

Electrometalurgia y Reciclaje de Materiales

Tema 1. Recuperación y reciclado



Carlos Thomas García

Departamento de Ciencia e Ingeniería del
Terreno y de los Materiales

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Fuente: Ramón CAMI.

La **recuperación** es la separación de materiales del flujo de residuos por su mayor importancia tanto desde el punto de vista de su valor económico o por su carácter de peligroso o contaminante.



Fuente: Aryfahmed.

El **reciclaje** implica transformación total o parcial de los residuos en un nuevo producto, con un uso similar o diferente al material que le dio origen, sin mantener las cualidades del producto original.

Reciclaje

- Protección del medio ambiente a través de la reducción del consumo de recursos (materias primas y energía).
- Disminución de los impactos en suelos, aguas y aire (emisiones y vertidos).
- Protección de la salud de los seres humanos evitando la dispersión de contaminantes.

PREVENCIÓN. Reducción en origen y Reutilización.

VALORIZACIÓN. Reciclaje materiales / Compost, Recuperación energética.

ELIMINACIÓN. Vertido.

Resolución del Consejo de 24 de febrero de 1997 sobre una Estrategia Comunitaria de Gestión de Residuos.

Viabilidad económica del reciclado y la valorización

- Costes de separación, recogida, transporte, almacenamiento y acondicionamiento del residuo antes de su tratamiento y procesado.
- Cantidad de material disponible y condiciones de limpieza.
- Proximidad de la fuente productora al lugar en que será valorizado el material.
- Coste del procesado del producto.
- ¡¡¡Características y aplicación del producto resultante!!!
- Demanda del mercado para el material valorizado.

Fuente: Bakhtiarzein.



Tipos de residuos reciclables según su origen

Industriales (proceso productivo fabricación/extracción).

- Metálicos (recortes, escorias...).
- Plásticos (recortes, rebabas...).
- Otros: maderas, vidrios, RCD, etc.



Fuente: Petair.

Residuos post-consumo (fin de la fase de uso en el ciclo de vida).

- Residuos de envases ligeros de origen urbano.
- Vehículos fuera de uso (VFU).
- Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).
- Residuos de construcción y demolición (RCD).
- Otros: neumáticos fuera de uso (NFU).



Fuente: Antoni Traver.

Esquema general del procedimiento de reciclado y valorización

RECOGIDA Y SEPARACIÓN

Selección por tipos de materiales: papel, metal, plástico, madera, pétreos, etc.

ACONDICIONAMIENTO

Etapa intermedia en la que se preparan los materiales para ser transformados en nuevos productos o aprovechar la energía que contienen: técnicas de acondicionamiento, reciclado mecánico, físico-químico y recuperación energética.

TRANSFORMACIÓN

Procesado de los materiales para la creación de nuevos productos a partir de los materiales recuperados.

Ejemplo de reciclaje de RCD en una planta de prefabricados

Tesis doctoral Francisco Fiol, Burgos, 2016

GRUPO GERARDO DE LA CALLE



Tesis doctoral

Estudio experimental sobre propiedades
mecánicas y de durabilidad de hormigones
estructurales autocompactantes con áridos
reciclados y su aplicación a la prefabricación



Ejemplo de reciclaje de RCD en una planta de prefabricados

Tabla 105 Estimación del precio unitario sobre una muestra de machaqueo de 10 m³ realizada en una central de tratamiento de residuos y de diversos elementos prefabricados (pilares, vigas etc.)

Ud	Designación	Precio	Cantidad	Importe (€)
h	Horas pinza hidráulica	45	1	45
€/t	Trituración primaria mandíbulas tamaño 0/100 (rendimiento 80 t/h)	0,5	10	5
€/t	Machacadora de impactos 0/25 mm (Rendimiento 30 t/h)	2	10	20
€/t	Cribado tromel o cribadora	4	10	40
€/t	Transporte a vertedero (50 km)	10	10	100
€/t	Tasa vertido	6,2	10	-62
kg	Acero ferralla residuo (cuantía media 15 kg/ml)	0,25	300	-75
Total				73
Rendimiento unitario (65%) (*)				11,73 €/t

(*) Rendimiento considerado de los estudios.



Fuente: Zilvergolf.



Fuente: Arskan.

¿Es económicamente viable el reciclaje de RCD?

¿Es económicamente viable el reciclaje de RCD?

Ejemplo de reciclaje de RCD en una planta de prefabricados

Precio de 1 m³ de hormigón tradicional

Tabla 107 Precio descompuesto correspondiente a 1 m³ de hormigón con dosificación w/c=0,35 y f_{ck} =45 MPa Hormigón de referencia.

Ud	Designación	Precio	Cantidad	Total (€/m ³)
h	Horas de Peón	16,8	0,834	14,01
t	Cemento I-52,5	100,82	0,32	32,26
t	Arena silícea 0/2	13,9	0,65	9,03
t	Árido grueso silíceo 2/12,5	18	1,15	20,70
t	Filler calizo	29	0,28	8,12
kg	Aditivo Sika Superfluidificantes 20HE	2	0,605	1,21
kg	Aditivo Sika 5920	2	1,5	3
l	Agua	1,27	0,11	0,13
h	Hormigonera de capacidad 2 m ³	3,89	0,55	2,13
Total (€/m³)				90,61

Ejemplo de reciclaje de RCD en una planta de prefabricados

Precio de 1 m³ de hormigón reciclado 100%

Tabla 109 Precio descompuesto correspondiente a 1m³ de hormigón con dosificación w/c=0,35 y f_{ck} =45 MPa y sustitución de un 100% de AR.

Ud	Designación	Precio	Cantidad	Total (€/m ³)
h	Horas de Peón	16,8	0,834	14,01
t	Cemento I-52,5	100,82	0,32	32,26
t	Arena 0/2	13,9	0,72	10,01
t	Árido grueso 2/12,5	18	0	0
t	AR árido reciclado procedente prefabricados	11,23	1,05	11,79
kg	Filler calizo	29	0,28	8,12
kg	Aditivo Supefluificante 20HE	2	0,802	1,70
kg	Aditivo Sika 5920 reductor agua	2	2,05	4,10
l	Agua	1,27	0,11	0,13
h	Hormigonera capacidad 2 m ³	3,89	0,55	2,13
Total (€/m ³)				82,65

Valorización de escorias siderúrgicas (video GSW)



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=eVlojFqQnxY>.

Fabricación de acero: etapa de fusión

Horno alto (siderurgia integral)



Horno eléctrico de arco (siderurgia eléctrica)



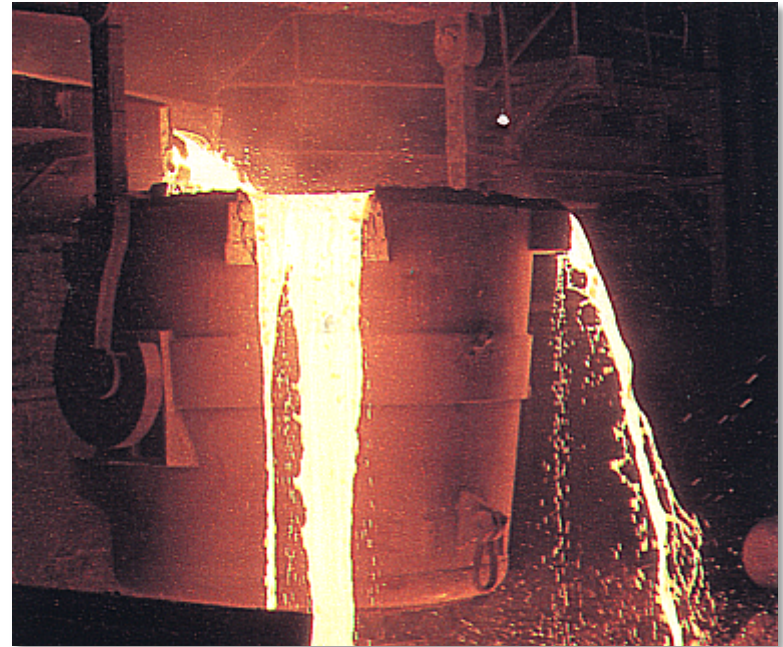
Fabricación de acero: etapa de afino

**Horno alto (siderurgia integral):
Descarburación en convertidores de oxígeno**



Fuente: <https://spanish.alibaba.com>.

**Horno eléctrico de arco (siderurgia eléctrica):
Afino en horno de cuchara**

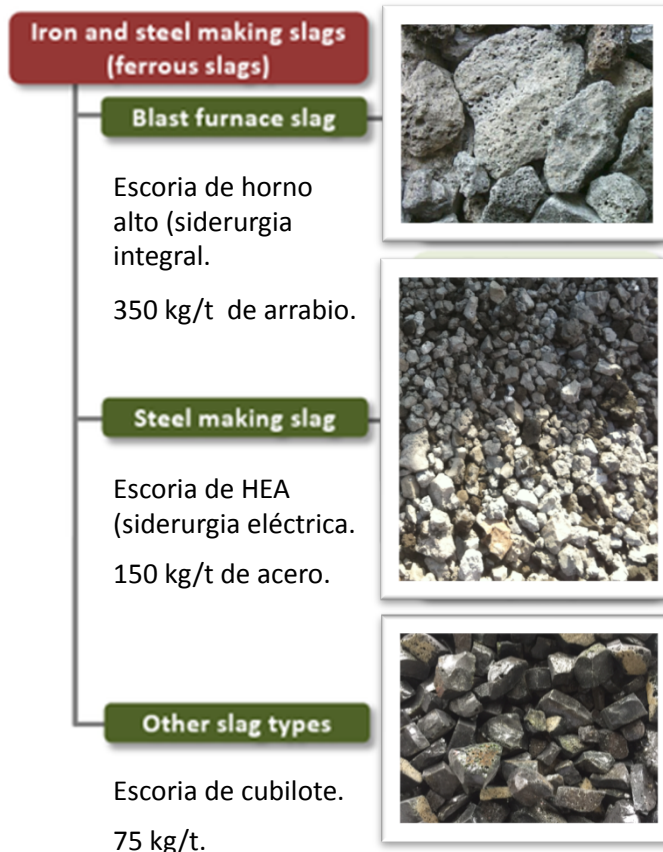


Fuente: <http://www.refractariosarnabri.com>.

- En España se fabricaron 13,6 MT (2016), N° 16 ranking mundial.
- En torno al 70% de la producción se realiza en HEA (9,5 MT).

Ejemplo de reciclaje de RCD en una planta de prefabricados

Etapas de fusión



Desempeño de la escoria:

- Forma parte de la purificación y afino del metal resultante.
- Actúa como interfaz entre el caldo férreo y la atmósfera oxidante.
- Aísla térmicamente el metal líquido.

«La escoria tras ser enfriada siempre es un problema y su valorización es la única solución».

Sostenibilidad

Europa



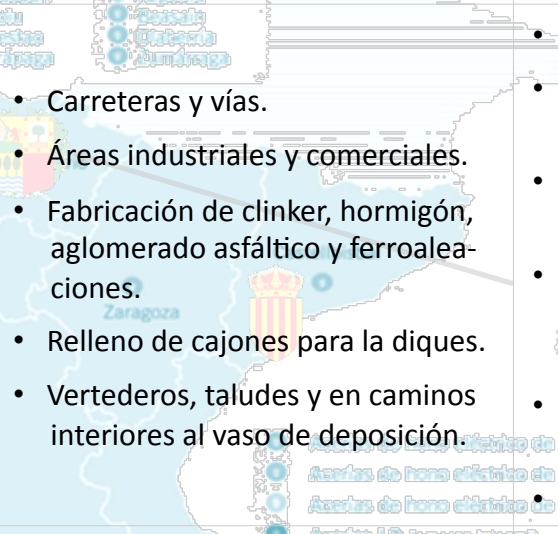
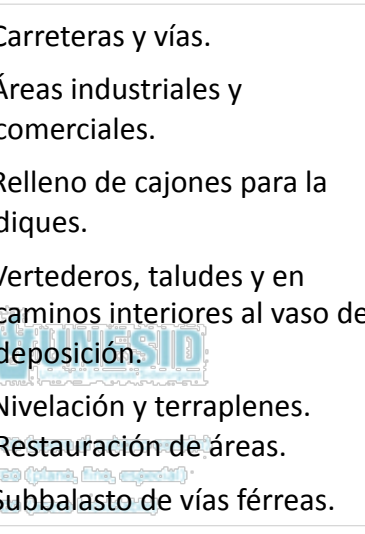
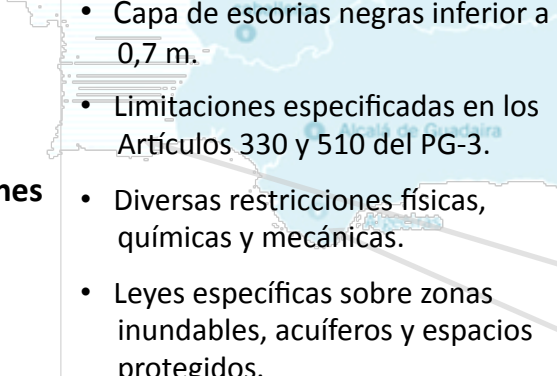
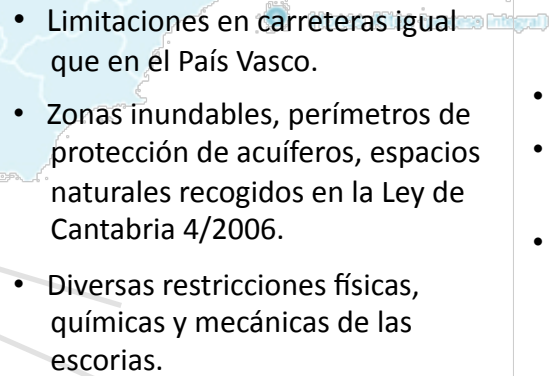
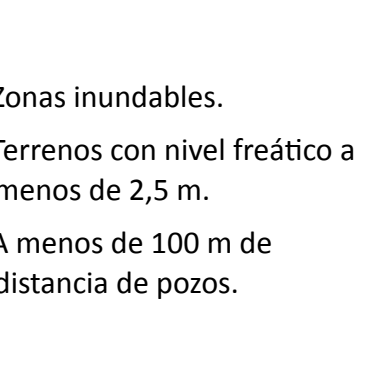
- Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE.
- Catálogo Europeo de Residuos (CER).
- Lista Europea de residuos (LER).
- Minimizar el vertido 2020.

España



- Residuos y suelos contaminados, Ley 22/2011.
- Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015.
- Catálogo de residuos utilizables en construcción (CEDEX).
- EHE-08 (Código Estructural 19).

Sostenibilidad

	País Vasco Decreto 34/2003	Cantabria Decreto 104/2006	Cataluña Decreto 32/2009
Usos	 • En carreteras y vías. • Áreas industriales. • Vertederos y pistas provisionales. • Fabricación de cemento y hormigón.	 • Carreteras y vías. • Áreas industriales y comerciales. • Fabricación de clinker, hormigón, aglomerado asfáltico y ferroaleaciones. • Relleno de cajones para la diques. • Vertederos, taludes y en caminos interiores al vaso de deposición.	 • Carreteras y vías. • Áreas industriales y comerciales. • Relleno de cajones para la diques. • Vertederos, taludes y en caminos interiores al vaso de deposición. • Nivelación y terraplenes. • Restauración de áreas. • Subbalasto de vías férreas.
Limitaciones	 • Capa de escorias negras inferior a 0,7 m. • Limitaciones especificadas en los Artículos 330 y 510 del PG-3. • Diversas restricciones físicas, químicas y mecánicas. • Leyes específicas sobre zonas inundables, acuíferos y espacios protegidos.	 • Limitaciones en carreteras igual que en el País Vasco. • Zonas inundables, perímetros de protección de acuíferos, espacios naturales recogidos en la Ley de Cantabria 4/2006. • Diversas restricciones físicas, químicas y mecánicas de las escorias.	 • Zonas inundables. • Terrenos con nivel freático a menos de 2,5 m. • A menos de 100 m de distancia de pozos.

Valorización de las escorias

Escoria de horno eléctrico de arco

Transporte de las escorias tras ser retirada del horno



Descarga de las escorias en la zona de enfriamiento



Precriba de las escorias



Acopio de las escorias



Valorización de las escorias

Escoria de horno eléctrico de arco



Machaqueo y cribado



Transformación en árido siderúrgico



- Cal.
- Magnesia.



- Bases y sub-bases de carreteras.
- Esqueleto de hormigones y mezclas bituminosas.