente: <https://recicladados.net/>

Figura 3.06. Grava reciclada de hormigón. Fuente: <https://recicladados.net/>

Figura 3.07. Zahorra reciclada mixta. Fuente: <https://recicladados.net/>

Figura 3.08. Zahorra reciclada de hormigón. Fuente: <https://recicladados.net/>

Figura 3.09. Suelo tolerable. Fuente: <https://recicladados.net/>

Figura 3.10. Suelo adecuado. Fuente: <https://recicladados.net/>

Figura 3.11. Vertido de hormigón. Fuente: <https://www.molins.es/concrete-aggregates/products/aridos/aridos-recicladados-de-hormigon/>

Figura 3.12. Grava reciclada de hormigón. Fuente: Elaboración propia en planta TEC REC.

Figura 3.13. Ladrillos K-Brick de colores. Fuente: <https://www.kenoteq.com/k-briq>

Figura 3.14. Ladrillos K-Brick azules. Fuente: <https://www.kenoteq.com/k-briq>

Figura 3.15. Gavión de árido reciclado. Fuente: <https://www.gavioncompact.com/>

Figura 3.16. Placas de yeso laminado reciclado. Fuente: <https://www.placo.es/servicio-de-reciclaje-al-mercado>

Figura 3.17. Contenedor de yeso reciclado. Fuente: <https://www.placo.es/servicio-de-reciclaje-al-mercado>

Figura 3.18. Exposición “Build of Site”. Fuente: <https://arquitecturaviva.com/articulos/build-of-site-pabellon-danes-en-la-bienal-de-venecia-2025>

Figura 3.19. Muestrario de reciclados. Fuente: <https://arquitecturaviva.com/articulos/build-of-site-pabellon-danes-en-la-bienal-de-venecia-2025>

Figura 3.20. Detalle inacabado. Fuente: <https://arquitecturaviva.com/articulos/build-of-site-pabellon-danes-en-la-bienal-de-venecia-2025>

Figura 3.21. Escultura “Cadena Perpetua” de María Guzmán. Fuente: <https://arloshuertos.com/catalogo/xiv-edicion-de-escombrarte>

Figura 3.22. Escultura “Cal de mare” de Marie-Laure Sudreau. Fuente: <https://arloshuertos.com/catalogo/xiv-edicion-de-escombrarte>

Figura 3.23. Escultura “Dama con abanico” de Fernando Herranz. Fuente:

<https://arloshuertos.com/catalogo/xiv-edicion-de-escombrarte>

Figura 3.24. Escultura “Gorriones al ocaso” de Julio César Bracho. Fuente:

<https://arloshuertos.com/catalogo/xiv-edicion-de-escombrarte>

Figura 3.25. Escultura “Tsukumogami marino” de Darío Rodríguez. Fuente:

<https://arloshuertos.com/catalogo/xiv-edicion-de-escombrarte>

Figura 3.26. Escultura “Elegía” de Matilde Navarro. Fuente:

<https://arloshuertos.com/catalogo/xiv-edicion-de-escombrarte>

Figura 3.27. Escultura “Obra nueva” de Ángel Lamela. Fuente:

<https://arloshuertos.com/catalogo/xiv-edicion-de-escombrarte>

Figura 3.28. Escultura “Casa con wifi” de Agustín García. Fuente:

<https://arloshuertos.com/catalogo/xiv-edicion-de-escombrarte>

4. Casos de estudio: proyectos arquitectónicos destacados

Figura 4.01. Demolición antigua escuela. Fuente: <https://www.harquitectes.com/es/proyectos/ibavi-2104/>

Figura 4.02. Fabricación bloques de marés reciclado. Fuente:

<https://www.harquitectes.com/es/proyectos/ibavi-2104/>

Figura 4.03. Bloques de marés reciclado. Fuente: <https://www.harquitectes.com/es/proyectos/ibavi-2104/>

Figura 4.04. Axonometría viviendas sociales 2140. Fuente:

<https://www.harquitectes.com/es/proyectos/ibavi-2104/>

Figura 4.05. Viviendas sociales 2140. Fuente: <https://www.harquitectes.com/es/proyectos/ibavi-2104/>

Figura 4.06: Interior de las viviendas. Fuente:

<https://www.harquitectes.com/es/proyectos/ibavi-2104/>

Figura 4.07. Parque Venecia. Fuente: <https://www.hfelorza.com/venecia-park.html>

Figura 4.08. Plaza peatonal. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/02-293258/parque-venecia-hector-fernandez-elorza-manuel-fernandez-ramirez>

Figura 4.09. Plaza peatonal. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/02-293258/parque-venecia-hector-fernandez-elorza-manuel-fernandez-ramirez>

Figura 4.10. Diagrama granulometrías. Fuente: <https://www.hfelorza.com/venecia-park.html>

Figura 4.11. Tierra armada. Fuente: <https://www.hfelorza.com/venecia-park.html>

Figura 4.12. Muro de tierra armada. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/02-293258/parque-venecia-hector-fernandez-elorza-manuel-fernandez-ramirez>

Figura 4.13. Residuos árido grande. Fuente: <https://www.hfelorza.com/venecia-park.html>

Figura 4.14. Muro de hormigón ciclópeo. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/02-293258/parque-venecia-hector-fernandez-elorza-manuel-fernandez-ramirez>

Figura 4.15. Sección parque Venecia. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/02-293258/parque-venecia-hector-fernandez-elorza-manuel-fernandez-ramirez>

Figura 4.16. Museo de diseño de Gante. Fuente: <https://carmodygroarke.com/work/gent-waste-brick>

Figura 4.17. Gent Waste Brick. Fuente: <https://carmodygroarke.com/work/gent-waste-brick>

Figura 4.18. Triturado de materiales. Fuente: <https://carmodygroarke.com/work/gent-waste-brick>

Figura 4.19. Mezclado de materiales. Fuente: <https://carmodygroarke.com/work/gent-waste-brick>

Figura 4.20. Prensado hidráulico de los ladrillos. Fuente:

<https://carmodygroarke.com/work/gent-waste-brick>

Figura 4.21. Fraguado y curado al aire. Fuente: <https://carmodygroarke.com/work/gent-waste-brick>

Figura 4.22. Planta museo DING. Fuente: <https://carmodygroarke.com/work/gent-waste-brick>

5. Residuos cerámicos

Figura 5.01. Zigurat de Ur. Fuente: <https://historiarterubino.wordpress.com/2023/02/02/arquitectura-civil/>

Figura 5.02. Puerta de Ishtar. Fuente: <https://auladehistoria.org/puerta-de-ishtar-comentario/>

Figura 5.03. Termas de Caracalla. Fuente: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/abren-publico-subterranos-termas-caracalla-roma_14451

Figura 5.04. Esquema de producción de materiales cerámicos. Fuente: <https://www.hispalyt.es/es/ceramica-para-construir/proceso-de-fabricacion>

Figura 5.05. Esquema de producción de materiales cerámicos. Fuente: <https://www.hispalyt.es/es/ceramica-para-construir/proceso-de-fabricacion>

Figura 5.06. Esquema de producción de materiales cerámicos. Fuente: <https://www.hispalyt.es/es/ceramica-para-construir/proceso-de-fabricacion>

Figura 5.07. Esquema de producción de materiales cerámicos. Fuente: <https://www.hispalyt.es/es/ceramica-para-construir/proceso-de-fabricacion>

Figura 5.08. Producción de material cerámico por tipo de producto. Fuente: “Informe conyuntura económica CEPCO. Confederación Española de Asociaciones de Fabricantes de Productos de Construcción, CEPCO, 2020.”

Figura 5.09. Residuos cerámicos. Fuente: <https://www.vivesceramica.com/empresa/ecovives/nuestras-actuaciones/gestion-y-valorizacion-de-residuos.html>

Figura 5.10. Waste based bricks. Fuente: <https://www.front-materials.com/wastebasedbricks/>

Figura 5.11. Residuos y adoquines. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/992203/arquitectos-espanoles-crean-mortero-absorbente-de-humedad-a-partir-de-residuos-de-la-construccion>

Figura 5.12. Adoquines reciclados. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/992203/arquitectos-espanoles-crean-mortero-absorbente-de-humedad-a-partir-de-residuos-de-la-construccion>

Figura 5.13. Residuos cerámicos. Fuente: <https://www.itc.uji.es/itc-aice-valorizara-residuos-ceramicos-con-el-proyecto-recerco/>

Figura 5.14. Baldosas recicladas. Fuente: <https://www.itc.uji.es/itc-aice-valorizara-residuos-ceramicos-con-el-proyecto-recerco/>

Figura 5.15. Ladrillo ecológico. Fuente: <https://ceramica-lapaloma.com/bricknews/el-innovador-ladrillo-ecologico-que-reduce-un-32-las-emisiones-de-co2/>

6. Propuesta

Figura 6.01. Zahorra reciclada mixta. Fuente: Elaboración propia en planta TEC REC.

Figura 6.02. Residuos cerámicos obtenidos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.03. Microscopio RC-01. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.04. RC-01. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.05. Microscopio RC-02. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.06. RC-02. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.07. Microscopio RC-03. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.08. RC-03. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.09. Microscopio RC-04. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.10. RC-04. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.11. Microscopio RC-05. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.12. RC-05. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.13. Microscopio RC-06. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.14. RC-06. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.15. RC-01 triturado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.16. RC-02 triturado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.17. RC-03 triturado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.18. RC-04 triturado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.19. RC-05 triturado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.20. RC-06 triturado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.21. Tamizado de los residuos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.22. Tamices 2 mm y 4 mm. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.23. Áridos obtenidos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.24. RC-01 obtenido. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.25. RC-02 obtenido. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.26. RC-03 obtenido. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.27. RC-04 obtenido. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.28. RC-05 obtenido. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.29. RC-06 obtenido. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.30. Dimensiones del molde. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.31. Cortado del material. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.32. Moldes terminados. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.33. Dibujo medidas ladrillo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.34. Báscula con residuos cerámicos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.35. Báscula con arcilla natural. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.36. Báscula con agua. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.37. Mezcla en seco de arcilla y residuos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.38. Mezcla en seco de cemento blanco y residuos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.39. Vertido del agua en la mezcla 1. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.40. Vertido de agua en la mezcla 3. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.41. Mezclado de materiales. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.42. Vertido en el molde y prensado manual. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.43. Probetas de la mezcla 2. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.44. Probetas de la mezcla 3. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.45. Prensadora hidráulica. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.46. Prensado hidráulico del ladrillo 1. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.47. Ladrillo 1 (arcilla + res. fino). Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.48. Ladrillo 2 (yeso + res. fino). Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.49. Ladrillo 3 (cemento + res. fino). Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.50. Probetas 1 (arcilla + res. fino). Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.51. Probetas 2 (yeso + res. fino). Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.52. Probetas 3 (cemento + res. fino). Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.53. Probetas (cemento + res. grueso). Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.54. Probetas (yeso + res. grueso). Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.55. Ladrillo (cemento + res. grueso). Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.56. Resultado ladrillo cerámico reciclado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.57. Salida del horno del ladrillo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.58. Probetas. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.59. Probetas sumergidas. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.60. Peso saturado de la probeta. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.61. Peso sumergido de la probeta. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.62. Probeta Cem-F sometida a flexión. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.63. Probeta Yes-F sometida a flexión. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.64. Probeta Arc-F sometida a flexión. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.65. Probeta Cem-F sometida a compresión. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.66. Probeta Yes-F sometida a compresión. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.67. Probeta Arc-F sometida a compresión. Fuente: Elaboración propia.

9.3 Bibliografía gráfica (tablas)

2. Estado de la cuestión

Tabla 2.01. Porcentajes admitidos de áridos reciclados según el tipo de hormigón. Fuente: «Decreto 110/2024, de 11 de diciembre, del Consejo de Gobierno, por el que se regulan los requisitos de utilización y usos admitidos de áridos reciclados procedentes de operaciones de valorización de residuos de construcción y demolición en la Comunidad de Madrid.» Comunidad de Madrid, 11 de diciembre de 2024. https://gestion.comunidad.madrid/wleg_pub/secure/normativas/contenidoNormativa.jsf?opcion=VerHtm&nmnorma=13890&eli=true#no-back-button

3. Residuos de construcción y demolición (RCD)

Tabla 3.01. Códigos LER. Fuente: «LER - Listado Europeo de Residuos (oficial)». Decisión 2014/955/UE, 2014. <https://asegre.com/ler-listado-europeo-de-residuos-oficial/>.

Tabla 3.02. Ficha técnica de las gravas recicladas. Fuente: <https://recicladados.net/>

Tabla 3.03. Ficha técnica de las zahorras recicladas. Fuente: <https://recicladados.net/>

Tabla 3.04. Ficha técnica de los suelos reciclados. Fuente: <https://recicladados.net/>

4. Casos de estudio: proyectos arquitectónicos destacados

Tabla 4.01. Ficha técnica del proyecto “Viviendas sociales 2140”. Fuente: <https://www.harquitectes.com/es/proyectos/ibavi-2104/>

Tabla 4.02. Ficha técnica del proyecto “Parque Venecia”. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/02-293258/parque-venecia-hector-fernandez-elorza-manuel-fernandez-ramirez>

Tabla 4.03. Ficha técnica del proyecto “Museo de diseño de Gante”. Fuente: <https://carmodygroarke.com/work/gent-waste-brick>

5. Residuos cerámicos

Tabla 5.01. Sector de la cerámica estructural. Fuente: Hispalyt <https://www.hispalyt.es/es/sala-de-prensa/el-sector-de-ladrillos-y-tejas-cierra-2024-con-crecimiento-sostenido-y-reclama-medidas-urgentes-para-garantizar-el-acceso-a-la-vivienda-#:~:text=El%20sector%20de%20ladrillos%20y%20tejas%20cerr%C3%B3%202024%20con%20130,llegando%20a%20los%204.877%20trabajadores.>

Tabla 5.02. Producción por tipo de material. Fuente: Informe conyuntura económica CEPCO. Confederación Española de Asociaciones de Fabricantes de Productos de Construcción, CEPCO, 2020.

Tabla 5.03. Composición química de los residuos cerámicos. Fuente: “Residuos de Construcción y Demolición. Centros de estudios y experimentación de obras públicas, 2014.”

Tabla 5.04. Características técnicas del “Waste based bricks”. Fuente: <https://www.front-materials.com/wastebasedbricks/>

6. Proceso experimental

Tabla 6.01. RC-01. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.02. RC-02. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.03. RC-03. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.04. RC-04. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.05. RC-05. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.06. RC-06. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.07. Pesos de cada tipo de residuo obtenido. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.08. Proporción de cada tipo de residuo cerámico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.09. Cantidad de materiales empleados para los ladrillos. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.10. Probetas para los ensayos. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.11. Probetas para los ensayos hídricos. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.12. Resultados de los ensayos hídricos. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.13. Coeficientes de absorción de las propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.14. Volumen y densidad aparentes de las propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.15. Porosidad abierta de las propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.16. Resultados ensayo de resistencia a flexión. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.17. Resultados ensayo de resistencia a compresión. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.18. Resultados ensayo de dureza Shore. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.19. Resultados ensayo de dureza Shore. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.20. Resultados ensayo de dureza Shore. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.21. Resultados ensayo de dureza Shore. Fuente: Elaboración propia.

Anexo

Tablas 1. Códigos LER. Fuente: «LER - Listado Europeo de Residuos (oficial)». Decisión 2014/955/UE, 2014. <https://asegre.com/ler-listado-europeo-de-residuos-oficial/>.

Anexo

En este apartado se recogen diferentes documentos necesarios a presentar antes de la gestión y valorización de RCD en las plantas de tratamiento y reciclaje:

1. Lista Europea de residuos (Códigos LER)

Fuente: «LER - Listado Europeo de Residuos (oficial)». Decisión 2014/955/UE, 2014.
<https://asegre.com/ler-listado-europeo-de-residuos-oficial/>

2. Autorización para la gestión de residuos no peligrosos: Residuos de construcción y demolición (RCD)

Fuente: Administración digital de la Comunidad de Madrid





3. Contrato de tratamiento de residuos (CTR)




Fuente: Planta de tratamiento integral de Navalcarnero









4. Documento de identificación de residuos sin identificación previa (DI)



Fuente: Planta de tratamiento integral de Navalcarnero







1. Lista Europea de residuos (Códigos LER)





1702	Madera, vidrio y plástico	
17 02 01	Madera	
17 02 02	Vidrio	
17 02 03	Plástico	
17 02 04	Vidrio, plástico y madera que contienen sustancias peligrosas o están contaminados por ellas	


1703	Mezclas bituminosas, alquitrán de hulla y otros productos alquitranados	
17 03 01	Mezclas bituminosas que contienen alquitrán de hulla	
17 03 02	Mezclas bituminosas distintas de las especificadas en el código 17 03 01	
17 03 03	Alquitrán de hulla y productos alquitranados	






1704	Metales (incluidas sus aleaciones)	
17 04 01	Cobre, bronce, latón	
17 04 02	Aluminio	
17 04 03	Plomo	
17 04 04	Zinc	
17 04 05	Hierro y acero	
17 04 06	Estaño	
17 04 07	Metales mezclados	
17 04 09	Residuos metálicos contaminados con sustancias peligrosas	

17 04 10	Cables que contienen hidrocarburos, alquitrán de hulla y otras sustancias peligrosas	
17 04 11	Cables distintos de los especificados en el código 17 04 10	

1705	Tierra (incluida la excavada de zonas contaminadas), piedras y lodos de drenaje	
17 05 03	Tierra y piedras que contienen sustancias peligrosas	
17 05 04	Tierra y piedras distintas de las especificadas en las especificadas 17 05 03	
17 05 05	Lodos de dragado que contienen sustancias peligrosas	
17 05 06	Lodos de dragado distintos de los especificados en el código 17 05 05	
17 05 07	Balasto de vías férreas que contiene sustancias peligrosas	
17 05 08	Balasto de vías férreas distinto del especificado en el código 17 05 07	

1706	Materiales de aislamiento y materiales de construcción que contienen amianto	
17 06 01	Materiales de aislamiento que contienen amianto	
17 06 03	Otros materiales de aislamiento que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas	
17 06 04	Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03	
17 06 05	Materiales de construcción que contienen amianto	

1708	Materiales de construcción a base de yeso	
17 08 01	Materiales de construcción a base de yeso contaminados con sustancias peligrosas	

17 08 02	Materiales de construcción a base de yeso distintos de los especificados en el código 17 08 01	
1709	Otros residuos de construcción y demolición	
17 09 01	Residuos de construcción y demolición que contienen mercurio	
17 09 02	Residuos de construcción y demolición que contienen PCB (por ejemplo, sellantes que contienen PCB, revestimientos de suelo a base de resinas que contienen PCB, acristalamientos dobles que contienen PCB, condensadores que contienen PCB)	
17 09 03	Otros residuos de construcción y demolición (incluidos los residuos mezclados) que contienen sustancias peligrosas	
17 09 04	Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03	

Autorización para la gestión de residuos no peligrosos: Residuos de construcción y demolición (RCD)

1.- Tipo de solicitud:

<input type="radio"/>	Autorización	Nº Autorización	
<input type="radio"/>	Modificación de la Autorización (Ampliación /Baja de procesos/ residuos, cambio de titularidad)		
<input type="radio"/>	Baja de la autorización		

2.- Datos del interesado:

NIF/NIE	Apellido 1		Apellido 2	
Nombre	Razón Social		Tipo Societario	
Correo electrónico			País	
Dirección	Tipo vía	Nombre vía	Nº	
Polígono Industrial			CP	
Provincia		Municipio		
Fax	Teléfono Fijo		Teléfono Móvil	

3.- Datos del centro:

Denominación Centro			NIMA	
Dirección	Tipo vía	Nombre vía	Nº	
Polígono Industrial		CP	Localidad	
Fax	Teléfono Fijo		Teléfono Móvil	
CNAE	Actividad			

4.- Datos de el/la representante

NIF/NIE	Apellido 1		Apellido 2	
Nombre	Razón Social			
Correo electrónico		Teléfono Fijo	Teléfono Móvil	

5.- Medio de notificación

La notificación se realizará por medios electrónicos, a través del servicio de Notificaciones Telemáticas de la Comunidad de Madrid, para lo cual previamente deberá estar dado de alta.

6.- Documentación requerida:

La Comunidad de Madrid consultará, por medios electrónicos, los datos de los siguientes documentos, excepto que expresamente desautorice la consulta (*)	No autorizo la consulta y apor to documento
Comprobante del abono de la tasa por autorización para la gestión de residuos (modelo 030).	<input type="checkbox"/>
Nº Comprobante	
NIF/NIE de Persona Jurídica	<input type="checkbox"/>
NIF/NIE de Persona Física	<input type="checkbox"/>

(*) En aplicación del artículo 28.2 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, de Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas

DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS SIN NOTIFICACIÓN PREVIA

(Artículo 6.1 y Anexo III del R.D. 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado. B.O.E. nº 171 del 19/07/2020)

INFORMACION DEL OPERADOR DEL TRASLADO

<input type="checkbox"/> PRODUCTOR <input type="checkbox"/> GESTOR/INST. DE TRATAMIENTO <input type="checkbox"/> NEGOCIANTE <input type="checkbox"/> AGENTE <input type="checkbox"/> POSEEDOR		
NOMBRE O RAZÓN SOCIAL:	C.I.F./N.I.F.:	TELF.:
DIRECCIÓN:	LOCALIDAD:	PROVINCIA:
Nº DE INSCRIPCIÓN:	NIMA:	

INFORMACIÓN RELATIVA AL ORIGEN DEL TRASLADO (Información del centro productor o poseedor de residuos o de la instalación origen del traslado)

NOMBRE O RAZÓN SOCIAL:	C.I.F./N.I.F.:	TELF.:
DIRECCIÓN:	LOCALIDAD:	PROVINCIA:
Nº DE INSCRIPCIÓN:	NIMA:	

DATOS DEL RESIDUO QUE SE TRASLADA

CÓDIGO LER	DENOMINACIÓN DEL RESIDUO	TONELADAS
17.09.04	OTROS RESIDUOS MEZCLADOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN QUE NO CONTIENEN SUSTANCIAS PELIGROSAS	
17.01.07	RESIDUOS DE HORMIGÓN, LADRILLOS, TEJAS Y MATERIALES CERÁMICOS DISTINTOS DE LOS ESPECIFICADOS EN EL CÓD.170106	
17.01.01	HORMIGÓN	

DATOS DEL TRANSPORTISTA

NOMBRE O RAZÓN SOCIAL:	C.I.F./N.I.F.:	TELF.:
DIRECCIÓN:	LOCALIDAD:	PROVINCIA:
Nº DE INSCRIPCIÓN:	NIMA:	MATRICULA:

INFORMACIÓN RELATIVA AL DESTINO DEL TRASLADO					
Información de la instalación de destino					
NIF	S2800192C	Razón social/Nombre	PLANTA RCD DE NAVALCARNERO (C. MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO)		
NIMA	2800021304	Nº Inscripción	13G04A1400025656Q	Tipo centro gestor (**)	G04
Dirección	CTRA M-600 KM 45,700			C.P.	28600
Municipio	NAVALCARNERO	Provincia	MADRID		
Teléfono	600 912 661	Correo electrónico	rcd.navalcarnero@tragsa.es		Operación Tratamiento R5
Información de la empresa autorizada para realizar operaciones de tratamiento de residuos, incluido el almacenamiento, en la instalación de destino					
NIF	A28476208	Razón social/Nombre	EMPRESA DE TRANSFORMACION AGRARIA, S.A. S.M.E., MP		
NIMA	2800111672	Nº inscripción	13E02A3100032426N		
Dirección	Calle DE MALDONADO 58			C.P.	28006
Municipio	Madrid	Provincia	Madrid		

A CUMPLIMENTAR POR DESTINO FINAL (GESTOR)

FECHA DE ENTREGA:	CANTIDAD RECIBIDA.....TN.....M ³
ACEPTACIÓN: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	Incidencia en caso de rechazo:
ENTREGADO POR (Operador traslado):	RECIBIDO POR (Gestor):
Fdo.:	Fdo.:

