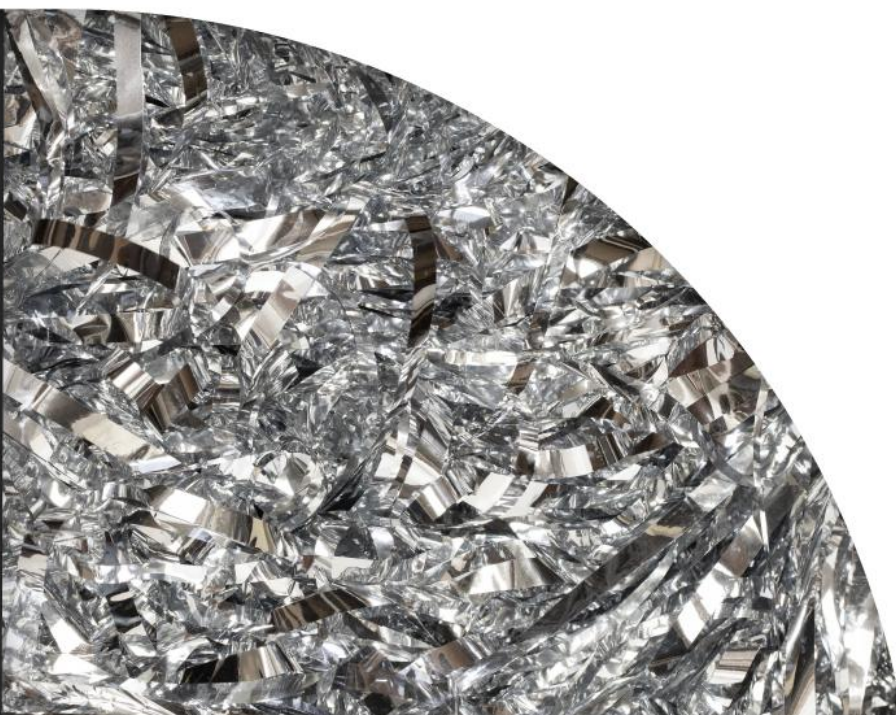


GUÍA PARA EL USO DE MATERIALES RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS VIARIAS



© DFB-DIDT, marzo 2025

Edita: Departamento de Infraestructuras y Desarrollo Territorial

Diputación Foral de Bizkaia

C/ Ibañez de Bilbao, 20

48009 Bilbao

Contenido: Este documento ha sido elaborado por el Departamento de Infraestructuras y Desarrollo Territorial de la Diputación Foral de Bizkaia con la colaboración de las empresas IDOM Consulting, Engineering & Architecture, SAU. y CIESM-INTEVIA.

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Guía para el uso de materiales reciclados en la construcción de infraestructuras viarias	1
3. Estructura de la guía sobre incorporación materiales reciclados en construcción de materiales reciclados en la construcción de infraestructuras viarias (basado en la estructura final de las fichas)	2
4. Inventario digital	3
5. Usos principales de los materiales reciclados en la construcción de Infraestructuras viarias	4
6. Fichas de los materiales reciclados	4
6.1. Acero reciclado	8
6.2. Aluminio reciclado.....	12
6.3. Material bituminoso recuperado de fresados.....	15
6.4. Árido reciclado de RCD.....	19
6.5. Árido siderúrgico de horno eléctrico	22
6.6. Árido reciclado de residuos sólidos urbanos	26
6.7. Cobre reciclado	28
6.8. Cenizas de incineración de las estaciones de depuración de aguas residuales	31
6.9. Madera reciclada.....	33
6.10. Neumáticos fuera de uso.....	36
6.11. Piedra ornamental	39
6.12. Plástico reciclado.....	41
6.13. Polvo de Waelz (ferrosita)	47
6.14. Reciclado in situ de firmes.....	49
6.15. Vidrio reciclado	52
7. Bibliografía	56

1. Introducción

La presente guía tiene como objetivo principal proporcionar un compendio completo y actualizado, sujeto a continua revisión, que incorpore materiales reciclados en proyectos de infraestructuras viales en las carreteras del territorio histórico de Bizkaia. Esta herramienta busca apoyar a los responsables de la toma de decisiones en la planificación, mantenimiento, y modernización de proyectos sostenibles. El desarrollo de esta guía tiene como propósito principal:

1. **Apoyar la toma de decisiones** de los responsables en proyectos de infraestructura viaria mediante información técnica y normativa actualizada.
2. **Promover la sostenibilidad** en la construcción viaria a través de la integración de materiales reciclados y eco-innovación.
3. **Cumplir con la normativa vigente** como la Directiva Marco de Residuos (2008/98/CE) y los Criterios de Compras Públicas Verdes de la UE.
4. Cumplir con la **Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética** de estatal, que establece objetivos y medidas para la descarbonización de la economía y la transición hacia un modelo energético sostenible en el ámbito de la construcción de infraestructuras. También se alinea con la **Ley 1/2024, de 8 de febrero, de Transición Energética y Cambio Climático** del País Vasco, que busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la adaptación al cambio climático en la construcción de infraestructuras en la región.
5. **Difundir la filosofía de la economía circular**, favoreciendo la sensibilización y educación en temas de sostenibilidad.

Con estas herramientas y niveles de información, se espera facilitar la implementación de estrategias sostenibles y eficientes en infraestructuras viarias, garantizando al mismo tiempo el cumplimiento normativo y la mejora de los indicadores ambientales del sector.

Esta guía incluye herramientas complementarias como fichas técnicas detalladas y un inventario digital en formato Excel para evaluar el uso de materiales reciclados en las obras. Esta guía se presenta como una herramienta esencial para avanzar hacia una infraestructura vial más sostenible en el País Vasco.

2. Guía para el uso de materiales reciclados en la construcción de infraestructuras viarias

Para la elaboración de una guía centrada en la utilización de materiales reciclados en infraestructuras viarias, se estructura la información siguiendo los siguientes niveles:

Información estructurada y sistematizada

Se proporciona un análisis detallado sobre las posibilidades de incorporación de materiales reciclados en obras viarias. Esto incluye:

- Clasificación de los materiales reciclados más comunes, como asfalto reciclado, hormigón con escorias siderúrgicas y neumáticos reciclados.
- Descripción de las aplicaciones en capas base, subbases, mezclas bituminosas, y rellenos.
- Normativas asociadas y requisitos técnicos para su implementación, como el marcado CE y regulaciones UNE y EN.

Información cuantitativa

Se detalla el rango de porcentajes mínimos y máximos de contenido reciclado permitido según los materiales y su tecnología de fabricación.

Soluciones adaptadas al progreso técnico

Se presentan estrategias que promueven la sostenibilidad en infraestructuras viarias:

- Uso de materiales con Declaración Ambiental de Producto (DAP) para garantizar la trazabilidad ambiental.
- Identificación de fabricantes/distribuidores comprometidos con la economía circular.
- Recomendaciones sobre mejores prácticas para minimizar el impacto ambiental y fomentar la durabilidad.

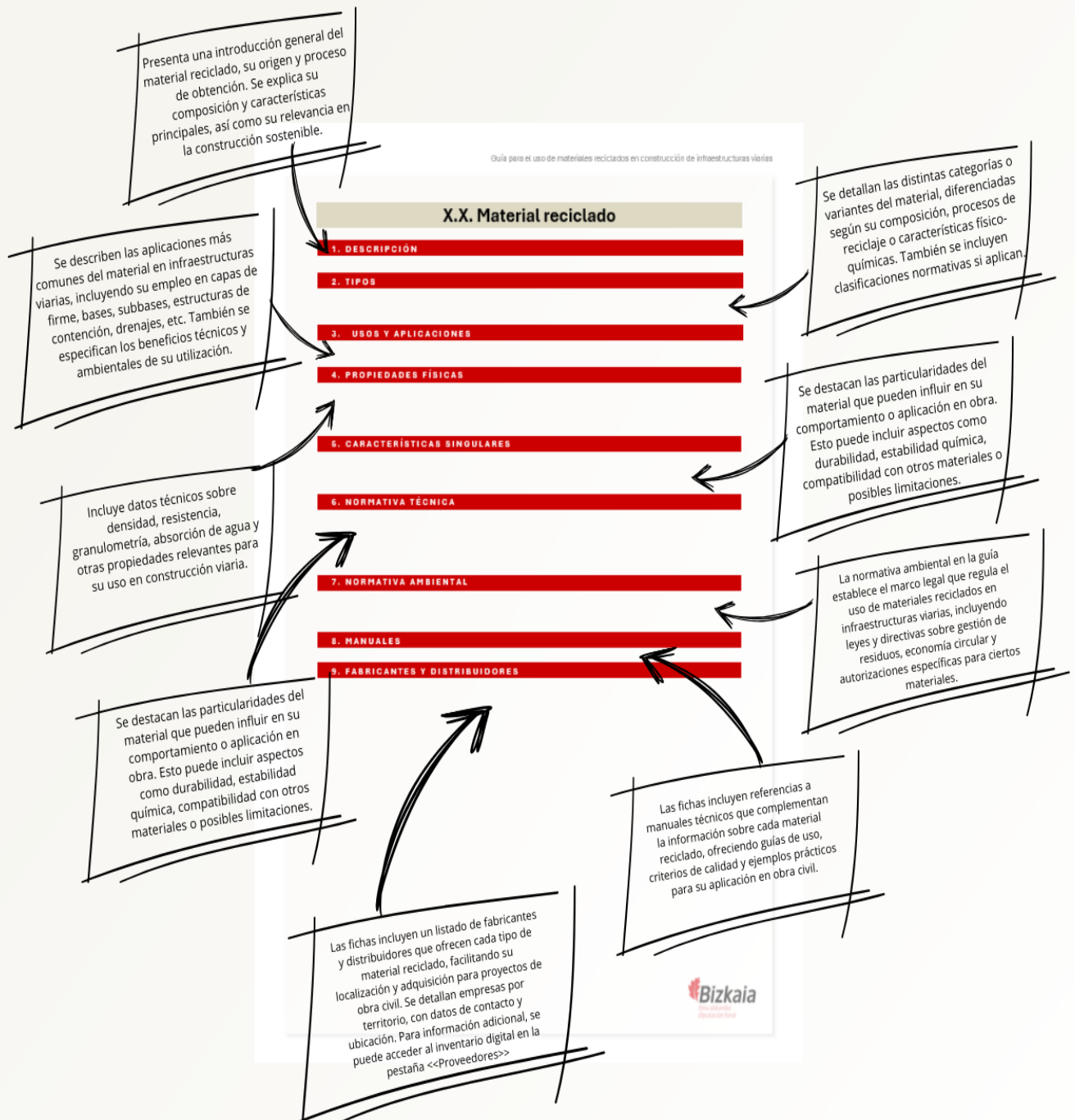
Para facilitar la aplicación de esta guía, se incorporan dos herramientas complementarias:

Manual: un documento que organiza de manera clara y sistemática toda la información relevante, con fichas técnicas que incluyen descripciones, aplicaciones, normativas, impactos ambientales de los materiales reciclados.

Inventario digital: diseñada para navegar de manera interactiva acerca del uso de materiales reciclados en proyectos de infraestructuras viarias.

El ámbito de esta guía, junto con su inventario digital, abarca todas las obras de nueva construcción o rehabilitación que se lleven a cabo en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Esto incluye cualquier fase del desarrollo del proyecto (fase diseño, fase construcción y fase explotación), y abarca diferentes tipologías como firmes, rellenos y estructuras. Con estas herramientas y niveles de información, se espera facilitar la implementación de estrategias sostenibles y eficientes en infraestructuras viarias, garantizando al mismo tiempo el cumplimiento normativo y la mejora de los indicadores ambientales del sector.

3. Estructura de la guía sobre incorporación materiales reciclados en construcción de materiales reciclados en la construcción de infraestructuras viarias



4. Inventario digital

El inventario digital de la "Guía de uso de materiales reciclados en la construcción de infraestructuras viarias" ha sido diseñado para ser una herramienta dinámica, interactiva y amigable con el usuario. A continuación, se describen las instrucciones para garantizar su uso eficiente:

Navegación interactiva:

- La navegación en el inventario se realiza mediante botones interactivos que conectan con las diferentes pestañas del archivo Excel.
- Al hacer clic en las figuras o elementos visuales, se accede directamente a los apartados relevantes, eliminando la necesidad de explorar manualmente las pestañas.

Pestaña "Inventario interactivo":

- Esta pestaña permite al usuario personalizar su propio inventario, seleccionando unidades de obra y los materiales reciclados disponibles que sean aplicables.
- Es ideal para gestionar proyectos específicos y planificar el uso de recursos reciclados de manera eficiente.

Control y seguridad:

- Para evitar cambios no deseados, las pestañas principales del inventario están bloqueadas, garantizando la integridad de la información.
- El usuario solo podrá realizar modificaciones en las secciones habilitadas para ello, como en la pestaña "Inventario Interactivo".

Acceso a fichas técnicas:

- Cada material reciclado está vinculado a una ficha técnica dentro del mismo archivo. Estas fichas contienen información detallada sobre descripciones, aplicaciones, normativas y beneficios ambientales.
- Esta estructura permite una consulta rápida y centralizada sin necesidad de abrir múltiples documentos.

Toda la información relevante está contenida en un único archivo, lo que facilita su uso en reuniones, talleres y procesos de toma de decisiones. La herramienta está optimizada para realizar consultas de manera intuitiva, reduciendo tiempos y mejorando la eficiencia operativa. El inventario está diseñado para ser actualizable, permitiendo la incorporación de nuevos materiales, normativas y funcionalidades a medida que se desarrolle el conocimiento en la materia.

Con estas funcionalidades, el inventario digital se

posiciona como una herramienta clave para optimizar el uso de materiales reciclados en infraestructuras viarias, que espera facilitar la implementación de estrategias sostenibles y eficientes en infraestructuras viarias, garantizando al mismo tiempo el cumplimiento normativo y la mejora de los indicadores ambientales del sector.

5. Usos principales de los materiales reciclados en la construcción de Infraestructuras viarias

Material	Aplicaciones
Áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD)	- Material granular para rellenos, regulación de desmontes, explanadas mejoradas bajo superficies impermeables - Zahorra para capas de firme de viales, bajo superficies impermeables - Material para carreteras tratado con cemento
Árido siderúrgico de horno eléctrico	Aplicaciones ligadas: - Mezclas bituminosas - Tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla - Materiales tratados con cemento - Pavimento de hormigón y hormigón magro vibrado Aplicaciones no ligadas: - Zahorra artificial - Explanadas mejoradas y rellenos
Cenizas de incineración de las estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR)	Aplicaciones ligadas: - Filler en mezclas bituminosas - Materiales tratados con cemento
Material bituminoso recuperado de fresados	Aplicaciones ligadas: - Mezclas bituminosas - Materiales tratados con cemento - Pavimento de hormigón y hormigón magro vibrado Aplicaciones no ligadas: - Zahorra artificial - Explanadas mejoradas y rellenos
Neumáticos fuera de uso (NFU)	Aplicaciones ligadas: - Betunes y mezclas bituminosas - Tratamientos superficiales o antipropagación de fisuras Otras aplicaciones: - Mejora de propiedades mecánicas del hormigón - Barreras acústicas y de seguridad - Rellenos ligeros - Pavimentos en continuo y losetas de seguridad - Relleno de balsas de infiltración de aguas pluviales - Sistemas de drenaje de vertederos - Césped artificial - Atenuadores del oleaje - Protección exterior de taludes
Áridos reciclados de residuos sólidos urbanos	Aplicaciones no ligadas:

Material	Aplicaciones
	- Rellenos - Explanadas mejoradas - Zahorras
Polvo de Waelz (Ferrosita)	- Nivelación de terrenos - Zonas deportivas - Diques - Material filtrante para drenes subterráneos - Capa de firme - Componente en la fabricación de cemento - Lana de roca - Chorreado de piezas - Estudios para su uso en la industria cerámica
Reciclado in situ de firmes	Reciclado con cemento: - Reconstrucción total de carreteras - Ensanche o mejora del perfil - Trabajos bajo tráfico - Construcción in situ de nuevas capas - Realización de ensanches - Corrección de perfiles y peraltes Reciclado con emulsión: - Tratamiento previo para reconstituir la continuidad de una capa deteriorada - Impermeabilización de capas granulares sensibles al agua
Acero reciclado	- Construcción de edificios (vigas, columnas, estructuras de soporte) - Construcción de puentes y otras estructuras de ingeniería civil - Acero estructural - Acero no estructural - Aceros largos (barra corrugada, alambrón, barras lisas, perfiles livianos, pesado y rieles) - Aceros para la construcción (acero figurado, barras, perfiles, malla y grafites, rollos, vigas) - Acero para la industria (lámina, bobina, alambrón, plancha, piezas de hierro, acero y aleaciones)
Aluminio reciclado	- Recipientes y embalajes - Industria del transporte y automoción - Construcción de edificios (puentes, torres, castilletes, pilares, columnas, armazones para techos, techados, puertas, ventanas y sus marcos, contramarcos y umbrales, barandillas, prefabricados, chapas decorativas y antideslizantes para pisos, chapas para recubrimientos en fachadas, barras, perfiles, tubos en formas de "T", ángulos, vigas, canales y "Z") - Equipos eléctricos - Bienes de consumo duraderos - Reflectores de luz y calor - Aplicaciones donde no se desean interferencias con campos magnéticos
Cobre reciclado	- Cableado de edificaciones - Instalación de tuberías de agua y gas - Sistemas térmicos

Material	Aplicaciones
	- Techumbres y terminaciones arquitectónicas - Componentes estructurales - Aplicaciones en hospitales y entornos higiénicos - Material sostenible y reciclable
Vidrio reciclado	- Árido en mezclas bituminosas - Árido en hormigón - Material de relleno o drenaje - Fabricación de vidrio laminado - Microesferas de vidrio para señalización vial - Lana mineral de vidrio - Mosaicos, azulejos y productos decorativos - Conglomerante puzolánico (ECO'STABIL®) para caminos y aparcamientos
Plástico reciclado	- Cañerías y tuberías - Pavimentación (geotextiles para carreteras) - Decoración y acabados (recubrimiento exterior de fachadas) - Instalaciones eléctricas (recubrimientos del cableado) - Aislantes y ventanas
Madera reciclada	- Tableros aglomerados - Tableros de fibras - Reuso directo en carpintería, refuerzos o mobiliario - Maderas recuperadas y reconstruidas - Perfiles de madera laminada - Perfiles con tiras de madera PSL - Perfiles de virutas pequeñas LSL - Madera plástica - Combinaciones con plástico reciclado, cemento, yeso o subproductos
Piedra ornamental	- Prefabricados para la construcción - Producción de cemento - Usos agrícolas - Aditivos de hormigones y mezclas bituminosas - Material de relleno - Estabilización de taludes y suelos
Áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD)	- Material granular para rellenos, regulación de desmontes, explanadas mejoradas bajo superficies impermeables - Zahorra para capas de firme de viales, bajo superficies impermeables - Material para carreteras tratado con cemento

6. Fichas de los materiales reciclados

6.1. Acero reciclado

1. DESCRIPCIÓN



Los residuos metálicos se clasifican en férricos y no férricos. Los residuos férricos son fundamentalmente el hierro, el acero y los residuos de fundición. Estos residuos son muy

valorados para el reciclaje, ya que ahorran, por un lado, una gran cantidad de energía respecto a la producción con el mineral de hierro y, por el otro, una cantidad importante de agua.

Los residuos férricos notoriamente importantes entre los residuos metálicos en cuanto a cantidad reciclada. Los más destacados son los compuestos de hierro: principalmente los compuestos de acero (hierro con <2% de carbono) y los

compuestos de fundición (hierro con <6% de carbono).

Los compuestos de acero son las aleaciones de hierro y carbono, siempre que el carbono se encuentre en un porcentaje inferior al 2%. El acero presenta propiedades mecánicas muy favorables para la construcción de edificios y otras estructuras. Se pueden hacer diversas variaciones en la proporción de sus componentes y añadir otros elementos para aumentar o mejorar su resistencia a la corrosión, al desgaste, a la durabilidad, a la tenacidad, a la elasticidad, a la soldabilidad, a la forjabilidad o a la deformación en frío.

El acero es el material más reciclado del mundo, incluso más que el aluminio, el plástico y el vidrio. Es completamente reciclable al final de la vida útil del producto y podría ser reciclado un número ilimitado de veces sin perder mucha calidad, ya que se degrada muy poco en estas operaciones; la única limitación es el rendimiento del reciclaje.

2. TIPOS

El acero se puede clasificar en función de varios criterios, incluyendo la composición química, su calidad y los tipos diferentes del acero. Sin embargo, la mayoría de los aceros utilizados industrialmente presentan una designación normalizada expresada por medio de cifras, letras y signos. Hay dos tipos de designaciones para cada tipo de material, una simbólica y otra numérica

La designación simbólica expresa normalmente las características físicas, químicas o tecnológicas del material y, en muchos casos, otras características suplementarias que permitan su identificación de una forma más precisa. Por otro lado, la designación numérica expresa una codificación alfanumérica que tiene un sentido de orden o de clasificación de elementos en grupos para facilitar su identificación. En este caso, la designación no tiene un sentido descriptivo de características del material. En general, cuando se acomete el tema de hacer una clasificación de los aceros, ésta dará resultados diferentes según el enfoque que se siga.

Según la norma UNE EN 10020:2001, y atendiendo a la composición química, los aceros se clasifican en:

- Aceros no aleados, o aceros al carbono: son aquellos en el que, a parte del carbono, el contenido de cualquiera de otros elementos aleantes es inferior a la cantidad especificada en la UNE EN 10020:2001. Como elementos aleantes que se añaden están el manganeso (Mn), el cromo (Cr), el níquel (Ni), el vanadio (V) o el titanio (Ti). Por otro lado, en función del contenido de carbono presente en el acero, se tienen los siguientes grupos:
 - I) Aceros de bajo carbono ($\%C < 0.25$)
 - II) Aceros de medio carbono ($0.25 < \%C < 0.55$)
 - III) Aceros de alto carbono ($2 > \%C > 0.55$)
- Aceros aleados: aquellos en los que, además del carbono, al menos uno de sus otros elementos presentes en la aleación es igual o superior al valor límite dado en la

UNE EN 10020:2001. A su vez este grupo se puede dividir en:

- I) Aceros de baja aleación (elementos aleantes < 5%)
 - II) Aceros de alta aleación (elementos aleantes > 5%)
- Aceros inoxidables: son aquellos aceros que contienen un mínimo del 10.5% en Cromo y un máximo del 1.2% de Carbono.

No todos los aceros presentan la misma facilidad para su reciclado. **Los aceros al carbono y otras aleaciones con propiedades magnéticas** son los más reciclables, mientras que los **aceros inoxidables** presentan mayor complejidad. Debemos recordar que en su composición podemos encontrar elementos diversos, como el níquel, el cromo, el carbono o el molibdeno, entre otros. Los **aceros inoxidables austeníticos**, por ejemplo, no son magnéticos por su contenido en níquel, y esto dificulta su reutilización. Estos incluyen grados muy utilizados en construcción de como el 304 y el 316. Sin embargo, al estar concebidos para durar, no suponen un peligro para la puesta en práctica de una economía circular.

Los aceros inoxidables ferríticos y martensíticos sí tienen buenas propiedades magnéticas, por su bajo contenido en cromo y níquel, y su uso en aplicaciones con una durabilidad media, hace que puedan ser reciclados continuamente sin dañar ni degradar sus propiedades.

Según el uso a que se quiera destinar, los aceros se pueden clasificar en los siguientes:

- Aceros de construcción: este tipo de acero suele presentar buenas condiciones de soldabilidad;
- Aceros de uso general: generalmente comercializado en estado bruto de laminación;

- Aceros cementados: son aceros a los cuales se les ha sometido a un tratamiento termoquímico que le proporciona dureza a la pieza, aunque son aceros también frágiles (posibilidad de rotura por impacto). El proceso de cementación es un tratamiento termoquímico en el que se aporta carbono a la superficie de la pieza de acero mediante difusión, modificando su composición, impregnando la superficie y sometiéndola a continuación a un tratamiento térmico;
- Aceros para temple y revenido: Mediante el tratamiento térmico del temple se persigue endurecer y aumentar la resistencia de los aceros. Para ello, se calienta el material a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica y se somete a un enfriamiento más o menos rápido (según características de la pieza) con agua, aceite, etc. Por otro lado, el revenido se suele usar con las piezas que han sido sometidas previamente a un proceso de templado. El revenido disminuye la dureza y resistencia de los materiales, elimina las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima (unos 50° C menor que el templado) y velocidad de enfriamiento (se suele enfriar al aire). La estructura final conseguida es martensita revenida;
- Aceros inoxidables o para usos especiales: los aceros inoxidables son aquellos que presentan una aleación de hierro con un mínimo de 10% de cromo contenido en masa. El acero inoxidable es resistente a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa exterior pasivadora, evitando así la corrosión del hierro en capas interiores. Sin embargo, esta capa exterior protectora que se forma puede ser afectada por algunos ácidos, dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes, como puedan ser el níquel y el molibdeno;
- Aceros para herramientas de corte y mecanizado: son aceros que presentan una alta dureza y resistencia al desgaste;
- Aceros rápidos: son un tipo de acero especial para su uso como herramienta de corte para ser utilizados con elevadas velocidades de corte. Generalmente van a presentarse con aleaciones con elementos como el W, Mo y Mo-Co.

3. USOS Y APLICACIONES

Debido a que el acero reciclado mantiene las propiedades del producto como en su primer uso, los usos y aplicaciones del acero reciclado, serán las mismas que el acero normal. En el ámbito de la construcción el acero es un material comúnmente utilizado en edificios y puentes debido a su alta resistencia y capacidad para soportar grandes cargas. En la construcción de edificios, el acero se utiliza en forma de vigas, columnas y estructuras de soporte, incluyendo los rascacielos y los edificios de gran altura, en los que el acero sirve para hacer marcos que proporcionan apoyo y estabilidad. Los puentes y otras estructuras de ingeniería civil también se construyen con acero debido a su capacidad para resistir cargas pesadas y altas tensiones.

Existen diferentes clasificaciones para el acero la construcción. La principal sería según su uso como acero estructural y no estructural. La principal distinción entre estos es que el acero estructural se destina a la creación de estructuras de edificios, mientras que el acero no estructural se emplea para reforzar forjados u otras piezas planas que se colocan sobre ellos.

El acero de refuerzo está disponible en formas macizas y circulares, por otra parte, el acero estructural está disponible en una gran variedad de tamaños y formas. Además de su gran resistencia a la corrosión, el acero también tiene la capacidad de resistir cargas que podrían provocar deformaciones elásticas.

Entre las tipologías de acero y uso encontramos:

- Aceros largos: barra corrugada, alambrón, barras lisas, perfiles livianos, pesado y rieles
- Aceros para la construcción:
 - Acero figurado
 - Barras
 - Perfiles
 - Malla y grafiles
 - Rollos
 - Vigas
- Acero para la industria
 - Lámina
 - Bobina
 - Alambrón
 - Plancha
- Piezas de hierro, acero y aleaciones

4. PROPIEDADES FÍSICAS

Los requisitos que se aplican y son exigibles para la designación de cada tipo de acero se establecen, en el apartado 4.2 de la parte apropiada de las normas europeas UNE-EN 10025-2 a UNE-EN 10025-6 y en el apartado 7 de la norma UNE-EN 10027.

De acuerdo con dichas normas, la especificación del acero

estructural debe incluir los siguientes requisitos básicos (símbolos principales y símbolos adicionales) en función de su utilización y de sus características mecánicas y físicas, a indicar en todos los casos:

- Valor mínimo especificado del límite elástico para la gama de espesores más baja, según las tablas de la parte

apropiada de las normas europeas UNE-EN 10025-2 a UNE-EN 10025-6, UNE-EN 10210 o UNE-EN 10219; o de forma simplificada según UNE-EN 1993-1-1

- Grado, según sea el valor de la energía de flexión por choque especificado, cuando proceda, según las tablas de la parte apropiada de las normas europeas UNE-EN 10025-2 a UNE-EN 10025-6, UNE-EN 10210 o UNE-EN 10219-2.
- La indicación de su aptitud para una aplicación particular, cuando proceda, según las tablas de la parte apropiada de

las normas europeas UNE-EN 10025-2 a UNE-EN 10025-6, UNE-EN 10210 o UNE-EN 10219

- La indicación de las condiciones de suministro '+N', '+AR' o '+M' cuando el acero estructural se solicite su suministro según dichas condiciones. Además, las características del acero estructural deben hacerse acompañar de una referencia a la necesidad de cumplimiento de las normas UNE-EN correspondientes al producto de acero especificado.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

El acero reciclado tiene varias características singulares que lo hacen especialmente valioso en el sector de la construcción:

- **Sostenibilidad:** El acero es 100% reciclable y puede ser reutilizado infinitamente sin perder sus propiedades. Esto reduce la necesidad de extraer nuevas materias primas y disminuye significativamente las emisiones de CO₂ asociadas a su producción.
- **Durabilidad y Resistencia:** El acero reciclado mantiene la misma calidad y resistencia que el acero virgen, lo que lo convierte en una opción fiable para estructuras que requieren alta resistencia a la tracción y compresión.
- **Eficiencia Energética:** El proceso de reciclaje del acero consume menos energía que la producción de acero nuevo a partir de mineral de hierro. Esto contribuye a una menor huella de carbono y a una mayor eficiencia energética en la construcción.
- **Versatilidad:** El acero reciclado puede ser utilizado en una amplia variedad de aplicaciones en la construcción,

incluyendo estructuras de edificios, puentes, carreteras, y elementos decorativos. También se emplea en la fabricación de productos como vigas, columnas, y paneles.

- **Economía Circular:** El uso de acero reciclado fomenta la economía circular al mantener los materiales en uso durante más tiempo y reducir los residuos. Esto no solo es beneficioso para el medio ambiente, sino que también puede resultar en ahorros económicos significativos.
- **Reducción de Residuos:** Al utilizar acero reciclado, se disminuye la cantidad de residuos que terminan en los vertederos, promoviendo una gestión más sostenible de los residuos sólido.

Estas características hacen del acero reciclado una opción excelente para la construcción sostenible, combinando beneficios ambientales, económicos y técnicos.

6. NORMATIVA TÉCNICA

Dada la gran variedad de aceros existentes, y de fabricantes, ha originado el surgir de una gran cantidad de normativa y reglamentación que varía de un país a otro. En España, la «Instrucción de Acero Estructural (EAE)» se configura como un marco técnico coherente con el establecido en la normativa técnica europea y armonizado con las disposiciones relativas a la libre circulación de productos de construcción dentro del mercado único europeo, y, en particular, con la Directiva 89/106/CEE.

La clasificación de los aceros está regulada por la norma UNE-EN 10020:2001, mientras que específicamente para los aceros estructurales éstos se designan conforme a las normas europeas EN 10025-2: 2004 y EN 10025-4: 2004. No obstante, existen otras normas reguladoras del acero, con gran aplicación internacional, como las americanas AISI (American Iron and Steel Institute) y ASTM (American Society for Testing and Materials), las normas alemanas DIN, o la ISO 3506.

De acuerdo con la normas UNE-EN 1993-1-1 (estructuras de acero) y UNE-EN 1994-1-1 (estructuras mixtas de acero y hormigón), las normas de referencia para la definición de las condiciones técnicas de suministro de productos de acero son la UNE-EN 10025, para aceros laminados en caliente, la UNE-EN 10210-1 y UNE-EN 10219-1, para productos de acero de sección hueca o tubular, laminados en caliente o conformados en frío, respectivamente, y la UNE-EN 10164 para aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.

En concreto, el alcance tratado en cada una de las normas indicadas o parte de la norma es el siguiente:

- Condiciones técnicas generales de suministro de aceros estructurales laminados en caliente: UNE-EN 10025-1:2006 – Aceros estructurales no aleados: UNE-EN 10025-2:2020
- Aceros estructurales soldables de grano fino en la condición de normalizado/laminado de normalización: UNE-EN 10025-3:2020
- Aceros estructurales soldables de grano fino laminados termomecánicamente: UNE-EN 10025-4:2020
- Aceros estructurales con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica: UNE-EN 10025-5:2020 – Aceros estructurales de alto límite elástico en la condición de templado y revenido: UNE-EN 10025-6:2020
- Aceros estructurales de sección hueca o tubular laminados en caliente: UNE-EN 10210-1:2007
- Aceros estructurales de sección hueca o tubular conformados en frío: UNE-EN 10219-1:2007
- Aceros de construcción con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto: UNE-EN 10164:2019

Finalmente, la designación de los aceros estructurales, en general, se trata en la norma UNE-EN 10027-1, adoptándose

la designación simbólica.

Cabe a destacar el Código técnico de edificación (CTE) donde se establece las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de

seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE) y el Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural

7. NORMATIVA AMBIENTAL

- Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular: Esta ley establece las bases para la gestión de residuos, promoviendo la reutilización y el reciclaje de materiales, incluyendo el acero
- Reglamento (UE) 305/2011: Establece condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción en la UE, incluyendo requisitos de sostenibilidad y reciclaje
- Reglamento (UE) 333/2011: Establece los criterios para determinar cuándo ciertos tipos de chatarra metálica dejan de ser residuos y pueden ser utilizados como materia prima secundaria, lo cual es relevante para el acero reciclado.
- Directiva 2008/98/CE sobre los residuos: Esta directiva establece el marco legal para la gestión de residuos en la UE, promoviendo la reutilización y el reciclaje de materiales.
- Real Decreto 110/2015, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): Aunque se centra en los residuos electrónicos, también incluye disposiciones sobre la recuperación de metales, incluyendo el acero.

8. MANUALES

- Guía para las especificaciones técnicas del acero estructural
- Guía para las especificaciones técnicas de las armaduras.
- Guía para la determinación de longitudes de anclaje y solape de armaduras pasivas.
- Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES

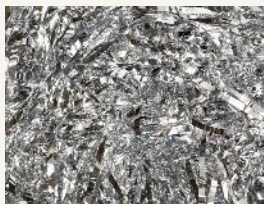
Algunos fabricantes*:

- Arcelor Mittal
- Nervacero
- Sidenor
- Tubos Reunidos
- Tubacex
- Aceros inoxidables Olarra
- Sarralle

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.2. Aluminio reciclado

1. DESCRIPCIÓN



El aluminio es el metal no ferroso más abundante de la corteza terrestre, siendo el segundo elemento en cantidad después de la sílice (silicatos de aluminio). Es extraído principalmente de la bauxita.

No se encuentra en estado libre, sino formando compuesto con el oxígeno. El aluminio es un metal blanco plateado con gran cantidad de usos, debido principalmente a naturales de su ligereza, propiedades resistencia, plasticidad y versatilidad. En la actualidad se ha convertido en un material de gran aplicación en la industria de la construcción, ofreciendo una amplia gama de aplicaciones que van desde estructuras hasta revestimientos exteriores. Su resistencia, durabilidad y maleabilidad lo convierten en un material indispensable para arquitectos, ingenieros y

diseñadores en la creación de edificios modernos y eficientes.

El aluminio es el metal no férreo más recuperado, lo que supone un elevado ahorro de energía y de materias primas. El aluminio reciclado tiene las mismas propiedades que el aluminio original. El reciclaje del aluminio es un proceso que permite convertir los desechos de aluminio en nuevos productos después de su uso inicial. Este proceso consiste en refundir el metal, lo cual es mucho más económico y consume significativamente menos energía que producir aluminio a partir de la electrólisis de la alúmina a partir de la bauxita mediante el proceso Bayer. El aluminio fundido puede moldearse en distintas formas finales como lingotes, barras o láminas, dependiendo de cuál sea su nuevo destino. Desde este punto, el aluminio vuelve a ser una materia prima lista para que sus fabricantes le den una nueva vida.

2. TIPOS

Se considera como aluminio sin alear al metal con un contenido de aluminio superior o igual al 99% en peso. Aleaciones de aluminio son aquellas en que el aluminio predomine en peso sobre cada uno de los demás elementos. Se distinguen dos clases de aluminio: puro (99.88% de Al) y técnico (99% 98%... de Al). El primero se emplea excepcionalmente, mientras que el aluminio técnico

encuentra mayor campo de aplicaciones.

- En la norma UNE 38.001 se establece la siguiente clasificación:
- Serie L-200. Aleaciones ligeras de Al para moldeo.
- Serie L-300. Aleaciones ligeras de Al para forja.
- Serie L-400. Aleaciones ligeras de Al de alta fusión.

3. PROPIEDADES FÍSICAS

El aluminio posee un peso específico de 2.7 kg/m^3 y su punto de fusión es de 667°C . Su resistencia a la tracción es de aproximadamente 10 kg/mm^2 cuando está fundido o recocido, y este valor se duplica si está laminado en frío. Sin embargo, su resistencia disminuye rápidamente con el aumento de la temperatura: a 300°C , su resistencia se reduce a un tercio y a 500°C , a un décimo de su valor en frío.

Entre las propiedades físicas y químicas que hacen del aluminio un material óptimo para la construcción, la automoción y la industria aeroespacial, destacan su baja densidad, ductilidad, maleabilidad y alta conductividad. A temperaturas cercanas a su punto de fusión, el aluminio se vuelve quebradizo. Al combinarse con otros metales, se crean aleaciones que son duras y ligeras. Además, el aluminio resiste el ataque de la mayoría de los ácidos orgánicos y la

corrosión mejor que el hierro. El aire húmedo lo empaña ligeramente, formando una capa delgada y compacta de óxido que lo protege de una mayor reacción. Este proceso de oxidación puede controlarse mediante la anodización.

El aluminio es también un material no tóxico, lo que permite su uso en la fabricación de utensilios de cocina, papel de aluminio y envases para líquidos alimenticios como cerveza y refrescos. Su reciclabilidad es otra ventaja significativa, ya que el reciclaje del aluminio no afecta su calidad final y requiere solo un 5% de la energía necesaria para producir el metal primario. Cabe mencionar que la reciclabilidad del aluminio no afecta sus propiedades.

4. USOS Y APLICACIONES

El aluminio se ha utilizado tradicionalmente en la fabricación de recipientes y embalajes, en la industria del transporte y la automoción, en la construcción de edificios, en equipos eléctricos y en bienes de consumo duraderos, entre otros.

Destaca por su facilidad de moldeo debido a su ductilidad y ligereza. Clasificado como un material paramagnético, presenta una atracción magnética muy débil, lo que es útil en aplicaciones donde no se desean interferencias con campos magnéticos. Asimismo, es un excelente reflector de luz y calor, características que, junto con su bajo peso, lo convierten en el material ideal para reflectores.

Debido a su resistencia a la corrosión y su baja densidad, el aluminio tiene una amplia aplicación en la industria de la construcción. Se utiliza en puentes, torres, castilletes, pilares, columnas, armazones para techos, techados, puertas, ventanas y sus marcos, contramarcos y umbrales, barandillas, prefabricados, chapas decorativas y antideslizantes para pisos, chapas para recubrimientos en fachadas, barras, perfiles, tubos y similares, en formas de "T", ángulos, vigas, canales y "Z" preparados para la construcción.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

Las propiedades mecánicas del aluminio mejoran considerablemente si se alea con otros metales, tales como el cobre, magnesio, silicio, zinc, plomo, etc.

6. NORMATIVA TÉCNICA

En España, las normas UNE-ISO que aplican al uso de aluminio reciclado en la construcción son desarrolladas por el Comité Técnico de Normalización CTN 38, que se enfoca en el aluminio y sus aleaciones. Algunas de las normas más relevantes en su aplicación en edificaciones incluyen:

- UNE-EN 15088:2006: Esta norma especifica los requisitos para productos de aluminio y sus aleaciones destinadas a aplicaciones estructurales en la construcción.
- UNE-EN 1090:2019: Serie de normas que regulan la fabricación y montaje de estructuras de acero y aluminio.
- UNE-EN 1396:2023: Establece los requisitos para productos laminados de aluminio y sus aleaciones destinadas a aplicaciones en la construcción.
- UNE-EN 485: Serie de normas que cubren las especificaciones para productos laminados planos de aluminio y sus aleaciones.
- UNE-EN 1706: Especifica los límites de composición química para las aleaciones de aluminio fundido y las propiedades mecánicas de las piezas de prueba fundidas por separado. Incluye una guía para la selección de aleaciones para un uso o proceso específico.
- UNE-EN 573: Establece la composición química y la forma de los productos de forja de aluminio y sus aleaciones1.
- UNE-EN 13981: Especifica las condiciones técnicas de inspección y suministro para productos de aluminio y sus aleaciones destinadas a aplicaciones estructurales ferroviarias
- UNE-EN 755: Aluminio y Aleaciones de aluminio. Redondos, barras, tubos y perfiles extruidos.
- UNE-EN 13920-8:2003: Aluminio y aleaciones de aluminio. Chatarra. Parte 8: Chatarra de materiales fragmentados no férreos destinados a procesos de recuperación de aluminio.
- UNE-EN 10204: Productos Metálicos. Tipos de documentos de inspección: Esta norma europea especifica los documentos de inspección que de acuerdo con los requisitos del pedido se entregan al comprador.
- UNE-EN 14121:2009: Aluminio y aleaciones de aluminio. Chapas, bandas y planchas para aplicaciones electrotécnicas.
- UNE 38114. Aluminio y aleaciones de aluminio para forja.

Serie 1000. AL. EN AW-1050: Esta norma especifica la composición química, características mecánicas, propiedades físicas y tecnológicas de esta aleación

- UNE-EN 12392:2017+A1:2023: Aluminio y aleaciones de aluminio. Productos forjados y moldeados. Requisitos especiales para productos destinados a la fabricación de equipos a presión.
- UNE 38349. Aluminio y aleaciones de aluminio para forja. Serie 6000. AlMgSi. EN AW-6005^a: Esta norma especifica la composición química, características mecánicas, propiedades físicas y tecnológicas de esta aleación.
- UNE 38337. Aluminio y aleaciones de aluminio para forja. Serie 6000. AlMgSi. EN AW-6063: Esta norma especifica la composición química, características mecánicas, propiedades físicas y tecnológicas de esta aleación.
- UNE 38117. Aluminio y aleaciones de aluminio para forja. Serie 1000. AL. EN AW-1070 A.: Esta norma especifica la composición química, características mecánicas, propiedades físicas y tecnológicas de esta aleación
- UNE 38334. Aluminio y aleaciones de aluminio para forja. Serie 6000. AlMgSi. EN AW-6351: Esta norma especifica la composición química, características mecánicas, propiedades físicas y tecnológicas de esta aleación.
- UNE 38348. Aluminio y aleaciones de aluminio para forja. Serie 6000. AlMgSi. EN AW-6082: Esta norma especifica la composición química, características mecánicas, propiedades físicas y tecnológicas de esta aleación.
- UNE 38350. Aluminio y aleaciones de aluminio para forja. Serie 6000. AlMgSi. EN AW-6060: Esta norma especifica la composición química, características mecánicas, propiedades físicas y tecnológicas de esta aleación.
- UNE 38-301-89. Aluminio y aleaciones de aluminio para forja. Equivalencias oficiales: Esta norma establece las equivalencias de las aleaciones de aluminio consideradas en norma UNE con las de otros organismos de Normalización.

Asimismo, a nivel estatal el Real Decreto 2699/1985, de 27 de diciembre, declara de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de los perfiles extruidos de aluminio y sus aleaciones.

7. NORMATIVA AMBIENTAL

- Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular: Esta ley establece las bases para la gestión de residuos, promoviendo la reutilización y el reciclaje de materiales, incluyendo el acero
- Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases
- Reglamento (UE) 305/2011: Establece condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción en la UE, incluyendo requisitos de sostenibilidad y reciclaje
- Reglamento (UE) 333/2011: Establece los criterios para determinar cuándo ciertos tipos de chatarra metálica dejan de ser residuos y pueden ser utilizados como materia prima secundaria, lo cual es relevante para el acero reciclado.
- Directiva 2008/98/CE sobre los residuos: Esta directiva establece el marco legal para la gestión de residuos en la UE, promoviendo la reutilización y el reciclaje de materiales.
- Real Decreto 110/2015, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): Aunque se centra en los residuos electrónicos, también incluye disposiciones sobre la recuperación de metales, incluyendo el aluminio.

8. MANUALES

- Manual del aluminio Vol. 1. W. Hufnagel. Editorial Reverté. ISBN: 978-84-291-6012-3
- Manual del aluminio Vol. 2. W. Hufnagel. Editorial Reverté. ISBN: 978-84-291-6013-0

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES

Algunos fabricantes*:

- Arcelor Mittal
- Befesa Aluminio S. L.
- Tubacex
- Aceros inoxidables Olarra
- Sarralle
- Fiasa

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.3. Material bituminoso recuperado de fresados

1. DESCRIPCIÓN



Material bituminoso recuperado de fresados (RA), es aquel que se obtiene mediante tratamiento y clasificación de mezclas bituminosas que se han disgregado por fresado o demolición, está preparado para ser

reutilizado como componente de otras unidades de obra, y cumple las especificaciones correspondientes. Está compuesto por áridos de buena calidad cubiertos de betún asfáltico.

Todos los materiales procedentes de mezclas bituminosas son potencialmente reutilizables, salvo que:

- Presenten problemas de calidad en cuanto a sus componentes o envuelta, y estos sean técnicamente incompatibles con la reutilización que se pretenda.
- Se encuentren contaminados por materias extrañas.
- Contengan sustancias procedentes de la destilación de productos carbonosos, asbestos-amianto u otros productos que estén considerados como peligrosos o que no cumplan la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente.

En la descarga del material bituminoso a reutilizar en la central de fabricación se desechan las partes que a simple vista presenten elementos contaminantes. Antes de su empleo se procede a su cribado para separar las partículas de tamaño superior al permitido y, en su caso, para dividir el material en las fracciones que se vayan a emplear. Las partículas de mayor tamaño del requerido pueden someterse a una trituración ligera para su posterior aprovechamiento. Puede ser también necesario proceder a una homogenización del acopio.

El material fresado acumula mucha agua y conviene que el acopio final listo para su uso se encuentre cubierto, especialmente si se destina a la fabricación de mezclas bituminosas.

El producto ya tratado se denomina material bituminoso recuperado de fresados, y generalmente se utiliza en un todo uno o en dos fracciones, una fina (0/8 ó 0/10) y otra más gruesa, como componente de nuevas mezclas bituminosas. También se puede suministrar mezclado con zahorra natural o artificial para su empleo como material granular para rellenos, explanadas mejoradas, zahorras o materiales tratados con cemento.

En la fabricación de mezclas bituminosas en caliente, semicaliente y templadas se evita el paso del RA por el tambor secador para que no lo degrade la llama, y para ello:

- Se incorpora directamente al mezclador mediante sistemas de tolva dosificadora independiente.
- Se aporta a los áridos a la salida del tambor secador.
- Se introduce en el tambor secador, detrás de la llama mediante un anillo de reciclado.

Hay también centrales de fabricación especiales para la reutilización de mezclas bituminosas, bien mediante sistemas de tambores con dos cámaras concéntricas en la que una de ellas no está en contacto con la llama o mediante un tambor secador adicional para el RA en el que se calienta a temperatura media/alta y luego se aporta directamente al mezclador.

El material bituminoso recuperado de fresados se utiliza en todos los países europeos como un material más de construcción. El País Vasco se acumula ya una larga experiencia de empleo en mezclas bituminosas.

2. TIPOS

En su aplicación para mezclas bituminosas la NFPV¹ distingue los siguientes tipos de RA:

- Material bituminoso recuperado de fresados para capas de rodadura (RA rodadura), que proceden exclusivamente de capas de rodadura bituminosa, sin que contengan más de un 5% de mezclas bituminosas de otras capas.
- Material bituminoso recuperado de fresados para capas inferiores (RA inferiores), en los que se encuentran

indistintamente mezclas bituminosas de cualquier capa del firme y que se van a utilizar en capas inferiores, explanadas mejoradas o materiales de relleno.

En su utilización como material granular se distinguen los siguientes tipos:

- Árido reciclado de mezcla bituminosa tipo 1: AR-B1
- Árido reciclado de mezcla bituminosa tipo 2: AR-B2

Categoría de los componentes de la fracción gruesa

TIPO DE ÁRIDO	COMPONENTES (UNE-EN 13242)						
	R _c	R _c + R _u	R _b	R _u	R _a	FL	X + R _g
AR-B1	A declarar	A declarar	≤10%	≥50%	<30%	≤5 cm ³ /kg	≤1% ¹
AR-B2	A declarar	A declarar	≤10%	A declarar	<50% ²	≤5 cm ³ /kg	≤1% ¹

Donde:

¹¹ NFPV: Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco

R_c = Hormigón, productos de hormigón, morteros, piezas para fábrica de albañilería de hormigón

R_u = Áridos y piedras naturales y materiales tratados con ligantes hidráulicos R_v = Vidrio

R_h = Materiales cerámicos de albañilería de arcilla (ladrillos y tejas) o de silicato de calcio, hormigón celular no flotante

R_b = Materiales bituminosos FL = Material flotante

X = Impropios: madera no flotante, plásticos y caucho, yeso, metales ferrosos y no ferrosos, suelos y arcillas.

3. USOS Y APLICACIONES

Se pueden utilizar como material único o mezclado con otros, en aplicaciones ligadas o no ligadas:

Aplicaciones ligadas.

Mezclas bituminosas:

En la NFPV se establecen las siguientes limitaciones a su empleo:

PORCENTAJE DE MATERIAL FRESADO PERMITIDO EN MEZCLAS BITUMINOSAS										
CAPA	T00	T0	T1	T2A	T2B	T3A	T3B	T4		
Mezclas bituminosas en caliente y semicaliente (AC)										
Rodadura	0%				15%					
Intermedia	30%				30%					
Base	30%				30%					
Mezclas bituminosas templadas con emulsión										
Rodadura	No aplican				15%					
Intermedia					30%				80%	
Base										
Mezclas bituminosas abiertas en frío										
Rodadura	No aplican					15%				
Intermedia						15%				

No se permite la utilización de RA en las mezclas bituminosas de alto módulo (MAM).

La normativa del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (NT 3/2020) distingue los siguientes tipos de utilización de RA:

TIPO	CONTENIDO DE RA (% sobre la masa total de la mezcla)	
	Límite inferior	Límite superior
0	-	≤ 15
1	> 15	≤ 30
2	> 30	≤ 50
3	> 50	≤ 80

Para las distintas mezclas bituminosas en caliente y semicaliente se admite la utilización de los siguientes tipos:

TIPO DE MEZCLA BITUMINOSA	TIPO DE RA ADMITIDO
AF (artículo 541)	Tipo 0
AC (artículo 542)	En rodadura los tipos 0 y 1 En capas intermedias y de base los tipos 0 a 3 ¹ En capas de alto módulo tipos 0 y 1 ²
PA y BBTM Ay B (artículo 543)	Tipo 0
SMA (artículo 544)	Tipo 0
AUTL (artículo 545)	No se admite RA

¹Para los tipos 2 y 3 el valor del módulo dinámico a 20 °C será ≤ 8 000 MPa y la deformación a 10⁶ ciclos en el ensayo de fatiga a 30 Hz y 20 °C será ε₆ ≥ 100 μm/m.

²Para mezclas de alto módulo el valor del módulo dinámico a 20 °C será ≤ 14 000 MPa.

Materiales tratados con cemento, pavimento de hormigón y hormigón magro vibrado:

La NFPV y la normativa del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible permiten el empleo de subproductos o productos inertes de desecho, pero no contienen prescripciones específicas para los RA.

Aplicaciones no ligadas:

Zahorra artificial

La NFPV permite la utilización de AR-B1 en capas de zahorra artificial, para categorías de tráfico pesado T1 e inferiores. Este uso requiere autorización específica. Está sometido además a las limitaciones de los residuos de construcción y demolición para aplicaciones no ligadas.

La normativa del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible admite el empleo de subproductos o productos inertes de

desecho en zahorras, pero no contiene prescripciones específicas para los RA.

Explanadas mejoradas y rellenos

La NFPV permite la utilización de AR-B1 y AR-B2 en rellenos y explanadas mejoradas, para cualquier categoría de tráfico pesado. Este uso requiere autorización específica. Está sometido además a las limitaciones de los residuos de construcción y demolición para aplicaciones no ligadas.

El artículo 330 del PG-3 sobre terraplenes no los incluye directamente, pero permite emplear áridos naturales o artificiales.

4. PROPIEDADES FÍSICAS

El material RA está formado por aglomeraciones de partículas de árido y de betún. Sus propiedades físicas dependen de la de los áridos que lo forman.

La densidad de las partículas se encuentra en general entre 2,2 y 2,5 t/m³ para la fracción gruesa y entre 2,0 y 2,3 t/m³ para la fina. La densidad aparente del material granular está en el intervalo 1,9-2,3 t/m³.

La humedad natural del RA expuesto al aire puede llegar a alcanzar valores del 5% o superiores.

El índice CBR del RA es del orden de 20-25%, pero aumenta considerablemente al combinarlo con una zahorra, alcanzando fácilmente valores superiores a 100.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

Cuando los materiales bituminosos se vayan a utilizar para fabricar nuevas mezclas bituminosas y tengan una proporción superior al 20% en masa total de microaglomerados en frío o mezclas bituminosas abiertas en frío deberán acopiarse de forma independiente y ser objeto de un estudio diferenciado para su aprovechamiento.

En la **fabricación de mezclas bituminosas en caliente o semicaliente** con RA se deben tener en cuenta las siguientes peculiaridades:

Homogenización

En utilizaciones de baja tasa puede no ser necesario homogeneizar en acopios, pero con tasas medias y altas y materiales procedentes de distintas obras o capas, la heterogeneidad del acopio puede llevar a incumplimientos de las tolerancias de la nueva mezcla bituminosa.

Separación en fracciones

Puede ser conveniente hacer un cribado del RA para separar al menos dos productos, uno más fino del tipo 0/10, y otro más grueso de hasta 20 mm o el tamaño máximo prescrito en la mezcla bituminosa que se vaya a fabricar. Esta separación permite ajustar mejor la dosificación y especialmente el contenido de betún y partículas finas. También facilita la reutilización de tasas elevadas, pasando la parte más gruesa, con menos betún, por el anillo de reciclado o incorporándolo a la salida del tambor secador e introduciendo la parte más fina en el mezclador.

Cubrición del RA

La escasa densidad aparente de los materiales fresados facilita la entrada de agua en el montón y las partículas más pequeñas de los fresados tienden a absorber agua. La presencia de agua perjudica a la economía de la operación porque exige un mayor consumo de combustible para aumentar la temperatura de los áridos naturales y obliga a reducir la producción. Además, facilita la adherencia del material a cintas y cribas, obligando a un continuo mantenimiento. Por ello, los acopios finales de material listo

para su uso deben colocarse bajo cubierta o cubrirse con lonas protectoras.

Temperaturas de fabricación

La temperatura T a la que se deben calentar los áridos nuevos depende de la temperatura TRA y de la humedad HRA del material RA, de la relación R % entre el RA y el árido de aportación y de la temperatura final Tf a la que se desea que salga la nueva mezcla reciclada. Haciendo un balance energético y suponiendo que no hay pérdida de calor se llega a la expresión:

$$T = [(T_f - R \times TRA) / (1 - R)] + [HRA \times (637 - TRA) \times 4R] / (1 - R)$$

Esta fórmula permite estimar la temperatura de calentamiento, que luego se debe ajustar mediante pruebas en la central de fabricación. En el proceso es usual tener que aumentar los tiempos de mezclado, tanto en seco (sin ligante), como tras el aporte del ligante. Estos parámetros se ajustan de manera que tras la envuelta en seco el árido virgen aparezca manchado por el betún, como comprobación de que se ha reblandecido suficientemente.

Empleo de rejuvenecedores

En las reutilizaciones de alta tasa con porcentajes de RA superiores al 30% y con betún muy envejecido la mezcla bituminosa final puede quedar excesivamente rígida. En esos casos se debe estudiar el empleo de rejuvenecedores del betún o betunes más blandos.

Consideración del betún del RA

Se puede considerar que el betún del RA participa al 100% en la dotación total de betún siempre que la dotación de ligante de aportación sea como mínimo del 70% de la del ligante procedente del RA.

En la fabricación de mezclas bituminosas en templado el betún no se reblandece en igual medida que en las técnicas en caliente o semicaliente y es conveniente considerar que no todo el betún participa como ligante.

6. NORMATIVA TÉCNICA

Normativa UNE-EN	Normativa País Vasco	Normativa estatal
Especificaciones - EN 13242 “Áridos para capas granulares y tratadas con cemento en obras de ingeniería civil y construcción de carreteras”. - EN 13108-8 “Mezclas bituminosas. Especificaciones de Materiales. Parte 8: Asfalto recuperado”. - EN 13108-1, 2, 5, 6, 7 y 9 “Especificaciones para mezclas bituminosas”. - EN 13285 “Especificaciones para zahorras”. Ensayos específicos - UNE-EN 12697-42: Cantidad de materia extraña en asfalto reciclado”.	Se encuentra en el capítulo 7 y en los anejos 11 y 12 de la NFPV.	Los siguientes documentos incluyen de manera específica al asfalto recuperado: - Norma 6.3-IC “Rehabilitación de firmes”. - Orden Circular OC 2/2023 sobre reutilización de capas de firmes y pavimentos bituminosos.

7. NORMATIVA AMBIENTAL

Normativa País Vasco	Normativa estatal
DECRETO 112/2012, de 26 de junio, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. ORDEN de 12 de enero de 2015, de la Consejería de Medio Ambiente y Política Territorial por la que se establecen los requisitos para la utilización de los áridos reciclados procedentes de la valorización de residuos de construcción y demolición	Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición

8. MANUALES

- Manual de Directrices para el uso de Áridos Reciclados en Obras Públicas de la Comunidad Autónoma del País Vasco, Ihobe
- Monografía sobre residuos de construcción y demolición de Ihobe.
- Catálogo de residuos del Cedex.

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES

Algunos fabricantes*	Oficinas	Centrales de fabricación
Asfaltados Olarra	Bilbao (Bizkaia)	Sondika (Bizkaia)
	Donostia – San Sebastián (Gipuzkoa)	Andoain (Gipuzkoa)
Asfaltia	Bilbao (Bizkaia)	Gallarta (Bizkaia)
		Elorrio (Bizkaia)
		Subillabide (Araba/Álava)
Asfaltos Uribe/Aubide	Bilbo (Bizkaia)	Zaratamo (Bizkaia)
Asfaltos Deba (Amenabar)	Deba (Gipuzkoa)	Deba (Gipuzkoa)
Asfaltos Urretxu	Urretxu (Gipuzkoa)	Urretxu (Gipuzkoa)
Firmes Alaveses/Balgorza	Victoria-Gasteiz (Araba/Álava)	Alegria-Dulantzi (Araba/Álava)
Orsa	Donostia-San Sebastián (Gipuzkoa)	Galdakao (Bizkaia)
		Altsasua (Navarra)
Yarritu	Vitoria-Gasteiz (Araba/Álava)	Vitoria-Gasteiz (Araba/Álava)

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.4. Árido reciclado de RCD

1. DESCRIPCIÓN



Árido reciclado de RCD (Residuo de Construcción y Demolición) es el resultante del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción o combinaciones de este con áridos naturales.

Los residuos de construcción y demolición están formados principalmente por materiales de naturaleza pétreo, pero pueden contener materiales muy variados, como hormigón, mortero o materiales tratados con cemento, materiales cerámicos, escayolas y yeso, mezclas bituminosas, vidrios, metales, maderas plásticos o papel.

El residuo se trata en centrales especializadas donde se separan los metales, plásticos, maderas, vidrios y otros materiales que pueden ser nocivos para las obras en las que se vayan a aplicar. Para el tratamiento se utilizan separadores magnéticos, corrientes de aire, cribas y separación manual, entre otros. El producto resultante se somete a procesos de machaqueo y cribado.

También se puede proceder al tratamiento del material en la propia obra donde se retira mediante equipos móviles. Este puede ser el caso en la demolición de viaductos u otras estructuras o de capas de grava-cemento. Generalmente se

procesan materiales homogéneos que no precisan de tratamientos de separación, excepto para los materiales metálicos.

El conjunto después de su tratamiento se denomina árido reciclado de construcción y demolición y se comercializan dos productos principales, uno en el que predomina el hormigón, y otro en el que hay abundantes materiales cerámicos. Los materiales se pueden suministrar en distintos tamaños dependiendo del uso pretendido.

El árido reciclado de RCD se utiliza en todos los países europeos como un material más de construcción y está sometido al marcado CE. Según el [Real Decreto 470/2021](#) para el uso en hormigón estructural, este Código no permite reemplazar más del 20% del árido grueso por peso. Si se supera este porcentaje, se requerirán estudios específicos y experimentación adicional, que deberán ser aprobados por la Dirección facultativa. En el País Vasco se han hecho pruebas piloto por parte de la Mesa de Firms y de IHOB, acumulando ya una considerable experiencia en obras de construcción, con buen comportamiento. Por ejemplo, en el Puerto de Bilbao se han utilizado áridos reciclados en la construcción de diques y cubos de escollera desde el año 2016.

2. TIPOS

El árido reciclado procedente de RCD se clasifica, según su composición, en los siguientes tipos:

- Árido reciclado de hormigón: AR-H
- Árido reciclado mixto: AR-M

Los criterios de clasificación se basan en las características de los áridos gruesos (>4mm), según la siguiente tabla.

Categoría de los componentes de la fracción gruesa

TIPO DE ÁRIDO	COMPONENTES (UNE-EN 13242)						
	R _c	R _c + R _u	R _b	R _u	R _a	FL	X + R _g
AR-H	≥50%	≥90%	≤10%	A declarar	≤10%	≤5 cm ³ /kg	≤1% ¹
AR-M	A declarar	≥70%	≤30%	A declarar	≤10%	≤5 cm ³ /kg	≤1% ¹
AR-B1	A declarar	A declarar	≤10%	≥50%	<30%	≤5 cm ³ /kg	≤1% ¹
AR-B2	A declarar	A declarar	≤10%	A declarar	<50% ²	≤5 cm ³ /kg	≤1% ¹

¹Porcentaje de yeso inferior al 0,8% y contenidos en impropios de madera, papel, cartón o restos orgánicos inferior al 0,8%.

²El 50% se aplicará en explanadas mejoradas y coronación de terraplenes. En núcleo de terraplén podrá aumentarse al 100% con la autorización expresa de la Dirección de Obra

Donde:

R_c = Hormigón, productos de hormigón, morteros, piezas para fábrica de albañilería de hormigón

R_u = Áridos y piedras naturales y materiales tratados con ligantes hidráulicos R_g = Vidrio

R_b = Materiales cerámicos de albañilería de arcilla (ladrillos y tejas) o de silicato de calcio, hormigón celular no flotante

R_a = Materiales bituminosos FL = Material flotante

X = Impropios: madera no flotante, plásticos y caucho, yeso, metales ferrosos y no ferrosos, suelos y arcillas.

3. USOS Y APLICACIONES

Los áridos procedentes de RCD pueden utilizarse como material único o mezclado con otros, en las siguientes aplicaciones:

- El árido reciclado mixto AR-M y el de hormigón AR-H pueden utilizarse como material granular para la ejecución de rellenos, desmontes o explanadas mejoradas bajo superficies impermeables.
- El árido reciclado de hormigón AR-H puede utilizarse como zahorra para la ejecución de capas de firme de viales, bajo

superficies impermeables.

La normativa ambiental contempla su utilización en materiales tratados con cemento para carreteras, pero esta aplicación no está incluida explícitamente en la normativa técnica del País Vasco.

4. PROPIEDADES FÍSICAS

- La resistencia al desgaste es más elevada que en áridos convencionales y se encuentra generalmente entre 30 y 40.
- La densidad aparente de las partículas del material es de 2,1 a 2,4 t/m³, inferior a la de los áridos naturales.
- La densidad máxima del Proctor modificado es del orden de 2 t/m³ y la humedad óptima se encuentra usualmente entre el 7 y el 10%.
- Tienen una absorción elevada, entre el 4 y el 10%.
- Son materiales no plásticos.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

El aspecto del árido reciclado, especialmente el de tipo mixto es bastante heterogéneo, con partículas de varias procedencias lo que, cuando no se conoce el material, puede suscitar un cierto rechazo.

El Anejo 5 de la NFPV admite que los resultados de coeficiente Los Ángeles sean superiores en 5 unidades a los exigidos para zahorras siempre que los resultados del ensayo CBR tras inmersión durante 28 días sean iguales o superiores al 150% de los obtenidos a los 4 días.

Algunos áridos reciclados de RCS pueden precisar para su compactación contenidos de agua superiores a los usuales para los materiales convencionales.

Para la determinación de materia orgánica, los ensayos de

pérdida por calcinación a 500°C y oxidación mediante permanganato potásico resultan ser poco apropiados para valorar el contenido de impurezas orgánicas tales como madera, plástico, cartón o papel. A tal efecto, el ensayo de componentes regulado por la norma EN 933-11 es más efectivo. En el árido reciclado de hormigón se puede justificar el cumplimiento del requerimiento de materia orgánica mediante el ensayo de equivalente de arena.

Se debe controlar, especialmente en el árido reciclado mixto, el contenido de compuestos de azufre total, yeso y sales solubles. El ensayo de sulfatos solubles en agua es un buen indicador de la presencia de estos elementos.

6. NORMATIVA TÉCNICA

Normativa UNE-EN	Normativa País Vasco	Normativa estatal
Especificaciones • EN 13242 “Áridos para capas granulares y tratadas con cemento en obras de ingeniería civil y construcción de carreteras”. • EN 13285 “Especificaciones para zahorras”. • EN 14227-1 a 5 “Especificaciones para mezclas con conglomerantes hidráulicos”. Ensayos específicos • UNE-EN 933-11: Clasificación de componentes de áridos gruesos reciclados, para la evaluación de su pureza y componentes.	Anejo 5 árido reciclado de hormigón y de material bituminoso recuperado de fresados (RA) para Zahorras Anejo 6 Árido reciclado procedente de residuos de construcción y demolición (RCD) y de materia bituminosa recuperado de fresados (RA) como suelos seleccionados para terraplenes y explanadas mejoradas de la NFPV	Artículo 510 del PG-3 “Zahorras”

7. NORMATIVA AMBIENTAL

Normativa País Vasco	Normativa estatal
DECRETO 112/2012, de 26 de junio, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición ORDEN de 12 de enero de 2015, de la Consejera de Medio Ambiente y Política Territorial por la que se establecen los requisitos para la utilización de los áridos reciclados procedentes de la valorización de residuos de construcción y demolición	Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición

8. MANUALES

- Manual de Directrices para el uso de Áridos Reciclados en Obras Públicas de la Comunidad Autónoma del País Vasco Ihobe
- Monografía sobre residuos de construcción y demolición Ihobe
- Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD) de GEAR
- Catálogo de residuos del CEDEX.

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES *

Araba/Álava	Bizkaia	Gipuzkoa
• U.T.E. RCD GARDELEGUI; KM 4 de la Carretera A-2124 de Vitoria-	• Bizkaiko Txintxor Berzikategia, (B.T.B.); Barrio Orkonera, s/n. 48530 Ortuella. Bizkaia.	• Ekotrade RCD ´S: Inaxio Berasarte Bidea, 20115

Gasteiz a Logroño por Peñacerrada
01194 Gardelegui (Vitoria-Gasteiz) –
Araba/Álava.

- VOLVAS Planta RCD Enekuri, Alto de Enekuri
s/n Erandio

Astigarraga, Gipuzkoa

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.5. Árido siderúrgico de horno eléctrico

1. DESCRIPCIÓN



La **escoria de horno eléctrico** es el material de origen industrial procedente de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico que se forma durante el proceso de fusión, afino o elaboración del acero y que se separa de él debido a su menor peso específico.

La escoria negra de horno eléctrico se debe procesar para su utilización en ingeniería civil. Algunas veces se han utilizado sin procesar como suelos en rellenos y terraplenes, e incluso en capas de firme. Las escorias no procesadas pueden contener metales que se oxidan y expanden. Además, las partículas tienen una resistencia a la fragmentación reducida porque las microfracturas internas resultantes del proceso de enfriamiento las debilitan. Por último, la granulometría presenta tamaños muy gruesos y pocos finos.

Estos aspectos se solucionan sometiéndolas a operaciones de tratamiento en plantas de machaqueo convencionales o en instalaciones especialmente preparadas para la gestión de las escorias. Las principales diferencias entre el tratamiento de las escorias y los áridos convencionales son las siguientes:

- Para eliminar los materiales metálicos, y se utilizan electroimanes. Generalmente se coloca un electroimán

a la salida del precibado y otro a la salida de la machacadora. La chatarra obtenida se recicla.

- Las machacadoras pueden tener un mayor desgaste que con los áridos convencionales, debido a la aspereza y dureza del material y, en su caso, al contenido de metales.
- Se producen muy pocos finos durante el primer machaqueo, generalmente entre el 1 y el 3% en peso del material. Para obtener más finos hay que proceder a un segundo machaqueo que mejora considerablemente las propiedades del árido.
- El procesado se completa, en el caso de materiales ricos en cal o con elementos que puedan lixiviar, con el envejecimiento de la escoria en parque, regándola con agua para conseguir hidratar los elementos inestables y eliminar los lixiviables. Este proceso puede durar entre unas semanas y dos o tres meses.

El material después de su tratamiento se denomina árido siderúrgico, y se pueden suministrar en distintos tamaños dependiendo del uso pretendido.

El árido siderúrgico se utiliza en todos los países europeos como un material más de construcción. El País Vasco se acumula ya una larga experiencia de empleo en obra civil.

2. TIPOS

El árido siderúrgico de horno eléctrico se puede obtener de escorias de la fabricación de acero al carbono (EAF-C) o de acero inoxidable/altamente aleado (EAF-S). Las escorias EAF-S precisan períodos de envejecimiento más prolongados que las EAF-C.

La normativa técnica del País Vasco sobre árido siderúrgico de horno eléctrico no es aplicable al procedente de otras escorias:

- Escoria blanca de horno eléctrico, que se produce durante la operación de afino del acero fundido. Esta escoria no se puede utilizar como árido en carreteras, ni

sola ni mezclada con otros áridos, por su expansividad potencial.

- Árido siderúrgico de escorias de convertidor de oxígeno (BOF).
- Árido de escorias de alto horno (BF).
- Árido de escorias de la metalurgia secundaria del acero al carbono (LFS) o acero inoxidable/altamente aleado (AODS).

De la Nota Técnica NT 03/2020 del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible se deduce que el PG-3 incluye en sus prescripciones para áridos siderúrgicos al menos los que resultan de escorias de tipo BF y BOF.

3. USOS Y APLICACIONES

Se pueden utilizar como material único o mezclado con otros, en aplicaciones ligadas o no ligadas:

Aplicaciones ligadas.

Mezclas bituminosas:

En la NFPV y en la normativa del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (NT 3/2020) no se establecen limitaciones a su empleo por tipo de técnica de fabricación (caliente, semicaliente, templada o en frío), capa del firme (rodadura, intermedia o base) o categoría de tráfico pesado, siempre que el árido siderúrgico cumpla las prescripciones correspondientes.

Tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla:

La NFPV admite la utilización en esta unidad de obra.

El artículo 533 del PG-3 sobre riegos con gravilla no incluye directamente el árido siderúrgico, pero permite emplear áridos naturales o artificiales.

Materiales tratados con cemento:

La NFPV permite la utilización de árido siderúrgico en materiales tratados con cemento, tanto del tipo suelo-cemento como grava-cemento, para todo tipo de tráfico, debiendo cumplirse adicionalmente prescripciones relativas a estabilidad granulométrica y al contenido de cal libre.

El artículo 513 del PG-3 sobre materiales tratados con cemento (suelo-cemento y grava-cemento) no los incluye directamente, pero permite emplear áridos naturales o

artificiales.

Pavimento de hormigón y hormigón magro vibrado:

La NFPV no tiene prescripciones relativas a estos materiales.

Los artículos 550 (pavimentos de hormigón) y 553 (hormigón magro vibrado) si admite el empleo de áridos siderúrgicos, con las siguientes prescripciones adicionales:

Artículo 550:

En pavimentos de hormigón de tipo bicapa se admiten únicamente en la capa inferior.

En pavimentos de hormigón y en hormigón magro vibrado se admite para el árido siderúrgico un valor del coeficiente de Los Ángeles inferior a 40 en lugar de limitarlo a 35 como en los áridos naturales.

Aplicaciones no ligadas:

Zahorra artificial: La NFPV permite la utilización de árido siderúrgico en capas de zahorra artificial, para todo tipo de tráfico, con las siguientes limitaciones:

- No se utilizarán en espacios o lugares que presenten alguna figura de protección especial contemplada en la normativa sobre la conservación de la naturaleza.
- No se utilizarán en contacto directo con el suelo en aquellas zonas cuyo uso sea asimilable al establecido como "Otros usos" de acuerdo con el Anexo I de la Ley

4/2015, del 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo.

- No se utilizarán en aquellas aplicaciones en las que se encuentren en contacto con el agua.
- No se utilizarán en aplicaciones drenantes o en lugares por donde discurra agua de manera temporal.
- No se utilizarán en aplicaciones sin cobertura alguna.

El PG-3 admite su empleo en capas de zahorra (artículo 510) para tráfico T2 e inferiores. Para su utilización indica las siguientes prescripciones complementarias:

- El árido siderúrgico de acería deberá presentar una expansividad inferior al 5% según la norma UNE-EN 1744 1.
- El valor del coeficiente de Los Ángeles podrá ser superior en 5 unidades a los valores que se exigen a los áridos convencionales, siempre y cuando su composición granulométrica esté adaptada al huso ZAD20.

Explanadas mejoradas y rellenos: En la actual edición de la NFPV, no se contempla específicamente esta aplicación, pero el material cumple las especificaciones técnicas requeridas para estos usos y la aplicación está autorizada por el decreto ambiental, con las limitaciones ya señaladas para su aplicación como zahorras.

El artículo 330 del PG-3 sobre terraplenes no los incluye directamente, pero permite emplear áridos naturales o artificiales.

4. PROPIEDADES FÍSICAS

El árido siderúrgico se presenta como un árido limpio, con buena forma, anguloso y rugoso, y, generalmente, aunque no siempre, de gran dureza.

Característica	Rango de Valores		Comentarios
	Siderúrgico	Ofitas/Diabasas	
Peso específico	3,5-3,7	2,9-3,0	Más que áridos naturales
Absorción	1,2-2,5	0,5-1,5	Algo más que áridos naturales
Lajas	3-5	3-12	Buena forma
Desgaste LA	12-13	8-11	Variable según enfriamiento
MicroDeval	7-8	11-15	Inalterable
CPA	50-57	51-54	Buena resistencia al pulimento
EA	80-90	55-70	Buena limpieza

Los valores de desgaste y otros parámetros físicos pueden variar considerablemente según la forma de enfriamiento de la escoria y del tratamiento posterior (tipo de machaqueo).

El coeficiente de pulimento acelerado suele encontrarse por encima de 0,50, situándose generalmente en valores entre 0,52 y 0,55, es decir en valores semejantes a las ofitas.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

Los áridos siderúrgicos de acería pueden contener cal y magnesio libres, que cuando se encuentran en ciertas cantidades pueden dar lugar a hinchamientos rápidos o diferidos. Este fenómeno del hinchamiento, que es significativo en las escorias que se fabrican en los hornos de convertidor de oxígeno, no eléctricos, tienen poca entidad en las de horno eléctrico. Las escorias de horno alto enfriadas por aire deben mantenerse estables en dos aspectos: a) Contra la transformación del silicato bicálcico inestable presente en su composición, según el ensayo descrito en el apartado 19.1 de UNE-EN 1744-1. b) Contra la hidrólisis de los sulfuros de

hierro y manganeso presentes en su composición, según el ensayo descrito en el apartado 19.2 de UNE-EN 1744-1.

En el pasado, algunas obras que utilizaron estas escorias experimentaron hinchamientos cuando el material incluía tanto escorias negras (generalmente no expansivas), como escorias blancas (fuertemente expansivas). En cualquier caso, se debe asegurar la estabilidad volumétrica de los áridos siderúrgicos mediante el ensayo correspondiente (UNE-EN 1744-1).

La densidad aparente de las partículas de árido siderúrgico se encuentra entre 3 y 3,9 t/m³, y generalmente entre 3,4 y 3,9 t/m³. Las de los áridos convencionales suelen estar en el entorno de 2,6-3,0 t/m³ y la de los más pesados, como las ofitas, entre 2,8 y 3,0 t/m³, por lo que, la diferencia del árido siderúrgico respecto a otros áridos es significativa y hay que tenerla en cuenta en lo relativo a:

- Los costes de transporte, más elevados y el mayor peso a igualdad de volumen que encarece la unidad de obra si se abona en peso.
- Las composiciones de fracciones de árido cuando alguno de ellos no es siderúrgico, deben hacerse por el procedimiento volumétrico
- Las dosificaciones de ligante en mezclas bituminosas o de conglomerante en materiales tratados con cemento se debe realizar también por procedimientos volumétricos.

La absorción del árido siderúrgico en peso no es excesiva. No obstante, cuando se traduce a volumen total de agua o de betún que puede absorber el árido siderúrgico aumenta aproximadamente en un 20%. Esta absorción puede influir

ligeramente en el consumo de ligante si el árido se utiliza en mezclas bituminosas o en la relación agua/cemento en materiales tratados con conglomerantes.

No es necesario realizar el ensayo de caras de fractura porque todas las partículas de los áridos siderúrgicos proceden de la fragmentación de la masa de escoria y por tanto sus caras pueden considerarse como caras fracturadas. Si bien en algunos casos no presentan las aristas típicas de la fragmentación mecánica, su elevado coeficiente de rozamiento interno, debido a la textura y forma del árido, hace innecesario exigir una propiedad que está ideada para detectar si los áridos redondeados de gravera están inadecuadamente machacados.

Generalmente el árido siderúrgico tiene pocas partículas finas y puede ser preciso combinarlo con árido fino en cualquiera de las aplicaciones señaladas.

En relación con la plasticidad de los finos, dadas las características de composición y obtención de material este resulta no plástico y con un equivalente de arena elevado, a menos que se produzcan contaminaciones en los acopios.

6. NORMATIVA TÉCNICA

Normativa UNE-EN

• Especificaciones

EN 13043 “Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas”.

EN 13242 “Áridos para capas granulares y tratadas con cemento en obras de ingeniería civil y construcción de carreteras”.

EN 13108-1, 2, 5, 6, 7 y 9 “Especificaciones para mezclas bituminosas”.

EN 13285 “Especificaciones para zahorras”.

EN 12620 “Áridos para hormigón”

• Ensayos específicos

La normativa UNE-EN contempla los siguientes ensayos para áridos siderúrgicos de acería eléctrica:

UNE-EN 1744-1: Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 1 - Análisis químico”.

Se realiza con vapor de agua y con períodos de ensayo de un día o siete días dependiendo del contenido de MgO (superior o inferior al 5%), por lo que precisa determinar el contenido de MgO mediante la norma de ensayo UNE-EN

196-2: Métodos de ensayo de cementos. Parte 2: Análisis químico de cementos.

La NFPV, actualmente en revisión, incluye también el ensayo recogido en la norma NLT-361, con el que se puede valorar el potencial de hinchamiento de las partículas (tamaños entre 5 y 10 mm) en una autoclave sumergiéndolas en agua y sometiénolas a una presión de 2 atmósferas durante 4 horas. Después del ensayo se determinan las partículas de tamaño inferior a 2 mm, formadas por rotura de las ensayadas. Los resultados están directamente relacionados con el contenido de cal libre. Es un ensayo rápido y especialmente adecuado para el control de calidad.

La NFPV incluye también el ensayo de la norma ASTM-D4792 “Expansión potencial de áridos por reacciones de hidratación”, que consiste en realizar el ensayo de hinchamiento CBR, pero sumergiendo las probetas en agua caliente a 70 °C durante 7 días. Si el porcentaje de magnesia total del material es elevado, puede prolongarse el tiempo de inmersión en agua durante más tiempo.

Normativa País Vasco

Se encuentra en el capítulo 7 y en los anejos 3, 4, 7 y 8 de la NFPV.

Normativa estatal

Los siguientes documentos incluyen de manera específica a los áridos siderúrgicos:

- Artículo 510 del PG-3 “Zahorras”
- Nota Técnica NT 03/2020

7. NORMATIVA AMBIENTAL

Normativa País Vasco

DECRETO 64/2019, de 9 de abril, del régimen jurídico aplicable a las actividades de valorización de escorias negras procedentes de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico.

8. MANUALES

- Guía de aplicación del decreto de actividades de valorización de escorias negras de fabricación de acero en hornos de arco eléctrico y su utilización como árido siderúrgico. Monografía sobre residuos de construcción y demolición, Ihobe.
- Análisis de la aplicación del concepto de fin de condición de residuo de las escorias de fundición de horno de arco eléctrico -acero al carbono, cobre y silicomanganeso- para su uso como árido (en aplicaciones ligadas y no ligadas) y otros usos: como materia prima en la fabricación de productos de construcción (cemento y clínker) y como material abrasivo.
- Catálogo de residuos del CEDEX.

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES *

Araba/Álava	Bizkaia	Gipuzkoa
• La acería Tubacex, en Amurrio, comercializa sus escorias fuera del País Vasco a través de la empresa internacional Remondis.	• La empresa Elinf/Harri Green, en Gueñes, gestiona las escorias EAF C de Sidenor en Basauri. • La empresa Redena, en Barakaldo gestiona las escorias de la acería de Tubos reunidos en Amurrio, Araba/Álava. • La empresa Transportes Bombín, en Abanto gestiona las escorias de las acerías de AcerlorMittal en Sestao y Nervacero (Celsa) en el Valle de Trápaga, ambas en Bizkaia.	• GIPUZKOAKO ZEPa SIDERURGIKOA, S.L.U. (GZS), situada en Zestoa, gestiona las escorias de la acería de AcerlorMittal en Zumárraga. • EAF S (árido siderúrgico de acería eléctrica de acero inoxidable o con aleaciones)

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.6. Árido reciclado de residuos sólidos urbanos

1. DESCRIPCIÓN



En las incineradoras de **Residuos Sólidos Urbanos (RSU)** se obtienen escorias de fondo y cenizas volantes como residuo de combustión.

Las escorias de fondo constituyen entre el 85 y el 95% del total de residuos del proceso. Están formadas por el residuo incombustible que queda en las parrillas después de la incineración, con partículas finas y gruesas. Tras su tratamiento pueden utilizarse en la construcción de explanadas, rellenos y capas de firme.

Las cenizas volantes son partículas muy finas de materiales orgánicos, total o parcialmente quemados, con tamaños entre 1 y 250 micras. Tienen una alta superficie específica, lo que, unido a su composición química, supone un alto riesgo de contaminación de las aguas, especialmente por plomo y cadmio y son consideradas como residuos peligrosos. Aunque ha habido algunas aplicaciones en carreteras, como núcleos de terraplenes, su utilización no se incluye en esta ficha técnica.

Las escorias se enfrían con agua a la salida del incinerador y se almacenan para su secado durante 20/30 días. Una vez secas se someten a distintos procesos:

- Separación de metales férricos mediante electroimanes,

- Separación de metales no férricos mediante inducción,
- Separación manual de inquemados,
- Machaqueo para reducción de tamaños,
- Cribado para división en fracciones comerciales.

Finalmente, el material tratado se deja madurar durante un período aproximado de 2 meses. Durante este período se produce la carbonatación, hidratación y las reacciones de biodegradación orgánica. Al final del proceso, una vez desarrolladas las reacciones se alcanza la estabilidad volumétrica.

El producto final está constituido por partículas de tamaños comprendidos entre 0,1 y 30 mm, mezcla de escoria, vidrio, rocas, metales y otros materiales. Se puede suministrar en fracciones de distinto tamaño para su empleo en capas granulares, explanadas mejoradas o rellenos. También se suelen suministrar mezclas del árido reciclado con árido natural.

El árido reciclado de residuos urbanos se utiliza en otros países europeos, y especialmente en Francia, como un material más de construcción. En España hay experiencia de su empleo en Cataluña. En Gipuzkoa ha sido objeto de varios proyectos de investigación y se han hecho tramos piloto, con buenos resultados. Su utilización tiene carácter experimental y no está recogida en la normativa vigente.

2. TIPOS

En la central de fabricación que facilita este material en el País Vasco se obtienen fracciones 0/10 mm y 10/30 mm, así como un todo uno 0/30 mm.

3. USOS Y APLICACIONES

Se pueden utilizar como material único o mezclado con otros, en aplicaciones no ligadas, como rellenos, explanadas mejoradas o zahorras, aunque su empleo no está recogido en especificaciones técnicas ni contemplado en la normativa ambiental, por lo que requiere autorizaciones especiales de las Diputaciones Forales y de Medio Ambiente.

Se deben tener en cuenta al menos las siguientes limitaciones:

- No utilizarlo en espacios o lugares que presenten alguna figura de protección especial contemplada en la normativa sobre la conservación de la naturaleza.
- No utilizarlo en contacto directo con el suelo.
- No utilizarlo en aquellas aplicaciones en las que se encuentren en contacto con el agua.
- No utilizarlo en aplicaciones drenantes o en lugares por donde discurra agua de manera temporal.

En otros países hay referencias de su empleo en materiales con cemento, aunque en el País Vasco no hay aplicaciones de este tipo.

4. PROPIEDADES FÍSICAS

- Las principales características físicas de las escorias de incineración de residuos urbanos son las siguientes:
- La granulometría es relativamente continua, próxima a la de las zahorras. Suele tener entre un 4 y un 12% de pasa por el 0,063 mm y entre un 20% y un 50% de pasa por el 2 mm.
- Está formado por silicatos y carbonatos, alúmina y cal. Puede contener hasta un 1% de metales pesados, hasta

un 3% de Carbono Orgánico Total y puede haber una ligera presencia de sales y sulfatos.

- No tiene plasticidad.
- La densidad de las partículas es aproximadamente 2,3 t/m³, pero tiene una variación considerable (1,2 a 2,8).
- La absorción es superior a la de los materiales naturales, con una media del 8% para la fracción gruesa y del 11% para la fina y con una gran variación.

- El desgaste de Los Ángeles es del orden de 35 a 40.
- La densidad máxima PM es del orden de 1,75 t/m³ y la humedad óptima de compactación es de aproximadamente 14% (entre 13 y 16%). Está muy influida por los restos de materiales férricos y por el contenido de materia orgánica.
- La permeabilidad del material compactado es muy variable, aunque generalmente se caracteriza como de permeabilidad media y buenas características de drenaje.
- El CBR sumergido es del orden de 25 a 40%.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

Su aplicación como zahorra debe limitarse a tráfico bajos y precisa en general de la mezcla con otros áridos para el cumplimiento del desgaste Los Ángeles.

El aspecto del árido reciclado es bastante heterogéneo, con

partículas de varias procedencias lo que, cuando no se conoce el material, puede suscitar un cierto rechazo.

Necesita un mayor contenido de humedad para la compactación que los áridos naturales

6. NORMATIVA TÉCNICA

Normativa UNE-EN	Normativa País Vasco	Normativa estatal
No hay normativa de aplicación	No hay normativa de aplicación	No hay normativa de aplicación

7. NORMATIVA AMBIENTAL

Normativa Vasco	País	Normativa estatal	Normativa en otras Comunidades Autónomas
No hay decreto ambiental.		No hay decreto ambiental	Orden de 15 de febrero de 1996 de la Generalitat de Catalunya sobre valorización de escorias.

8. MANUALES

- Guide technique pour l'utilisation des matériaux alternatifs de Franche-Comté en technique routière, 2015.
- Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND), 2015, Setra.
- Catálogo de residuos del CEDEX.

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES *

Bizkaia	Gipuzkoa
• La empresa Zabalgardi general escorias de incineración, pero no comercializa el árido reciclado.	• Gipuzkoako Hondakinen Kontsortzioa (GHK)/ Gipuzkoa Ingurumena Bi S.A. (Gibisa).

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.7. Cobre reciclado

1. DESCRIPCIÓN



El **cobre** es un elemento químico metálico representado por el símbolo Cu y con número atómico 29. Es un metal de transición que se caracteriza por su brillo y su color rojizo. El cobre es uno de los mejores conductores de electricidad, solo superado por la plata, lo que lo hace ideal para aplicaciones eléctricas y electrónicas.

Además, el cobre es altamente maleable y dúctil, lo que permite que se pueda moldear en láminas e hilos delgados sin perder sus propiedades mecánicas. Este metal también es resistente a la corrosión y puede reciclarse indefinidamente sin perder calidad. Debido a estas propiedades, el cobre se

utiliza ampliamente en la fabricación de cables, componentes electrónicos, tuberías y en la industria de la construcción.

El cobre, al igual que otros metales, puede ser reciclado un número ilimitado de veces sin perder ni degradar sus propiedades químicas o físicas, siendo uno de los materiales más reciclados. El proceso de reciclado del cobre consta básicamente de la recogida y clasificación de las chatarras de cobre en función de sus niveles de pureza para su posterior envío a la fundición o tratamiento final. Así, los residuos de cobre puro pueden ser fundidos directamente. Su pureza se comprueba mediante análisis químico cuando aún está en estado líquido. Después se desoxida y lleva a formas intermedias para usarlos en otros procesos

2. TIPOS

El cobre es uno de los elementos más usados en aleaciones pesadas. Las aleaciones base cobre son más pesadas que el hierro, y si bien la temperatura de fluencia es elevada, la relación resistencia-peso es típicamente inferior a la de las aleaciones de aluminio y magnesio. Las aleaciones tienen mayor resistencia a la fatiga, a la termofluencia y el desgaste abrasivo que las aleaciones ligeras, presentando una excelente ductilidad, resistencia a la corrosión, muy buena conductividad eléctrica y electrónica, y responden muy bien al endurecimiento por deformación.

Las mezclas más usadas son el bronce y los latones, no obstante, existen más aleaciones.

- Aleaciones de cobre-zinc-níquel (alpaca): La alpaca está compuesta por cinc, cobre y níquel. Tiene un color y brillo parecido a la plata. Cuando el níquel está presente en una cantidad elevada, la aleación tiene una buena dureza, elasticidad y dispone de un alto grado de resistencia a la alteración.
- Aleaciones de cobre-zinc (latón): El Latón es una aleación de Cobre con Zinc como ingrediente secundario esencial. La adición de Zinc al Cobre crea una aleación de menor coste con una fuerza de trabajo en frío superior al Cobre, aunque a expensas de una conductividad reducida.
- Aleaciones cobre-estaño (bronce). El bronce es una aleación que consiste principalmente en cobre con la adición de otros ingredientes. En la mayoría de los casos, el ingrediente agregado suele ser estaño, pero también se puede usar arsénico, fósforo, aluminio, manganeso y silicio para producir diferentes propiedades en el material
- El constantán es una aleación formada por un 55% de cobre y un 45% de níquel, es muy utilizado para la fabricación de monedas. Sus propiedades mecánicas son

ligeramente superiores a las de los latones, pero no llegan a las del Bronce de Fósforo.

- Bronces de fósforo: Los Bronces De Fósforo son Aleaciones de estaño de Cobre que contienen hasta un 7% de estaño y una pequeña cantidad de Fósforo, que es un residuo de la desoxidación de la masa fundida de Cobre antes de añadir el estaño. Los Bronces de Fósforo pueden endurecerse significativamente mediante el trabajo en frío para proporcionar excelentes propiedades elásticas
- Cuproníquel Y Aleaciones Con Alto Contenido En Cobre: Las aleaciones comerciales más importantes son las que se basan en Cobre y Níquel a un 90/10. El Cuproníquel tiene buena capacidad de conformado y una excelente resistencia a la corrosión del agua de mar. Una aleación importante de alto contenido en Cobre es la aleación 194, que tiene un 2,3 % de Hierro con pequeñas adiciones de Fósforo y Zinc. Ha sido especialmente desarrollado para la aplicación de marcos de conexión, y tiene una excelente resistencia al ablandamiento, siendo capaz de soportar más de 300 ° C durante unos minutos.
- Las aleaciones de Cobre Y Berilio con aleaciones endurecidas: presentan una resistencia increíble, gran elasticidad y resistencia a la fatiga, lo cual las hace ideales para las aplicaciones de Muelles. Las primeras composiciones se basan en un 1,6 % a un 2,0 % de Berilio, con una pequeña adición de Cobalto para refinar el tamaño del grano

3. USOS Y APLICACIONES

El cobre es el tercer metal más consumido en el mundo, después del hierro y el aluminio. Su versatilidad y propiedades únicas lo convierten en un material esencial en la industria de la construcción, que es uno de los principales consumidores de cobre.

El cobre se utiliza ampliamente en el cableado de edificaciones debido a su excelente conductividad

eléctrica, lo que garantiza una transmisión eficiente y segura de la electricidad. Además, es fundamental en la instalación de tuberías de agua y gas, ya que su resistencia a la corrosión y durabilidad aseguran un suministro confiable y de larga duración.

En los sistemas térmicos, el cobre es valorado por su alta conductividad térmica, lo que lo hace ideal para

radiadores, intercambiadores de calor y sistemas de calefacción. También se emplea en techumbres y terminaciones arquitectónicas, donde su atractivo estético y resistencia a las inclemencias del tiempo añaden valor y durabilidad a las estructuras.

El cobre también se utiliza como componente estructural en diversas aplicaciones, incluyendo puentes, fachadas y elementos decorativos. Su capacidad para soportar

condiciones climáticas extremas sin perder sus propiedades lo convierte en un material de bajo mantenimiento y alta durabilidad.

Además, el cobre es un material sostenible y reciclable, lo que contribuye a la reducción del impacto ambiental en la construcción. Su capacidad antimicrobiana también lo hace ideal para aplicaciones en hospitales y otros entornos donde la higiene es crucial.

4. PROPIEDADES FÍSICAS

El cobre es uno de los metales que cuenta con mayor resistencia a la corrosión, es decir, no se oxida ni deteriora fácilmente. Es por esta razón que tiene una vida útil muy larga y conserva sus características originales a pesar del paso del tiempo. Gracias a estas cualidades se utiliza en la producción de tuberías, cubiertas, techumbres, pernos y clavos. Sin embargo, cuando se lo expone durante mucho tiempo a la humedad, forma una capa impermeable de carbonato cúprico (CuCO_3) de color verdoso, que es sumamente tóxico.

El cobre es el mejor conductor eléctrico (capacidad de dejar pasar la corriente) después de la plata y el grafeno, por lo que es uno de los metales favoritos en la fabricación de cables, interruptores y enchufes. Además de su conductividad, el cobre también destaca por sus propiedades mecánicas, como resistencia a la tracción y capacidad de soportar cargas sin deformarse.

El cobre tiene la conductividad térmica más alta de todos los metales, después de la plata, y esta propiedad explica el 50%

de su uso. Posee un valor de conductividad térmica extremadamente elevado de 385 W/(m/K), lo que representa el doble que el aluminio. Asimismo, tiene un punto de fusión relativamente alto, lo que lo hace útil en aplicaciones donde se requiere resistencia al calor.

En las redes de distribución de baja tensión, el cobre tiene características especialmente ventajosas en comparación a otros conductores, como el aluminio, ya que cuenta con los menores índices de resistencia eléctrica, es decir, no obstaculiza el paso de la corriente.

El cobre es muy dúctil y maleable, es decir, se puede alargar, estirar, doblar, etc. con gran facilidad, lo que le permite variados usos. Asimismo, al ser capaz de deformarse en frío (alambres) y alearse con otros minerales. Su ductilidad y maleabilidad permiten crear estructuras resistentes y duraderas, contribuyendo al desarrollo de infraestructuras sólidas.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

El cobre es 100% reciclable, y no pierde sus propiedades químicas o físicas, aunque el proceso se repita.

6. NORMATIVA TÉCNICA

Normativa UNE-EN

En España, las normas UNE-ISO que aplican al uso de cobre reciclado en la construcción son desarrolladas por el Comité Técnico de Normalización CTN 131, que se enfoca en el cobre y sus aleaciones. Algunas de las normas más relevantes en su aplicación en edificaciones incluyen:

- UNE-EN 1172:2012: Cobre y aleaciones de cobre. Chapas y bandas para edificación.
- UNE-EN 14977:2007: Cobre y aleaciones de cobre. Determinación de las tensiones de tracción. Ensayo con amoníaco al 5%.
- UNE-EN 1057:2007+A1:2010: Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos de cobre, sin soldadura, para agua y gas en aplicaciones sanitarias y de calefacción.
- UNE-EN 12451:2013: Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos, sin soldadura para intercambiadores de calor.
- UNE-EN 12452:2013: Cobre y aleaciones de cobre. Tubos sin soldadura, laminados y aleteados para intercambiadores de calor.
- UNE-EN 13602:2014 Cobre y aleaciones de cobre. Alambres de cobre redondo y estirado para la fabricación de conductores eléctricos.
- UNE-EN 12166:2017 Cobre y aleaciones de cobre. Alambres para usos generales.
- UNE-EN 12168:2017 Cobre y aleaciones de cobre. Barras huecas para mecanizado.
- UNE-EN 12164:2017: Cobre y aleaciones de cobre. Barras para mecanizado.
- UNE-EN 12163:2017: Cobre y aleaciones de cobre. Barras para usos generales
- UNE-EN 12167:2017: Cobre y aleaciones de cobre. Perfiles y barras rectangulares para usos generales.
- UNE-EN 12735-2:2016: Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos, sin soldadura, para aire acondicionado y refrigeración. Parte 2: Tubos para equipos.
- UNE-EN 12420:2015: Cobre y aleaciones de cobre. Piezas forjadas.
- UNE-EN 1654/AC:2004: Cobre y aleaciones de cobre. Bandas para muelles y conectores.
- UNE-EN 1652/AC:2004: Cobre y aleaciones de cobre. Chapas, bandas y discos para usos generales.
- UNE-CEN/TS 15022-2:2011 EX: Cobre y aleaciones de cobre. Determinación del contenido de estaño. Parte 2: Método espectrofotométrico.

- UNE-EN ISO 196:1996: Productos trabajados de cobre y aleaciones de cobre. Detección de tensiones residuales. Ensayo con nitrato mercurioso. (ISO 196:1978).
- UNE-EN 1653/A1:2001: Cobre y aleaciones de cobre. Chapas y discos para calderas, recipientes a presión y depósitos para agua caliente.

7. NORMATIVA AMBIENTAL

- Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular: Esta ley establece las bases para la gestión de residuos, promoviendo la reutilización y el reciclaje de materiales, incluyendo el acero
- Reglamento (UE) 305/2011: Establece condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción en la UE, incluyendo requisitos de sostenibilidad y reciclaje
- Reglamento (UE) 333/2011: Establece los criterios para determinar cuándo ciertos tipos de chatarra metálica dejan de ser residuos y pueden ser utilizados como materia prima secundaria, lo cual es relevante para el aluminio reciclado.
- Directiva 2008/98/CE sobre los residuos: Esta directiva establece el marco legal para la gestión de residuos en la UE, promoviendo la reutilización y el reciclaje de materiales.
- Real Decreto 110/2015, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): Aunque se centra en los residuos electrónicos, también incluye disposiciones sobre la recuperación de metales, incluyendo el acero.

8. MANUALES

Manual de tubo y accesorios de cobre. 2.ª edición (Editorial: AENO)

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES

Algunos fabricantes*:

- Fiasa (Araba/Álava)
- Welding Copper (Cantabria)
- Grupo Wisco (Guipuzkoa)
- Fundiciones Urkoase
- Forbrass

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.8. Cenizas de incineración de las estaciones de depuración de aguas residuales

1. DESCRIPCIÓN



El Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia depura las aguas residuales del sistema Galindo-Lamiako, que sirve a una población equivalente de 1.380.000 habitantes. En la estación de depuración de aguas residuales (EDAR) de Galindo, el fango obtenido tras el tratamiento de las aguas se deshidrata en filtros prensa y luego se incinera en tres hornos de lecho fluidizado, a una temperatura de 850 – 900 °C.

Como resultado del proceso de incineración se produce un residuo en forma de árido fino o polvo, denominado cenizas EDAR, que no precisa de tratamientos adicionales. Se

produce en una cantidad aproximada de 3.600 t/año.

Las cenizas procedentes de la incineración de lodos de EDAR son un residuo clasificado con el código LER 190114. Pertenecen al capítulo 19 (Residuos de las instalaciones para el tratamiento de residuos de las plantas externas de tratamiento de aguas residuales y de la preparación de agua para consumo humano y de agua para uso industrial) y al subcapítulo 01 (residuos de la incineración o pirólisis de residuos) del Código Europeo de Residuos.

La NFPV ha incluido el posible uso de las cenizas como fíller para mezclas bituminosas y la Diputación Foral de Bizkaia ha hecho varias pruebas, con resultados positivos, para su empleo como conglomerante en grava-cemento o suelo-cemento.

2. TIPOS

No se distinguen tipos en este material.

3. USOS Y APLICACIONES

Se pueden utilizar en aplicaciones ligadas, como fíller en mezclas bituminosas o como conglomerante, acompañado de cemento en grava-cemento o suelo-cemento.

- **Fíller en Mezclas bituminosas:**

En la NFPV se establece que las cenizas EDAR pueden emplearse como fíller de aportación en cualquier tipo de mezcla bituminosa, para cualquier capa del firme y para todas

las categorías de tráfico pesado.

- **Materiales tratados con cemento.**

La Diputación Foral de Bizkaia ha realizado pruebas en laboratorio, banco de pruebas y en obra (Glorieta de Makro) con buenos resultados. En espera a la inclusión del material en la NFPV se deberá solicitar autorización a la Diputación Foral de Bizkaia antes de su empleo en obra.

4. PROPIEDADES FÍSICAS

- El tamaño de las partículas es inferior a 0,25 mm y en su mayor parte inferior a 0,063 mm. El peso específico de las partículas es de aproximadamente 2,5 t/m³. Estas características tienen una cierta variación debido a las condiciones del proceso y los cambios en los componentes de los lodos residuales.
- Las cenizas EDAR están compuestas mayoritariamente por SiO₂ (40 a 50%, aproximadamente), CaO (10 a 25%)

y Al₂O₃ (10 a 15%), junto a óxidos de hierro, fósforo o potasio, entre otros.

- Las cenizas contienen sílice reactiva y alúmina lo que las confiere un carácter puzolánico y permite su uso como conglomerantes asociadas a un activante como la cal o el cemento.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

En la utilización como fíller su contenido total en mezcla bituminosa deberá ser igual o inferior a:

- Para mezclas bituminosas tipo AC: 3% en peso del total de la mezcla.
- Para mezclas bituminosa tipo BBTM: 4% en peso del total de la mezcla.

Las pruebas y obra realizadas con cenizas EDAR como conglomerante se han dosificado con un 12% de cenizas y un 3% de cemento. En la dosificación granulométrica se

debe considerar la ceniza de EDAR como un árido más. Las resistencias exigidas en el pliego a los 7 días se consiguen a los 28 días por el carácter puzolánico del material.

Si la central de fabricación cuenta con un único silo de pulverulentos para el cemento, será necesario añadir el cemento manualmente y tener en cuenta que la capacidad del silo puede hacer necesario reducir la producción.

Los contenidos de humedad pueden ser algo superiores a los convencionales.

6. NORMATIVA TÉCNICA

Normativa UNE-EN

Especificaciones

- No hay normativa europea para cenizas volantes de incineradoras urbanas.

Ensayos específicos

- No hay ensayos específicos para cenizas EDAR.

Normativa País Vasco

La utilización como fíller para mezclas bituminosas se prescribe en el Anejo 7 de la NFPV.

Normativa estatal

No hay normativa estatal para cenizas EDAR.

7. NORMATIVA AMBIENTAL

Normativa País Vasco

No hay normativa ambiental para cenizas EDAR. Se debe solicitar la autorización para cada obra determinada, que suele darse siempre que se trate de aplicaciones ligadas.

Normativa estatal

No hay normativa ambiental estatal para cenizas EDAR.

8. MANUALES

- Use of Sewage Sludge in construction; Ciria, 2004.

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES *

Bizkaia

- Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.9. Madera reciclada

1. DESCRIPCIÓN



La madera es un recurso renovable y versátil, que puede ser reciclada para reducir la deforestación y disminuir el volumen de residuos en los vertederos. El reciclaje de madera es uno de los más limpios y económicos. No necesita ningún tratamiento del material previo a los físicos con maquinaria, ni

tampoco tratamientos químicos.

Una vez llega el material a la planta de reciclaje, se lleva a cabo una inspección ocular en la que se determinan los tipos de madera y su calidad. Se desechan los impropios que estén mezclados y se clasifican según las propiedades de cada tipo de madera. Una vez clasificado se tritura para conseguir serrín o viruta.

2. TIPOS

Existen varios tipos de madera reciclada, cada uno con sus propias características y aplicaciones. Aquí tienes algunos de los más comunes:

- **Madera de Pallets:** Procedente de la reutilización de pallets industriales, esta madera es muy versátil y se utiliza en la fabricación de muebles, decoración y proyectos de bricolaje.
- **Madera de Demolición:** Proviene de la demolición de edificios antiguos. Esta madera puede incluir vigas, tablonos y otros elementos estructurales que se recuperan y reutilizan en nuevas construcciones o en la fabricación de muebles.
- **Madera de Parquet:** Reutilizada a partir de suelos de parquet en desuso, esta madera es ideal para proyectos de renovación y decoración, aportando un toque rústico y elegante.
- **Madera de Muebles:** Recuperada de muebles antiguos o desechados, esta madera se puede restaurar y reutilizar para crear nuevos muebles o elementos decorativos.
- **Madera de Construcción:** Incluye restos de madera de obras de construcción, como encofrados y andamios, que se pueden reciclar y utilizar en nuevos proyectos de construcción o en la fabricación de productos de madera.

3. USOS Y APLICACIONES

La madera reciclada es uno de los materiales que actualmente se utilizan en construcción como tableros aglomerados o tableros de fibras, si bien, hay más tradición de reusar piezas directamente, que es más favorable pues evitamos procesos de transformación y emisiones ligadas a ellos. Esta última acción ha sido la más común en las construcciones tradicionales, en las que transformaban las grandes vigas en elementos de carpintería, refuerzos o mobiliario, sin un proceso de transformación tan industrial,

como los que ahora se aplican.

Podemos encontrar en el mercado maderas recuperadas y maderas reconstruidas que posteriormente se reutilizan, perfiles de madera laminada, perfiles con tiras de madera PSL, perfiles de virutas pequeñas LSL o madera plástica, entre otros. O combinando las maderas con otros elementos como el plástico reciclado, el cemento, el yeso o subproductos, dependiendo de las necesidades y las propiedades que se requieran.

4. PROPIEDADES FÍSICAS

La madera reciclada presenta propiedades físicas que la hacen un material valioso en la construcción sostenible. Su higroscopicidad le permite absorber y liberar humedad del ambiente, lo que puede influir en su estabilidad dimensional.

Compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, la madera reciclada también contiene resinas, taninos y aceites esenciales que contribuyen a su durabilidad y resistencia. Además, su conductividad térmica es baja, lo que la convierte en un excelente aislante térmico. La densidad de la madera reciclada puede variar dependiendo de su origen,

pero generalmente ofrece una buena relación resistencia/peso.

Su resistencia a la compresión y flexión puede ser comparable a la de la madera nueva, aunque puede presentar variaciones debido a la presencia de nudos y grietas. Finalmente, la madera reciclada puede ser tratada para mejorar su resistencia a insectos y hongos, asegurando su longevidad en aplicaciones estructurales

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

El contenido energético de las estructuras de madera en servicio es significativamente menor, siendo aproximadamente diecisiete veces inferior al de las estructuras de acero, cuando se compara en términos de

masa equivalente. Al concluir su ciclo de vida útil, los elementos o productos derivados de la madera pueden ser reutilizados en nuevas construcciones, reciclados como materia prima para la fabricación de tableros o vigas

reconstituidas, o valorizados energéticamente, lo que contribuye a la reducción del consumo de combustibles fósiles y la emisión de CO₂.

desechados sin valorización energética, la madera, al ser biodegradable y no contaminante, puede integrarse de manera natural al humus.

En el peor de los casos, si estos materiales fueran

6. NORMATIVA TÉCNICA

Normativa UNE-EN	Normativa Internacional	Normativa estatal
- EN 350:2016: Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Ensayos de durabilidad y de eficacia de los productos protectores. - EN 335:2013: Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Definición de las clases de uso de los productos de madera en función de su situación de servicio. - EN 14081-1:2016: Estructuras de madera. Madera estructural con sección rectangular clasificada por clases resistentes. Parte 1: Requisitos generales. - EN 16351:2015: Madera contralaminada. Requisitos.	- ISO 38200:2018: Cadena de custodia de productos forestales y de base biológica. Requisitos. - ISO 21887:2007: Madera estructural. Determinación de la resistencia a la compresión paralela a las fibras	- UNE 56544:2011: Madera aserrada para uso estructural. Clases resistentes. - UNE 56810:2003: Madera estructural. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. - UNE-EN 14250:2011: Estructuras de madera. Productos estructurales ensamblados con conectores mecánicos. Requisitos. - Real Decreto 1088/2015, de 4 de diciembre, para asegurar la legalidad de la comercialización de madera y productos de la madera. - Cabe a destacar el Código técnico de edificación (CTE) donde se establece las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). Documento Básico SE-M

7. NORMATIVA AMBIENTAL

Normativa Europea	Normativa estatal
Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE: Establece el marco jurídico de la Unión Europea para la gestión de residuos, promoviendo la prevención, reutilización, reciclaje y otras formas de valorización de residuos, priorizando la eliminación como última opción.	Ley 22/2011 de Residuos y Suelos Contaminados: Transpone la Directiva Marco de Residuos en España y regula la gestión de residuos, incluyendo la madera reciclada. Establece los principios de la jerarquía de residuos y promueve prácticas sostenibles. Siguiendo las disposiciones del "DECRETO 112/2012, de 26 de junio, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición", en el punto 1 del artículo 8: "Los residuos de construcción y demolición procedentes de obra mayor deberán separarse en las siguientes fracciones cuando de forma individualizada para cada una de dichas fracciones, la cantidad prevista de generación para el total de la obra supere las siguientes cantidades, de acuerdo con la codificación de la lista europea de residuos: A. Hormigón (LER 170101): 10 t. B. Ladrillos (LER 170102), tejas y materiales cerámicos (LER 170103): 10 t. C. Metal (LER 1704, seleccionando los dos últimos dígitos en función del metal de que se trate): en todos los casos. D. Madera (LER 170201): en todos los casos. E. Vidrio (LER 150107): 0,25 t. F. Plástico (LER 150102): en todos los casos. G. Papel y cartón (LER 150101): 0,25 t. H. Yeso de falsos techos, molduras y paneles (LER 170802): en todos los casos.

8. MANUALES

- Guía para el Fomento de la Madera en la Contratación Pública de Edificaciones Sostenibles
- En Madera, otra forma de construir. El material constructivo sostenible del siglo XXI

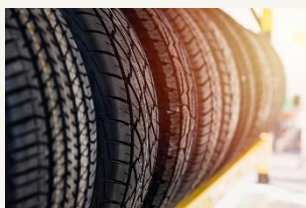
9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES *

- Recollida i Reciclatge SL. Mobiliario Urbano de madera reciclada. <https://www.recrec.cat/>
- Solteco. Mobiliario Urbano. <http://solteco.org/>
- Autoclaves Arbide

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.10. Neumáticos fuera de uso

1. DESCRIPCIÓN



Los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) son aquellos que se han convertido en residuo, es decir, que su poseedor haya desechado o tenga la intención u obligación de desechar.

Los neumáticos fuera de uso provienen principalmente del sector automovilístico. El NFU tiene el código europeo de residuo (CER) 160103 y está clasificado como residuo no peligroso. Después de ser clasificados y reciclados, los NFU se pueden utilizar en diferentes aplicaciones de ingeniería civil, especialmente en mezclas bituminosas y rellenos estructurales.

Las materias primas que se emplean para la fabricación de neumáticos son el caucho, el negro de carbono, metales principalmente alambres de acero, textiles, aditivos químicos, óxido de cinc y azufre. No obstante, esta composición puede variar según el fabricante.

El componente que se encuentra en mayor proporción en los NFU es el caucho, que se suelen componer de una mezcla de cauchos naturales y sintéticos, como los polímeros estireno-butadieno (SBR por sus siglas en inglés).

Los neumáticos se pueden reutilizar sin ser procesados o bien se pueden reducir de tamaño. Para la reducción de NFU

existen distintos procesos que pueden ser totalmente mecánicos (trituración) o combinados con procesos químicos y térmicos. En el proceso de reducción se recuperan, junto al caucho, metales y tejidos.

Hay numerosas aplicaciones para el caucho reciclado ya que se puede emplear como sustitución del caucho nuevo o como aditivo en la fabricación de piezas moldeadas y artículos de caucho. Algunas aplicaciones específicas son: campos de césped artificial y bases para otros campos deportivos, pavimentos para parques infantiles, pistas deportivas y pavimentos de seguridad. En ingeniería civil se utiliza en pantallas acústicas, rellenos o barreras de seguridad, pero la aplicación de mayor interés es como componente de los betunes y de las mezclas bituminosas, para la que se emplea polvo de caucho, en tamaños inferiores a 2,5 mm y en ocasiones a 0,5 mm.

El acero reciclado que se recupera de los neumáticos es de una alta calidad y, una vez limpio, es demandado por la industria siderúrgica como materia prima para la producción de acero nuevo.

La fibra textil encuentra algunas aplicaciones en la elaboración de materiales aislantes y elementos de construcción, si bien actualmente, su destino principal es la valorización energética, mediante su transformación en un combustible sólido recuperado en la industria cementera.

Tipo	Peso (kg)	Caucho y elastómeros	Negro de carbono	Metal (acero)	Textil	Aditivos y otros
Turismos	6,5-9	48	22	15	5	10
Vehículos pesados	55-80	43	21	27	0	9

2. TIPOS

No se distinguen tipos en este material.

3. USOS Y APLICACIONES

Betunes y mezclas bituminosas

El polvo de caucho de los neumáticos fuera de uso mejora el comportamiento reológico de los betunes, es más económico que otros modificadores alternativos y permite consumir una considerable cantidad de residuo.

El polvo de caucho reciclado actúa como espesador del betún y modificador de su reología. La función de modificador de la reología es similar a la que desarrollan los elastómeros convencionales y supone, entre otras mejoras, un aumento de las características elásticas y una reducción de la sensibilidad a la temperatura. La función espesante permite introducir más betún en las mezclas bituminosas al incrementar su viscosidad.

El polvo de caucho se puede añadir al betún (vía húmeda) en mezcladores específicos que se incorporan a las centrales de mezclas bituminosas. También se puede realizar la mezcla del betún con el caucho en las propias terminales de betún en las que se aplican tratamientos para conseguir que la dispersión sea estable, siendo este procedimiento el más utilizado

actualmente. El betún caucho se puede utilizar para la fabricación de mezclas bituminosas, tratamientos superficiales o tratamientos antipropagación de fisuras.

El polvo de caucho también se puede incorporar en el mezclador de la central de fabricación de mezclas bituminosas (vía seca) mediante un dosificador de pulverulentos o manualmente. Se han desarrollado productos en los que las partículas de caucho se pretratan para facilitar la digestión del caucho y se recubren de betún y de filler para mejorar la incorporación a la mezcla bituminosa.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) del Ministerio de Fomento especifica el uso prioritario de polvo de caucho en mezclas bituminosas siempre que sea técnica y económicamente viable. La Orden Circular 21/2007 establece los requisitos que han de cumplir los ligantes betún-caucho obtenidos para poder ser incorporados en obra.

El betún caucho permitió desarrollar mezclas especiales con contenido elevado de betún, para retrasar o evitar la aparición

de fisuras en refuerzos bituminosos de pavimentos de hormigón o en firmes semirrígidos.

Hay aplicaciones en desarrollo experimental en las que se utilizan partículas gruesas de caucho como árido para capas de rodadura en las que se persigue la reducción del ruido.

Otras aplicaciones

También se ha utilizado como árido reciclado para la mejora de las propiedades mecánicas del hormigón, ya que se ha demostrado que genera mejoras en la resistencia a la compresión y tracción en su uso como árido grueso y fino.

Otras posibles aplicaciones para los NFU en ingeniería civil y edificación son:

- Barreras acústicas y barreras de seguridad
- Rellenos ligeros
- Pavimentos en continuo y losetas de seguridad
- Relleno de balsas de infiltración de aguas pluviales
- Sistemas de drenaje de vertederos
- Césped artificial
- Atenuadores del oleaje
- Protección exterior de taludes

4. PROPIEDADES FÍSICAS

El residuo de NFU es un material versátil y sostenible cada vez más utilizado en diversas aplicaciones de ingeniería civil. Su capacidad para ser reciclado y reutilizado ofrece una alternativa económica y eficiente a los materiales de construcción tradicionales.

El material resultante del troceado de neumáticos (NFU) puede incluir o no componentes metálicos provenientes de las bandas de acero de la carcasa. El tamaño promedio de las piezas tratadas depende del tipo de cribado utilizado. La densidad media de una pieza de NFU oscila entre 1,15 y 1,45 t/m³, mientras que la densidad del material no compactado varía según el tamaño y la forma de los fragmentos.

Este NFU tiene una alta permeabilidad, comparable a la de las arenas finas, con un coeficiente de permeabilidad alrededor de 5×10^{-2} cm/s.

El material de los neumáticos troceados también presenta una buena resistencia al corte, lo que significa que las piezas poseen una elevada resistencia mecánica y una elevada cohesión. Asimismo, el material es flexible y puede adaptarse

bien a diferentes condiciones de carga, mostrando una mayor rigidez cuando no está bajo presión. El tamaño de las piezas parece no afectar a los parámetros de cohesión, ángulos de rozamiento y módulos de deformabilidad del material.

Además, el NFU presenta una notable resistencia a la degradación química, lo que lo hace adecuado para su uso en entornos agresivos. Su capacidad de aislamiento térmico es otra ventaja, ya que puede ayudar a reducir las variaciones de temperatura en las estructuras donde se utiliza. También se ha observado que el material tiene propiedades acústicas que pueden contribuir a la reducción del ruido en aplicaciones específicas.

Los neumáticos tienen un elevado poder calorífico de 34-39 MJ/kg. De hecho, una tonelada de neumáticos equivale aproximadamente a 0,7 t de fuel oil. Es por este alto poder calorífico por lo que habitualmente este residuo se utiliza para su valorización energética en plantas industriales, especialmente en el sector cementero.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

Cuando se incorpora polvo de caucho a un betún la suspensión es inestable. Por ello una de las técnicas de utilización realiza la mezcla con el betún en la misma central de fabricación de las mezclas bituminosas con un mezclador especial, desde el que se envía, tras un período de digestión al mezclador sin tiempo para que se inestabilice.

Se han puesto a punto sistemas para estabilizar el polvo de caucho en las terminales de betunes, que funcionan adecuadamente, pero tienen algunas limitaciones, ya que si va a haber un almacenamiento prolongado hay que adoptar medidas (recirculación) para que no se produzcan obstrucciones ni sedimentaciones en los tanques. Por otro lado, con el tiempo de almacenamiento puede producirse una degradación de algunas de las propiedades del betún modificado.

Cuando el polvo de caucho se aplica directamente al mezclador en el proceso de vía seca, se debe tener en cuenta el hecho de que el caucho se hincha en contacto con el betún y debe esperarse un cierto tiempo para su puesta en obra, hasta que se estabilice. Además, debe prolongarse la compactación hasta que la mezcla bituminosa pierda temperatura (aproximadamente 80 °C). Con los tamaños de partículas que se están utilizando ahora en España la reacción se produce durante el transporte, aunque hay que comprobar el proceso antes de iniciar la ejecución. El caucho pretratado soluciona este inconveniente ya que no produce hinchamiento de la partícula y elimina el tiempo de espera.

6. NORMATIVA TÉCNICA

Normativa ASTM	Normas Europeas y Nacionales	Normativa Española
• ASTM D6270-08: Práctica estándar para el uso de neumáticos desechados en aplicaciones de ingeniería civil.	• UNE-EN 14243-1: Materiales producidos a partir de neumáticos al final de su vida útil. Parte 1. Definiciones generales relativas a los métodos para la determinación de sus dimensiones e impurezas. • UNE-EN 14243-2: Materiales producidos a partir de neumáticos al	• Orden Circular 21/2007: Uso y especificaciones de ligantes y mezclas bituminosas que incorporan caucho de NFU. • Orden Circular 21bis/2009: Betunes mejorados y modificados de alta viscosidad con caucho de NFU, criterios para su fabricación y almacenamiento. • Orden FOM 2523/2014: Actualización de artículos

Normativa ASTM	Normas Europeas y Nacionales	Normativa Española
	final de su vida útil. Parte 2. Granulado y polvo. Métodos para la determinación de sus dimensiones e impurezas, incluyendo el contenido de acero y textil libres.	del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a materiales básicos, firmes y pavimentos, y sistemas de contención de vehículos. Nota Técnica NT 02/2020: “Sustitución de un betún mejorado con caucho (BC) por la combinación de un betún de penetración y un aditivo de caucho en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente”.

Estas normas y especificaciones aseguran que los NFU se gestionen y utilicen de manera segura y eficiente en diversas aplicaciones, promoviendo la sostenibilidad y el reciclaje.

7. NORMATIVA AMBIENTAL

La gestión de este tipo de residuo, por sus características y por el volumen que se genera anualmente, se regula por el Real Decreto 731/2020, de 4 de agosto, por el que modifica el Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de los neumáticos fuera de uso, cuyos objetivos fundamentales se centran en prevenir su generación, establecer el régimen jurídico de su producción y gestión, así como fomentar, por este orden, su reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización, todo ello para proteger el medio ambiente y avanzar hacia una economía circular. El real decreto establece las obligaciones de los agentes económicos que intervienen en el ciclo de vida del neumático, empezando por el productor de neumáticos, al que se le aplica la responsabilidad ampliada del productor del producto y se exige el cumplimiento de los objetivos de gestión contenidos en el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR).

Además, la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, también es aplicable, ya que establece el marco general para la gestión de residuos en España, incluyendo los NFU. Esta ley incorpora principios de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, que establece el marco jurídico de la Unión Europea para la prevención y gestión de residuo.

8. MANUALES

- Serie de guías de Signus para el empleo de polvo de neumático en betunes y mezclas bituminosas y otras aplicaciones deportivas y urbanas: Guía para la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas con polvo de neumáticos; Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático; 20 años de mezclas asfálticas con polvo de neumático en las carreteras españolas.
- Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas, CEDEX, 2007.
- Catálogo de residuos del CEDEX.

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES *

Fabricantes de betún con caucho

- Cepsa, Madrid
- Repsol, Madrid.
- Probisa, Madrid

Fabricantes de polvo de caucho pretratado

- Cirtec (RarX), Madrid.

- Renecal (Tyrexol MMA30), Guardo, Palencia.
- Elastocinca (Adu260), Fraga, Huesca.

Empresas de Vía húmeda in situ

- Tecnoasfalto Pavimentos y Firmes, Toledo.

Sistemas integrados de gestión

- SIGNUS y TNU. Sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso autorizados en el País Vasco

Otros

- ZICLA. Baldosas y mobiliario urbano a partir de plásticos y compuestos reciclados. www.zicla.com

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.11. Piedra ornamental

1. DESCRIPCIÓN



El término piedra ornamental hace referencia a aquellas rocas que, una vez extraídas y tras un proceso de elaboración, son **aptas para ser utilizadas como materiales nobles de construcción**, elementos de

ornamentación y objetos decorativos varios, conservando íntegramente su composición, textura y propiedades fisicoquímicas.

Durante el proceso de elaboración de la piedra ornamental se generan **dos tipos de residuos inertes**: Los **recortes** y los **lodos procedentes del proceso**, compuestos por las aguas de refrigeración de los telares y granos de la roca elaborada. Los

lodos están compuestos por partículas derivadas del desgaste progresivo de los elementos empleados en el corte y el pulido.

Los lodos son recogidos por gravedad en un pozo desde donde son bombeados hacia depósitos de decantación primaria, siguiendo un proceso de floculación y sedimentación. De este modo se obtiene tanto el agua clarificada utilizada en el proceso, la cual se suele recircular para su reutilización, y los lodos espesados con restos de floculante.

Estos lodos espesados a su vez son enviados a balsas de evaporación o sometidos a un proceso de deshidratación mediante filtros prensa. Una vez finalizado el proceso la relación partícula fina-agua es de un 80%-20%.

2. TIPOS

Las rocas ornamentales de mayor interés comercial/económico son aquellas que por sus características constituyen la **materia prima de la industria de la Piedra Natural**. Atendiendo a este criterio se distinguen 3 grupos principales: **Granitos, Mármoles y Pizarras**.

3. USOS Y APLICACIONES

Desde el punto de vista técnico y de acuerdo con los requisitos de las materias primas, el reciclado de estos compuestos es factible y tiene un amplio arco de aplicaciones, como son la producción de cemento y hormigón, la industria cerámica y de productos prefabricados de hormigón (bloques, baldosas), fabricación de piedra artificial (bancos, jardineras...) y otros posibles usos en la fabricación de plásticos, pintura, papel, etc.

Los sectores del cemento, hormigón y zahorras junto a la industria cerámica podrían ser las aplicaciones potenciales con mayor consumo de los lodos, empleados como materia

prima. Entre las aplicaciones para estos lodos minerales se encuentran:

- Prefabricados para la construcción
- Producción de cemento
- Usos agrícolas
- Aditivos de hormigones y mezclas bituminosas
- Material de relleno
- Estabilización de taludes y suelos

4. PROPIEDADES FÍSICAS

El tratamiento, corte y pulido de piedra ornamental genera principalmente lodos de diferente naturaleza según el tipo de roca de la que procedan: granito, mármol o pizarra, cuyas características fisicoquímicas reflejan la composición **original de la roca**, con **características muy estables**.

Los diferentes telares y elementos de corte y pulido empleados en la elaboración de la piedra determinan el tamaño de los residuos generados, por lo que el tamaño de las partículas presenta gran variedad.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

Las características principales dependen del compuesto original de la roca y sus minerales. Mientras que el mármol es una piedra metamórfica que presenta propiedades de presentes en las rocas carbonatadas por su alto contenido calcáreo, el granito es una roca ígnea intrusiva de composición félsica formada esencialmente por cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa y mica.

El mármol es una piedra metamórfica **muy duradera**, pero también es **porosa** y **poco resistente a los ácidos, la temperatura y el agua**. El granito, por su parte, pero es más resistente al desgaste y más resistente, por ejemplo. Además, el granito es un material mucho más barato que el mármol.

6. NORMATIVA TÉCNICA

Si bien no existe actualmente ninguna normativa técnica específica que regule el uso de estos residuos, se incluye a continuación la normativa técnica española y de la ASTM referente a distintos materiales de construcción donde es posible su uso:

- UNE-EN 459-1:2011: Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad
- EN 197-1: Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes
- UNE-EN 771-3:2011: Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón (áridos densos y ligeros)
- EN 771-1:2011: Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Piezas de arcilla cocida
- EN 15285:2008: Piedra aglomerada. Baldosas modulares para suelos (uso interno y externo)
- UNE-EN ISO 3262-5:1999: Pigmentos extendedores para pinturas. Especificaciones y métodos de ensayo. Parte 5: Carbonato cálcico cristalino natural
- ASTM C1097-06a: Especificación estándar para cal hidratada para uso en cemento asfáltico o pavimentos bituminosos
- ASTM C141-97 (2005): Especificación estándar para cal hidráulica hidratada para fines estructurales
- ASTM C1489-01: Especificación estándar para masilla de cal para fines estructurales
- ASTM C150-07: Especificación estándar para cemento Portland
- ASTM C1529-06a: Especificación estándar para cal viva, cal hidratada y piedra caliza para usos ambientales

7. NORMATIVA AMBIENTAL

- La Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos establece objetivos de reciclaje y reutilización para varios materiales, incluyendo el vidrio, y ha sido transpuesta a la legislación nacional de España.
- La Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular introduce el concepto de economía circular y establece nuevas obligaciones y objetivos para la gestión de residuos, incluyendo el vidrio.
- El Real Decreto 777/2012, que modifica el Real Decreto 975/2009, detalla las características que deben tener los residuos con el código LER 01 04 13 para ser calificados como inertes.
- La Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE establece el marco jurídico de la Unión Europea para la gestión de residuos y ha sido transpuesta en España a través de la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados, que clasifica los residuos según la Lista Europea de Residuos (LER), considerando los residuos de corte y serrado de piedra como no peligrosos.
- Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras
- Real Decreto 777/2012, de 4 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por las actividades mineras

8. MANUALES

- Reutilización de residuos de piedra ornamental en la producción de bloques: Construcción y sostenibilidad - Softcover

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES*

Algunos fabricantes*:

- Federación Europea e Internacional de Industrias de la Piedra Natural (EUROROC)
- Clúster de la Piedra Natural

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.12. Plástico reciclado

1. DESCRIPCIÓN



El plástico es un material compuesto por resinas, proteínas y otras sustancias que se caracteriza por su capacidad de ser moldeado y deformado permanentemente mediante la aplicación de calor y presión. Los plásticos son polímeros, generalmente derivados del petróleo, que pueden adoptar diversas formas y son resistentes a la degradación. Esta maleabilidad y durabilidad hacen que los plásticos sean ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones, desde envases y

juguets hasta componentes industriales y materiales de construcción.

El proceso de reciclaje del plástico es sencillo. En las plantas de reciclado se separa, en primer lugar, los plásticos reciclables de los no reciclables. Una vez separados los plásticos reciclables, estos se limpian a fondo, con el fin de eliminar cualquier resto de etiquetas o de su contenido original que pudiera quedar en ellos. Tras esto, el plástico se tritura y se funde, dando como resultado unas bolitas de resina que constituyen la materia prima de nuevos productos de plástico.

2. TIPOS

El Código de Identificación Plástico permite diferenciar la procedencia de los plásticos que se utilizan. El número presente en este símbolo indica qué tipo de plástico se emplea:

- PET o PETE (Tereftalato de Polietileno): Uno de los plásticos más utilizados, sobre todo en la fabricación de botellas para alimentación. Se trata de uno de los más reciclados.
- HDPE (Polietileno de Alta Densidad): Se trata de un tipo de plástico más denso y rígido, que se utiliza sobre todo en la fabricación de tuberías de presión, así como para tuberías de saneamiento, drenaje y protección de cables.
- PVC (Policloruro de Vinilo): Este material se utiliza sobre todo para la fabricación de botellas de champú y detergente, tuberías y mangueras.
- LDPE o PEBD (Polietileno de Baja Densidad): Este producto ofrece propiedades como una buena resistencia al impacto, una muy buena procesabilidad, resistencia térmica y química y es más flexible que el polietileno de alta densidad. Su elasticidad permite emplearlo en film transparente, bolsas o botellas blandas.
- PP (Polipropileno): Se trata de un material muy resistente a la presión, utilizado en la industria automovilística, la construcción y la fabricación de tapones y tapas herméticas.
- PS (Poliestireno): El poliestireno, también conocido como poliestirol, es un polímero muy utilizado que se produce mediante la polimerización del estireno. Es un material transparente, rígido y quebradizo que se presenta en diversas formas.
- PU (Poliuretano): El poliuretano en la construcción es muy usado en aislamiento térmico y acústico, así como en impermeabilización, decoración y perfilera de ventanas.

- Otros plásticos: aquí se engloban los que combinan el plástico con otros materiales, así como los nuevos plásticos biodegradables que proceden de almidones vegetales.

Los materiales plásticos originales a través de su ciclo de vida se convierten en residuos plásticos. En el caso de los envases y embalajes en un periodo de tiempo muy corto pasan a ser residuos urbanos industriales, mientras que los materiales empleados en la construcción pueden llegar a alcanzar un periodo de vida útil superior a 25 años. En cualquier caso, la mayoría de material plástico primario termina transformándose en residuo.

Si bien la mayoría de los plásticos son reciclables, hay algunos que, por sus características, no suelen reciclarse de forma convencional. Sin embargo, esto no quiere decir que no se les dé salida tras su primer uso, ya que este tipo de materiales también se utilizan para usos distintos a los originales una vez procesados, especialmente como materiales de construcción.

Los residuos plásticos (RP) empleados para obtener el material plástico reciclado pueden proceder de diferentes aplicaciones, sin embargo, se distinguen 2 fuentes principales de procedencia:

- Residuos procedentes procesos de fabricación
- Residuos procedentes de la masa de residuos sólidos urbanos. Estos a su vez se dividen en 3 clases:
 - Residuos plásticos de tipo simple
 - Residuos mixtos, con mezcla de diferentes plásticos
 - Residuos plásticos mixtos combinados con otros residuos como papel, cartón o metales

3. USOS Y APLICACIONES

En la construcción de edificios, los plásticos abundan en cañerías, revestimientos, pisos, aislamiento, paneles, puertas, ventanas, cristales, unidades de baño, rejillas, barandillas y una lista cada vez mayor de aplicaciones tanto estructurales como interiores o decorativas.

- Cañerías y tuberías: La mayoría del plástico que se utiliza en la industria de la construcción está dedicada para la

creación e instalación de **cañerías y tuberías de las edificaciones**, esto debido a que suelen tener mejores beneficios que las tuberías elaboradas de metal.

- Pavimentación (Geotextiles): Dentro del urbanismo también se utilizan los materiales plásticos que permiten un mejor resultado en los proyectos, este es el caso de la pavimentación en carreteras en las que se emplean

ciertos geotextiles creados con base en polímeros plásticos. Los geosintéticos para la pavimentación de caminos son de bajo costo y añaden una mayor resistencia a los impactos, ya que, al funcionar como refuerzo, protegen el suelo para evitar las grietas y el desgaste por las cargas del tránsito de transporte pesado.

- Decoración y acabados: Al ser un material versátil, resistente a la intemperie y que requiere poco mantenimiento, permite una doble aplicación como recubrimiento exterior de fachadas: la funcional y la decorativa. Emplear paneles hechos de plástico para recubrir los exteriores de los edificios reduce el

mantenimiento y el deterioro de las fachadas, los materiales que están expuestas a factores meteorológicos.

- Instalaciones eléctricas: Al igual que en las instalaciones hidráulicas, los materiales plásticos se encuentran igualmente en las instalaciones eléctricas ya que el material plástico se puede encontrar como parte de los recubrimientos del cableado de un edificio.
- Aislantes y ventanas

4. PROPIEDADES FÍSICAS

Los residuos plásticos y sus propiedades dependen del tipo de material plástico original. Los polímeros cuentan con una gran variedad de propiedades que llegan a ser ideales para su implementación dentro de las construcciones, ya que, según el tipo de plástico, suelen tener características aislantes tanto a temperaturas como a sonidos, e incluso su resistencia permite darle mayor soporte a las edificaciones cuando se aplican como parte de su estructura.

Además de ello el utilizar materiales plásticos para las distintas partes de una edificación, permite que sus componentes sean mucho más duraderos al paso del tiempo, especialmente aquellos que se instalan a la intemperie. Esto permite que se reduzcan los residuos generados por la constante renovación en las construcciones, en contraposición a ello se pueden utilizar plásticos reciclados lo que resulta en un impacto mucho menor al medio ambiente. Aunque como se ha mencionado las propiedades de los residuos plásticos dependen del plástico original al que pertenezcan, de manera general entre sus propiedades destacan:

- Ligereza: Los plásticos suelen ser materiales ligeros en comparación con otros materiales de construcción.
- Resistencia a la corrosión: No se corroen fácilmente, lo que los hace adecuados para ambientes húmedos o salinos.

- Versatilidad: Pueden ser moldeados en una amplia variedad de formas, tamaños y colores.
- Translucidez: Algunos plásticos permiten el paso de la luz, pero no son completamente transparentes.
- Aislamiento térmico: Ofrecen buenas propiedades de aislamiento térmico.
- Aislamiento acústico: Pueden ayudar a reducir la transmisión de sonido.
- Durabilidad: Algunos plásticos son altamente duraderos y resistentes a la degradación.
- Reciclabilidad: Muchos plásticos pueden ser reciclados, aunque la tasa de reciclaje varía según el tipo.
- Costo: generalmente, son más económicos que muchos otros materiales de construcción.
- Mantenimiento: Requieren poco mantenimiento y son fáciles de limpiar.
- Resistencia al fuego: Algunos plásticos son inflamables, pero hay variantes retardantes al fuego.
- Flexibilidad: Pueden ser flexibles o rígidos según la necesidad del diseño.
- Resistencia química: Resistentes a muchos productos químicos, lo que los hace adecuados para ciertos ambientes.

Plástico	Aplicación (Construcción y equipamiento)	Características
PET	Placas para carteles y exhibidores, Geotextiles (pavimentación / caminos), Fibras para alfombras, cortinas, tapicería.	Resistentes a la radiación ultravioleta, el viento, el clima y el vandalismo, lo que posibilita el uso en carteles a la intemperie, que se verán bien año tras año. Mayor resistencia al impacto que las placas de acrílico modificado. Transparente, Irrompible, Liviano e Impermeable
PEAD	Cañerías y tuberías Revestimiento de cables Caños para gas, telefonía, agua potable, minería, drenaje y uso sanitario - Macetas - Bolsas tejidas. Paneles Geomembranas, Geotextiles y recubrimientos de arcilla geosintéticos (Geosynthetic-Clay Liners) para rellenos sanitarios y otros centros de disposición de residuos. También se utiliza PEAD reciclado, bajo la forma de "madera plástica" en aplicaciones a la intemperie.	Resistente a las bajas temperaturas. Irrompible. Liviano. Impermeable. Los paneles con un núcleo sinusoidal de PEAD no son afectados por la humedad, son resistentes al agua y además son durables, de fácil instalación, livianos, económicos y de bajo mantenimiento.
PVC	Membranas o láminas para impermeabilizar suelos o estructuras Láminas para carteles y exhibidores. - Cañerías ranuradas y perforadas para drenajes de suelos - Cañerías de distribución de agua Potable (en redes públicas o domiciliarias) - Cañerías de Riego Cañerías de Drenajes cloacales y pluviales (Públicos y domiciliarios) Bajadas de techos y canaletas Conductos de instalaciones eléctricas, telefónicas o comunicaciones (públicas o domiciliarias) Venteos o aspiraciones - Electricidad: Recubrimiento aislante de cables Cajas de distribución eléctrica Enchufes y tomacorrientes - Recubrimientos Paredes. Con perfiles o láminas y con papeles vinílicos Pisos y techos Zócalos y	Gran versatilidad, ya que pueden obtenerse desde piezas totalmente rígidas hasta otras muy flexibles, opacas, cristalinas y/o coloreadas, compactas o espumadas, de pequeño o gran tamaño, en la forma que sea necesario, desde film o telas hasta altos espesores. Bajo peso Resistente a la intemperie, permite ahorros económicos por su bajo mantenimiento, ya que no se pinta. Alta tenacidad: soporta altos requerimientos mecánicos como en las tuberías de conducción de agua a presión. Fácil instalación Baja toma de humedad Resistencia a la abrasión y al impacto. Resistente a la putrefacción,

Plástico	Aplicación (Construcción y equipamiento)	Características
	molduras - Alfombras, cortinas y tapizados. - Aberturas Ventanas completas Puertas Persianas Paneles divisorios y cercos - Muebles de int. o exterior - Cúpulas o techos transparentes - Carpas y recintos inflables - Sanitarios	corrosión y ataque de insectos.
PEBD	Revestimiento de pisos. Recubrimiento de obras en construcción Palletizado (film termocontraíble) de ladrillos, tejas, etc. Tuberías para riego	Flexible. Liviano. Transparente. Impermeable. Económico
PP	Alfombras y bases de alfombras Caños e instalaciones para agua fría y caliente. Cajas de electricidad. Enchufes, perfiles, muebles. Membranas para rellenos sanitarios. Sacos y Bolsas de rafia tejidas para cargar cemento, arena, y otros materiales granulados o en polvo. Membranas de asfalto modificado para techos comerciales tanto en construcción nueva como retechado. Fibras del PP para reforzar el concreto. Baldes de pintura y enduido. Caños corrugados. Canillas. Caños para desagüe. Rejillas	Alta resistencia a la abrasión Resistente a la temperatura (hasta 135°). Impermeable. Irrompible. Brillo. Liviano. Transparente en películas. Alta resistencia química. Las bolsas y sacos soportan pesos de hasta 2.500 kg. Las membranas para techos tienen mayor resistencia al agua, y al calor, larga vida útil (más de 20 años)
PS	Placas aislantes para la construcción	Ignífugo. Liviano. Irrompible (alta resistencia al impacto en aplicaciones de PS con caucho) Impermeable sólo a líquidos, no a ciertos vapores o gases. Transparencia en algunas aplicaciones. Fácil limpieza

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

Los plásticos tienen un elevado poder calorífico, siendo normalmente considerados para su valorización energética.

6. NORMATIVA TÉCNICA

Normativa UNE-EN

- UNE 53972:2008: Plásticos. Polipropileno (PP) reciclado. Características y clasificación.
- UNE 53979:2001: Plásticos. Poli (cloruro de vinilo) (PVC) reciclado. Características y métodos de ensayo.
- UNE-EN 13440:2003: Envases y embalajes. Tasa de reciclado. Definición y método de cálculo.
- UNE-EN 13965-1:2007: Caracterización de residuos. Terminología. Parte 1: Términos y definiciones relativos a los materiales.
- UNE-EN 13965-2:2007: Caracterización de residuos. Terminología. Parte 2: Términos y definiciones relativos a la gestión.
- UNE-EN 15342:2008: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de poliestireno (PS).
- UNE-EN 15343:2008: Plásticos. Plásticos reciclados. Trazabilidad y evaluación de conformidad del reciclado de plásticos y contenido en reciclado.
- UNE-EN 15344:2008: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de polietileno (PE).
- UNE-EN 15345:2008: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de polipropileno (PP).
- UNE-EN 15346:2008: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de poli (cloruro de vinilo) (PVC).
- UNE-EN 15347:2008: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de residuos plásticos.
- UNE-EN 15348:2008: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de poli (tereftalato de etileno) (PET).
- UNE-EN ISO 1872-1:2001: Plásticos. Materiales de polietileno (PE) para moldeo y extrusión. Parte 1: Sistemas de designación y bases para las especificaciones.
- UNE-EN ISO 1872-2:2007: Plásticos. Materiales de polietileno (PE) para moldeo y extrusión. Parte 2: Preparación de probetas y determinación de propiedades.
- UNE-EN ISO 1133:2006: Plásticos. Determinación del índice de fluidez de materiales termoplásticos en masa (IFM) y en volumen (IFV).
- UNE-EN ISO 1183-1:2004: Plásticos. Métodos para determinar la densidad de plásticos no celulares. Parte 1: Método de inmersión, método del picnómetro líquido y método de valoración.
- EN ISO 178:2011: Plásticos. Determinación de las propiedades de flexión.
- UNE-EN ISO 1183: Plásticos. Métodos para determinar la densidad de plásticos no celulares.
- UNE EN ISO 527-2:2012. Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 2: Condiciones de ensayo de plásticos para moldeo y extrusión.
- UNE 53415-1:2000 EX Sistemas de canalización en materiales plásticos para instalaciones

Normativa Española

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG3): Elementos de señalización, balizamiento y defensa de las carreteras. Art. 703. 28 de diciembre de 1999.
- UNE 135352:2006: Señalización vertical y balizamiento. Control de calidad "in-situ" de elementos en servicio. Características y métodos de ensayo.
- UNE 135360:1994 EX: Señalización vertical. Balizamiento. Hitos de vértice en material polimérico. Características, medidas y métodos de ensayo.
- UNE 135362:1994 EX: Señalización vertical. Balizamiento. Hitos de arista de policloruro de vinilo (PVC rígido).

Normativa UNE-EN

- de agua caliente y fría. Polibutileno (PB)
- UNE 53331:1997 IN: Plásticos. Tuberías de poli(cloruro de vinilo) (PVC) no plastificado y polietileno (PE) de alta y media densidad. Criterio para la comprobación de los tubos a utilizar en conducciones con y sin presión sometidos a cargas externas.
- UNE 53332:1997 ERRATUM: Plásticos. Tubos y accesorios de poli(cloruro de vinilo) no plastificado para canalizaciones subterráneas, enterradas o no y empleadas para la evacuación y desagües. Características y métodos de ensayo.
- UNE 53333/1M:2000: Plásticos. Tubos de polietileno de media y alta densidad para canalizaciones enterradas de distribución de combustibles gaseosos. Características y métodos de ensayo.
- UNE 53367:2000: Plásticos. Tubos de polietileno PE 32 y PE 40 para microirrigación. Características y métodos de ensayo.
- UNE 53415-1:2000 EX: Sistemas de canalización en materiales plásticos para instalaciones de agua caliente y fría. Polibutileno (PB). Parte 1: Generalidades.
- UNE 53415-2:2000 EX: Sistemas de canalización en materiales plásticos para instalaciones de agua caliente y fría. Polibutileno (PB). Parte 2: Tubos.
- UNE 53415-3:2000 EX: Sistemas de canalización en materiales plásticos para instalaciones de agua caliente y fría. Polibutileno (PB). Parte 3: Accesorios.
- UNE 53415-4:2000 EX: Sistemas de canalización en materiales plásticos para instalaciones de agua caliente y fría. Polibutileno (PB). Parte 4: Aptitud al uso del sistema.
- UNE 53962:2000 EX: Sistemas de canalización en materiales plásticos para saneamiento subterráneo o no, con presión. Poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U). Especificaciones para tubos, accesorios y el sistema.
- UNE 53965-1:1999 EX: Plásticos. Compuestos de polietileno PE 80 y PE 100 para la fabricación de tubos y accesorios. Características y métodos de ensayo. Parte 1: Compuestos para tubos y accesorios para la conducción de agua.
- UNE 53965-2:1999 EX: Plásticos. Compuestos de polietileno PE 80 y PE 100 para la fabricación de tubos y accesorios. Características y métodos de ensayo. Parte 2: Compuestos para tubos y accesorios para la conducción de gas.
- UNE 53966:1999 EX: Plásticos. Tubos de polietileno PE 100 para conducciones de agua a presión. Características y métodos de ensayo.
- UNE 53967:1997 IN: Plásticos. Espumas flexibles de poliuretano (PUR). Tolerancias en el valor nominal de las características de las espumas de PUR tipo éter fabricadas en bloque.
- UNE 53976:1998: Plásticos. Bovedillas de poliestireno expandido (EPS) para forjados unidireccionales hormigonados en obra.
- UNE 53987:2000: Plásticos. Materiales poliméricos celulares flexibles. Determinación de la fuerza de adherencia de láminas de espuma de poliuretano (PUR) con diferentes soportes.
- UNE 53991:1996 IN: Plásticos. Reparación y revestimiento interior de depósitos metálicos, para el almacenamiento de productos petrolíferos líquidos, con plásticos reforzados.
- UNE 53994:2000 EX: Plásticos. Tubos y accesorios de poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U) y polietileno (PE) para drenaje enterrado en obras de edificación e ingeniería civil.
- UNE 53972:2008: Plásticos. Polipropileno (PP) reciclado. Características y clasificación.
- UNE 53978:2008: Plásticos. Materiales de polietileno (PE) reciclado. Características y clasificación.
- UNE 53979:2001: Plásticos. Poli (cloruro de vinilo) (PVC) reciclado. Características y métodos de ensayo.
- UNE-EN 1053:1996: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Sistemas de canalizaciones termoplásticas para aplicaciones sin presión. Método de ensayo de estanquidad al agua.
- UNE-EN 1054:1996: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Sistemas de canalizaciones termoplásticas para la evacuación de aguas residuales. Método de ensayo de estanquidad al aire de las uniones.
- UNE-EN 1055:1996: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Sistemas de canalizaciones termoplásticas para la evacuación de aguas residuales en el interior del edificio. Método de ensayo de resistencia cíclica a temperatura elevada.
- UNE-EN 1056:1996: Sistemas de conducción y canalización en materiales plásticos. Tubos y accesorios plásticos. Método de exposición directa a la intemperie.
- UNE-EN 12061:1999: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Accesorios termoplásticos. Método de ensayo de resistencia al impacto.
- UNE-EN 12095:1997: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Abrazaderas para sistemas de evacuación de aguas pluviales. Método de ensayo de resistencia de la abrazadera.
- UNE-EN 12099:1997: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Materiales y componentes de tubería de polietileno. Determinación del contenido en materiales volátiles.

Normativa Española

- Características, medidas y métodos de ensayo.
- UNE 135363:1998: Señalización vertical. Balizamiento. Balizas cilíndricas permanentes en material polimérico. Características, medidas y métodos de ensayo.
- UNE-EN 12899-2:2010: Señales verticales fijas de circulación. Parte 2: Bolardos internamente iluminados.
- UNE-EN 12899-3:2010: Señales verticales fijas de circulación. Parte 3: Delineadores y dispositivos retrorreflectantes.
- UNE-EN 13422:2007 + A1:2009: Señalización vertical de carreteras. Dispositivos de advertencia portátiles deformables y delineadores. Señalización de tráfico portátil para carreteras. Conos y cilindros

Normativa UNE-EN**Normativa Española**

- UNE-EN 12293:2000: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Tubos y accesorios termoplásticos para agua caliente y fría. Método de ensayo para determinar la resistencia de los acoplamientos de unión a ciclos de temperatura.
- UNE-EN 1329-1:1999: Sistemas de canalización en materiales plásticos para evacuación de aguas residuales (a baja y a alta temperatura) en el interior de la estructura de los edificios. Poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U). Parte 1: Especificaciones para tubos, accesorios y el sistema.
- UNE-EN 1451-1:1999: Sistemas de canalización en materiales plásticos para evacuación de aguas residuales (a baja y a alta temperatura) en el interior de la estructura de los edificios. Polipropileno (PP). Parte 1: Especificaciones para tubos, accesorios y el sistema.
- UNE-EN 1452-1:2000: Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua. Poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U). Parte 1: Generalidades.
- UNE-EN 1452-5:2000: Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua. Poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U). Parte 5: Aptitud al uso del sistema.
- UNE-EN 1455-1:2000: Sistemas de canalización en materiales plásticos para la evacuación de aguas residuales (a baja y a alta temperatura) en el interior de la estructura de los edificios. Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS). Parte 1: Especificaciones para tubos, accesorios y el sistema.
- UNE-EN 1519-1:2000: Sistemas de canalización en materiales plásticos para la evacuación de aguas residuales (a baja y a alta temperatura) en el interior de la estructura de los edificios. Polietileno (PE). Parte 1: Especificaciones para tubos, accesorios y el sistema.
- UNE-EN 1565-1:1999: Sistemas de canalización en materiales plásticos para evacuación de aguas residuales (a baja y a alta temperatura) en el interior de la estructura de los edificios. Mezclas de copolímeros de estireno (SAN+PVC). Parte 1: Especificaciones para tubos, accesorios y el sistema.
- UNE-EN 1566-1:1999: Sistemas de canalización en materiales plásticos para evacuación de aguas residuales (a baja y alta temperatura) en el interior de la estructura de los edificios. Poli (cloruro de vinilo) clorado (PVC-C). Parte 1: Especificaciones para tubos, accesorios y sistema.
- UNE-EN 1778:2000: Valores característicos para las construcciones termoplásticas soldadas
- UNE-EN 233:2000: Revestimientos

7. NORMATIVA AMBIENTAL

- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, sobre la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición: Regula la gestión de los residuos generados en obras de construcción y demolición, incluyendo el vidrio procedente de estas actividades.
- Ley 11/1997, de 24 de abril, de envases y residuos de envases: Esta ley y sus modificaciones posteriores establecen las obligaciones de los productores y gestores de envases, incluyendo los de vidrio, para garantizar su correcta gestión y reciclaje.
- Real Decreto 252/2006, de 3 de marzo: Revisa los objetivos de reciclado y valorización de la Ley 11/1997, estableciendo metas específicas para el reciclaje de vidrio y otros materiales de envase.
- Orden TED/646/2023, de 9 de junio, por la que se establecen los criterios para determinar cuándo los residuos termoplásticos sometidos a tratamientos mecánicos y destinados a la fabricación de productos plásticos dejan de ser residuo con arreglo a la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular
- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos: Aunque es una normativa europea, España la ha transpuesto a su legislación nacional. Esta directiva establece objetivos de reciclaje y reutilización para varios materiales, incluyendo el vidrio.
- Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular: Esta ley reciente introduce el concepto de economía circular y establece nuevas obligaciones y objetivos para la gestión de residuos, incluyendo el vidrio
- Siguiendo las disposiciones del “DECRETO 112/2012, de 26 de junio, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición”, en el punto 1 del artículo 8: “Los residuos de construcción y demolición procedentes de obra mayor deberán separarse en las siguientes fracciones cuando de forma individualizada para cada una de dichas fracciones, la cantidad prevista de generación para el total de la obra supere las siguientes cantidades, de acuerdo con la codificación de la lista europea de residuos:
 - a) Hormigón (LER 170101): 10 t.
 - b) Ladrillos (LER 170102), tejas y materiales cerámicos (LER 170103): 10 t.
 - c) Metal (LER 1704, seleccionando los dos últimos dígitos en función del metal de que se trate): en todos los casos.
 - d) Madera (LER 170201): en todos los casos.
 - e) Vidrio (LER 150107): 0,25 t.
 - f) Plástico (LER 150102): en todos los casos.
 - g) Papel y cartón (LER 150101): 0,25 t.
 - h) Yeso de falsos techos, molduras y paneles (LER 170802): en todos los casos.

8. MANUALES

Manual de incorporación de residuos plásticos al asfalto-GIZ

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES

Algunos fabricantes*:

- ZICLA. Baldosas y mobiliario urbano a partir de plásticos y compuestos reciclados. www.zicla.com
- Roofeco System. Tejas plásticas de material reciclado. <https://www.roofecosystem.com/>
- Alser. Polipropileno Split, Multifilamento. <https://www.plasticosalser.com/>
- Recycling fibers. Fibras recicladas. <https://recyclingfibers.com/>
- Bilbo Plastik. PVC Flexible, PVC Rígido, PE, PP, PS, ABS, PA, PMMA, PC y otros, en forma de Granzas, Triturados, Micronizados o Scraps. <https://bilboplastik.com/>
- Plásticos Urteta. Fabricación de moldes y transformación de plásticos. Plásticos Urteta : PLÁSTICOS URTETA S.L.
- Jolas S.L. Mobiliario urbano. <https://jolas.benito.com/>

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.13. Polvo de Waelz (ferrosita)

1. DESCRIPCIÓN



El polvo de acería es un residuo producido en hornos de arco eléctrico de la industria siderúrgica durante la fabricación del acero. Los polvos de acería suelen estar constituidos principalmente por

óxidos metálicos simples o complejos, óxidos de hierro y no ferrosos, como la zincita (ZnO) y franklinita (ZnFe_2O_4), con un tamaño de partícula por debajo de 40 micras. Si bien los componentes mayoritarios de los polvos de acería son óxidos de hierro, estos se caracterizan por presentar un contenido importante de metales pesados, como plomo, zinc y cadmio, los cuales son catalogados como residuos peligrosos y contaminantes.

Sólo el 50% de polvos de acería producidos mundialmente son reciclados y valorizados para la recuperación del Zinc debido al alto coste de los procesos de recuperación actuales. Actualmente, los polvos de acería no tratados son simplemente sometidos a procesos de estabilización y almacenados en depósitos de residuos peligrosos.

Debido a sus propiedades físicas y químicas, los polvos residuales de estas acerías son altamente contaminantes y su vertido puede originar problemas ambientales. El sistema de reciclaje permite la recuperación con alta pureza y calidad metalúrgica del **hierro y óxido de zinc** integrados en el polvo de acería, y genera además escoria inerte apta para su uso en cementeras.

En el momento actual, la mejor tecnología disponible demostrada (BDAT) para la revalorización del polvo de acería son los procesos de alta temperatura, entre los que destaca, por su utilización, capacidad y calidad de tratamiento el **proceso Waelz**. En el Estado Español existe una sola planta Waelz, **ASER**, en Bilbao.

Los polvos residuales de acería se introducen en un horno rotativo donde se lleva a cabo la separación de los metales pesados (especialmente Zn y Pb) junto con coque utilizado como combustible y como agente reductor de los elementos oxidados y con cal utilizado como agente escorificante. El Zn y el Pb son reoxidados formándose así el óxido de Waelz.

La recuperación de Zn de polvos de acería mediante el proceso Waelz genera como subproducto una escoria denominada **Ferrosita** o escoria Waelz. La Ferrosita® se obtiene como un coproducto del proceso de producción de óxido de Waelz, es decir, hasta la etapa del horno, el producto y el coproducto comparten una línea de producción. La escoria que sale del horno a temperaturas en torno a 1000-1100 °C cae a un foso con agua, donde por choque térmico se granula y enfría a temperatura ambiente. La Ferrosita®, se extrae del foso y se almacena en su correspondiente área.

Este subproducto, con elevadas cantidades de óxidos de hierro, óxido de calcio y sílice, puede ser objeto de utilización por parte de otras empresas mediante la incorporación como recurso a otro ciclo productivo.

2. TIPOS

La cantidad y el tipo de las partículas emitidas por los hornos eléctricos dependen de muchas variables. En general los polvos de acería están compuestos por tres grupos de partículas: partículas producidas por separación mecánica de la escoria, inclusiones no metálicas generadas por la expulsión de gotas de metal líquido hacia la atmósfera del

horno y partículas de metales volátiles.

En función del tipo de mezcla que se introduce en el horno, de las condiciones de operación y de las condiciones de enfriamiento de esta, se consideran dos tipos de escoria: rica en sílice, es decir, escoria ácida, o rica en cal, escoria básica.

3. USOS Y APLICACIONES

La escoria producida puede utilizarse como material de construcción para aplicaciones en la industria del cemento y como agregados bituminosos. En España, se utiliza bajo su marca - Ferrosita®.

En el estado español, la escoria Waelz ha sido utilizada como material de relleno en diferentes tipos de obras civiles como,

por ejemplo, nivelación de terrenos, en zonas deportivas, en diques, como material filtrante para drenes subterráneos o como subcapa de rodadura. También se ha empleado en la fabricación de cemento, de lana de roca y para el chorreado de piezas. Además, se han realizado estudios para la incorporación de estos subproductos en la industria cerámica

4. PROPIEDADES FÍSICAS

La escoria es un subproducto multicomponente que presenta tres óxidos mayoritarios: de hierro, de calcio y de silicio que juntos componen más del 75 % del total de la escoria Waelz. El resto, lo forman hasta ocho óxidos más: de manganeso, de magnesio y de aluminio. Además, en su composición se pueden encontrar óxidos potencialmente tóxicos: de zinc, de

plomo, así como trazas de óxido de cromo, molibdeno y cobre. Presenta cantidades significativas de compuestos considerados como modificadores de red (FeO, CaO y MgO) que incrementan la cantidad de fase líquida y disminuyen su viscosidad favoreciendo tanto la sinterización como la densificación de la muestra.

Características físicas y mecánicas

Estado físico	Sólido
Color	Negro
Plasticidad	No plástico
pH (L/S=10/1)	10,5-11
Densidad aparente (Tm/m3)	3,65±0,4
Índice de lajas	FI ₁₀
Expansividad	V _{3,5}
Absorción en agua (%)	≤7,0
Caras de Fractura	C _{50/30}
Coefficiente de Pulimento Acelerado	PSV ₆₂
Resistencia a la fragmentación	LA ₅₀

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

La escoria de Waelz resulta ser un material no reactivo, no inflamable, no corrosivo y no tóxico al encontrarse dentro de los límites permisibles, por lo que se considera como un material no peligroso.

6. NORMATIVA TÉCNICA

No cuenta con normativa técnica ni normativa ambiental, estatal o autonómica. Es un producto que está en investigación. A pesar de ello tiene declaración ambiental de producto.

7. NORMATIVA AMBIENTAL

En Europa según el Catálogo Europeo de Residuos con el código 10 02 01, a los polvos de acería se los considera como residuos peligrosos, así mismo en EE.UU. la EPA los considera como residuos peligrosos de Clase I, Código K061, siendo el Pb, y Cd las especies consideradas más peligrosas, mientras que el zinc debido a su cantidad relativamente alta, es el compuesto de mayor interés.

8. MANUALES

Declaración Ambiental de Producto Conforme a las normas ISO 14025 y EN 15804:2012+A2:2019 para: FERROSITA®

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES

Algunos fabricantes*:

- Befesa Zinc Aser, Ferrosita® S.A.U. <https://www.befesa.com/>

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.14. Reciclado in situ de firmes

1. DESCRIPCIÓN



En el reciclado in situ en frío toda la operación de reciclado se realiza sobre la misma carretera mediante un tren de equipos formados por una fresadora/recicladora o fresadora/estabilizadora, equipos de compactación, tanques de agua, cisternas de emulsión o lechada de cemento, y en su caso, distribuidores de cemento y de áridos de aportación. El firme que se va a reciclar se fresa, se mezcla con agua y con emulsión o cemento y se compacta energéticamente, sin extraerlo del firme en el que se encuentra.

Hay una técnica de reciclado in situ en la que se calienta el pavimento bituminoso para remezclarlo posteriormente pudiéndose añadir betún o áridos, pero actualmente no se utiliza en las carreteras españolas.

El reciclado in situ se hace por franjas de aproximadamente 2

m de anchura, y en una profundidad variable.

El firme reciclado necesita de un tiempo de espera antes de permitir la circulación, especialmente en el reciclado con emulsión.

Es necesario colocar capas bituminosas sobre el firme reciclado para proteger el material de arranques y mejorar la regularidad superficial.

Es la técnica de reciclado de firmes que lleva a mayores ahorros económicos al no ser necesario el transporte del material fresado a la central ni el de vuelta del fabricado al extendido si se compara con el reciclado en planta. El principal interés no obstante se debe a que no se generan residuos de fresado. Además, hay menos molestias debidas a la circulación de obra y menos deterioros en la red utilizada por el tráfico de obra.

2. TIPOS

El reciclado con cemento puede aplicarse a capas granulares exclusivamente, a capas de mezcla bituminosa o tratadas con cemento o a una superposición de estas sobre capas granulares. Con la maquinaria disponible actualmente pueden reciclarse espesores de hasta 35 cm de una sola pasada, aunque los más usuales son los comprendidos entre 20 y 30 cm. El cemento se dosifica con el objetivo de conseguir un material similar a un suelo-cemento. El material reciclado, una vez protegida la superficie, puede abrirse inmediatamente al tráfico, aunque precisa posteriormente de capas bituminosas para regularizar la rodadura y proteger la capa reciclada.

En el reciclado con emulsión al material reciclado se le añade el contenido necesario de emulsión para conseguir unas determinadas características de cohesión y de insensibilidad al agua. El material resultante del fresado tiene una granulometría relativamente abierta, con pocos finos. Durante la operación de reciclado puede añadirse filler. El reciclado con emulsión de capas bituminosas exclusivamente se distingue del de capas fundamentalmente granulares en la dotación de emulsión necesaria. El espesor de capa reciclada con emulsión es del orden de 6 a 15 cm.

Los tipos de reutilización in situ con emulsión a emplear son los incluidos en la tabla.

	TIPO I	TIPO II	TIPO III
Material reutilizado del firme existente	Capa bituminosa (espesor ≤ 5 cm) + material granular	Capa(s) bituminosa(s) (espesor de 5 a 10 cm) + base no bituminosa	Mezclas bituminosas
Proporción de material bituminoso (%)	≤ 60	60-100	100
Espesor reutilizado (cm)	8-15	8-15	6-12(*)

(*) Excepcionalmente se podrá llegar a los 15 cm de espesor siempre que en el tramo de prueba se compruebe que se pueden obtener los valores de densidad y resistencia mecánica con el equipo de compactación aprobado

3. USOS Y APLICACIONES

El reciclado in situ con cemento es una técnica muy interesante para carreteras que necesitan una reconstrucción total, un ensanche o una mejora del perfil. Es un tratamiento muy eficaz con el que se consiguen de manera económica firmes de gran robustez y se homogeniza la sección transversal. La técnica de reciclado con cemento es muy versátil en cuanto a la realización de trabajos bajo tráfico, posibilidad de simultanear las tareas de reciclado con la construcción in situ de nuevas capas en variantes, realización de ensanches, corrección de perfiles y peraltes, etc. Los

elevados rendimientos conseguidos minimizan además las molestias al tráfico.

El reciclado con emulsión no aumenta notablemente la capacidad de soporte del firme. Se trata únicamente de un tratamiento previo para reconstituir la continuidad de una capa deteriorada de manera que el refuerzo posterior se apoye en una capa sana, o de impermeabilizar unas capas granulares sensibles al agua antes de reforzarlas.

4. PROPIEDADES FÍSICAS

En el reciclado con cemento se requiere que la resistencia media a compresión a los siete días del material resultante sea superior a 2,5 MPa, y que el contenido de cemento sea superior al 3,5% de la masa total en seco del material a reutilizar.

En el reciclado con emulsión se fijan las siguientes resistencia y sensibilidades al agua.

TIPO DE REUTILIZACIÓN	Categoría de tráfico pesado	Resistencia Húmeda (kPa)	Resistencia conservada (%)
RFE III	T2 y superior	2,0	75
	T3 y T4	1,5	70
RFE II	T3 y T4	1,0	60
RFE I	T3 y T4	0,75	50

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

Reciclado con cemento

- El espesor mínimo que puede reciclarse es del orden de 20 cm, para evitar roturas por tratarse de capas rígidas. El espesor máximo, limitado por la capacidad de los equipos de reciclado y los de compactación, es del orden de 35 cm.
- Adquiere una gran resistencia a largo plazo y por tanto una gran capacidad de soporte de manera que es fácil rehabilitar firmes muy deteriorados.
- Pueden tratarse firmes antiguos contaminados con cantidades reducidas de arcilla. En firmes muy contaminados puede ser necesario un tratamiento previo con cal.
- Al admitir un gran intervalo de espesores es fácil poder llevar a cabo correcciones de perfil longitudinal o transversal aportando ahorros.
- Debe curarse para permitir que fragüe adecuadamente.
- Si se protege el curado adecuadamente puede abrirse inmediatamente al tráfico.
- Forma grietas de retracción, que pueden reflejarse en superficie y por tanto necesitan de sellados posteriores.

Reciclado con emulsión

- El reciclado con emulsión necesita un tiempo de maduración sin cubrir, para que por el efecto combinado de la temperatura y de la acción del tráfico

se elimine el agua remanente y se adquiera cohesión. Este tiempo puede ser de unas 2 semanas en épocas de calor. Durante este tiempo el material puede abrirse al tráfico, pero pueden producirse arranques superficiales especialmente en zonas de giro o de salida o entrada de vehículos o en pendientes fuertes. En estos casos puede ser necesario proteger el reciclado con una gravilla.

- El espesor mínimo de tratamiento es del orden de 6 cm, ya que el material reciclado en capa delgada es muy difícil de compactar dados los tamaños mínimos de los fragmentos de los materiales fresados y además en la operación de reciclado con espesores menores se producen arrastres y heterogeneidades. El espesor mínimo no debe ser tampoco inferior al espesor de la capa que se va a reciclar.
- El espesor máximo lo fija la necesidad de que se elimine el agua de la emulsión y adquiera cohesión, lo que suele ser difícil en espesores superiores a 12 - 15 cm. Cuanto menor es el espesor más rápidamente adquiere cohesión el material reciclado. Intervienen otros factores como la temperatura del pavimento, la facilidad de drenaje del agua, el tráfico que circula por la capa en el período de curado (el paso de vehículos ayuda a la eliminación del agua), o que se produzcan lluvias en este período, aunque con soportes permeables y aportando cemento puede llegarse hasta 20 cm, lo que se considera un máximo absoluto.

6. NORMATIVA TÉCNICA

Normativa UNE-EN	Normativa País Vasco	Normativa estatal
Especificaciones • No hay especificaciones UNE-EN sobre reciclado in situ.	No está recogido el reciclado in situ en la NFPV porque no se aplica a firmes de nueva construcción.	Los siguientes documentos incluyen de manera específica al reciclado in situ: • Norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes". • Orden Circular OC 2/2023 sobre reutilización de capas de firmes y pavimentos bituminosos.

7. NORMATIVA AMBIENTAL

No hay normativa ambiental sobre reciclado in situ.

8. MANUALES

- Pavement recycling, AIPCR, 2003.
- Manual de reciclado de firmes in situ con cemento, leca, 2013.
- Catálogo de residuos del CEDEX.

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES

Algunos fabricantes*:

- Asfaltómeros
- Collosa
- Ecoasfalt
- Eiffage
- Firmes ecológicos Soltec
- Probisa
- Sacyr
- Sorigué

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

6.15. Vidrio reciclado

1. DESCRIPCIÓN



El vidrio es un material inorgánico que se caracteriza por ser duro, frágil y transparente. No tiene una estructura cristalina desde el punto de vista cristalográfico, por lo que se considera amorfo. Se

puede encontrar en la naturaleza, pero normalmente es fabricado mediante el calentamiento de arena de sílice (SiO_2), carbonato de sodio (Na_2CO_3) y caliza (CaCO_3).

El vidrio es ideal para el reciclaje, ya que puede ser reciclado innumerables veces sin perder sus propiedades. La mayor parte del vidrio reciclado se utiliza para fabricar nuevos envases, y una pequeña parte se destina a la producción de materiales de construcción.

Como material reciclado, el vidrio puede usarse como agregado en cemento, como material de aislamiento o como

componente en ladrillos y productos cerámicos sanitarios, entre otros usos. Además, el reciclaje de vidrio para su uso en superficies acristaladas es una aplicación común. El vidrio representa aproximadamente el 10% de los residuos sólidos urbanos (RSU) municipales.

El primer paso en el reciclaje del vidrio es su limpieza, donde se utilizan productos químicos para eliminar suciedad, arena o grasa. Luego, se retiran los elementos de plástico, papel u otros residuos. Una vez limpio, el vidrio se pasa por tamices y martillos para alcanzar la granulometría deseada. Después, se utiliza un imán para eliminar cualquier vestigio de metal. El vidrio triturado y preparado para ser fundido se llama calcín. El calcín se calienta a unos 1600 grados, mezclado al 50% con arena, hidróxido de sodio y caliza para fabricar nuevos productos que tendrán las mismas propiedades que el vidrio fabricado directamente de recursos naturales.

2. TIPOS

Una posible clasificación de los vidrios según su composición química es la siguiente:

- Vidrio sodo-cálcico: Es el tipo de vidrio más común, utilizado en ventanas y envases. Se compone principalmente de sílice (SiO_2), óxido de sodio (Na_2O) y óxido de calcio (CaO).
- Vidrio plomado: Contiene óxido de plomo (PbO), lo que le confiere una mayor densidad y capacidad de bloqueo de radiaciones, siendo utilizado en aplicaciones como cristales de protección radiológica.
- Vidrio borosilicato: Este vidrio incluye óxido de boro (B_2O_3), lo que le proporciona una alta resistencia a los choques térmicos y químicos. Es común en utensilios de laboratorio y cocina.
- Vidrios especiales: Incluyen una variedad de composiciones diseñadas para aplicaciones específicas, como vidrios de alta resistencia, vidrios ópticos y vidrios con propiedades eléctricas especiales.

Según su uso en la construcción, los vidrios se clasifican en dos tipos principales:

- Vidrios básicos: Estos vidrios se obtienen directamente de la transformación de la materia prima. También se conocen como vidrios recocidos, ya que se someten a un tratamiento de recocido al final del proceso de fabricación para disminuir las tensiones internas. Son los vidrios más comunes y se utilizan en una amplia gama de aplicaciones.
- Vidrios procesados: Estos vidrios se producen a partir de vidrio float básico, ya sea incoloro o de color. Los vidrios procesados pueden cumplir varias funciones importantes, dependiendo de su conformación:
 - Vidrios de seguridad: Incluyen vidrios laminados y templados, diseñados para reducir el riesgo de lesiones en caso de rotura.
 - Vidrios aislantes térmicos: Como el vidrio de doble acristalamiento (DVH), que mejora la eficiencia energética de los edificios.
 - Vidrios aislantes acústicos: Vidrios diseñados para reducir la transmisión de sonido, mejorando el confort acústico en interiores decorativos.

3. USOS Y APLICACIONES

El vidrio que por distintas circunstancias no se utilice en la fabricación de nuevos envases puede ser reciclado en otros usos, fundamentalmente en el ámbito de la construcción.

Cuando se use en aplicaciones relacionadas con la construcción, el vidrio debe ser machacado y cribado para producir una granulometría específica. Puede ser necesario adicionalmente procesos de separación magnética o por corrientes para eliminar el resto residual de elementos férricos o papel mezclados con el calcín.

El empleo de vidrio como árido en carreteras es muy limitado a nivel mundial y en España, aparte de algún estudio de laboratorio, no ha habido aplicaciones a escala real. En otros países se ha reciclado como árido en mezclas bituminosas o en hormigón, aunque a pequeña escala. En esta última

aplicación debe tenerse en cuenta que, aunque el vidrio es un material inerte, pueden darse reacciones entre la sílice amorfa del vidrio y los álcalis del cemento con posibles expansiones.

En los países donde se ha utilizado en mezclas bituminosas se ha colocado en capas de rodadura para facilitar la visibilidad de la carretera en períodos nocturnos, y en capas intermedias o de base como un árido más. La dosificación del vidrio en las mezclas bituminosas de rodadura es del orden de 5 al 10%, llegando en capas de base al 15%. Los tamaños son inferiores generalmente a 10-12 mm, y los mejores resultados se obtienen con tamaños inferiores a 5 mm. Los principales problemas en capa de rodadura son los desprendimientos de partículas por la falta de adhesividad del cristal con el betún lo que a veces se soluciona con adición de cal como fíler. A

veces se han producido deslumbramientos por dotaciones elevadas de vidrio.

Otros posibles usos, son como **material de relleno o material de drenaje**, como árido (fino o grueso) en la **fabricación del hormigón** o su reciclado para la fabricación de **vidrio laminado** a partir del vidrio machacado y su tratamiento térmico.

El vidrio reciclado es la materia prima para fabricar microesferas de vidrio, utilizadas en la señalización vial para mejorar la visibilidad en condiciones de baja luminosidad. Otra posible aplicación del vidrio reciclado es la elaboración de lana mineral de vidrio, un material aislante ampliamente utilizado para mejorar la eficiencia energética de los edificios. Además, el vidrio reciclado se emplea en diversas aplicaciones, como la fabricación de mosaicos, azulejos y

otros productos decorativos.

También se ha utilizado para fabricar un conglomerante puzolánico (ECO-STABIL®). El conglomerante está formado por vidrio y reactivos básicos y tiene la peculiaridad que es prácticamente transparente y el producto final al mezclarse con áridos tiene un aspecto terrizo conservando el aspecto natural, la textura y el color del árido utilizado, lo que le permite integrarse perfectamente con el paisaje y el entorno urbano, diferente a la dureza estética que ofrecen otros pavimentos del mercado. Se utiliza principalmente en caminos o aparcamientos en los que se busque una finalidad medioambiental, sin recubrimiento. En el País Vasco se ha empleado en vías verdes y sendas fluviales.

4. PROPIEDADES FÍSICAS

El vidrio es un material amorfo, lo que significa que carece de una estructura cristalina definida, otorgándole propiedades físicas únicas. Su transparencia permite el paso de la luz, y posee una alta resistencia a la compresión, aunque es frágil frente a esfuerzos de tracción y flexión. Con una densidad generalmente alrededor de 2.5 g/cm^3 , el vidrio también tiene una baja conductividad térmica, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de aislamiento térmico. Además, es resistente a la mayoría de los productos químicos, excepto a los ácidos fuertes como el ácido fluorhídrico.

En el ámbito de la construcción, los vidrios sodo-cálcicos presentan varias características físicas importantes. Su densidad es de $2,5 \text{ kg/m}^3$, equivalente a un peso de $2,5 \text{ kg/m}^2$ por cada milímetro de espesor, comparable con la densidad del aluminio. El punto de ablandamiento del vidrio es aproximadamente 730°C , y su conductividad térmica es de 1.05 W/mK , con diferencias mínimas entre distintos tipos de vidrio plano. El coeficiente de dilatación lineal del vidrio, que mide el alargamiento por unidad de longitud al variar la temperatura en 1°C , es de $9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Por ejemplo, un vidrio de 2000 mm de longitud que aumente su temperatura en 30°C se alargará 0.54 mm .

En cuanto a la dureza, el vidrio tiene una resistencia significativa a ser rayado, comparable en la escala de Mohs con materiales como el zafiro y el diamante. El módulo de elasticidad (módulo de Young) del vidrio plano es de 720.000 kg/m^2 , lo que indica la fuerza necesaria para duplicar su longitud. El coeficiente de Poisson, que mide la contracción lateral cuando una barra se alarga, es de 0.22 a 0.23 para el vidrio plano.

La resistencia mecánica del vidrio incluye una resistencia a la tracción que varía entre 300 y 700 kg/cm^2 , dependiendo de la duración de la carga. La resistencia a la compresión es aproximadamente 10.000 kg/cm^2 . El vidrio también muestra una alta resistencia a la intemperie y a la mayoría de los ácidos, excepto al ácido fluorhídrico y, a altas temperaturas, al ácido fosfórico. Sin embargo, los álcalis pueden atacar la superficie del vidrio.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES

El vidrio tiene una baja conductividad térmica, lo que puede ayudar a reducir la profundidad de penetración de la helada en pavimentos. Las propiedades reflectantes del vidrio pueden ser deseables en la construcción de carreteras, aunque una excesiva retrorreflexión puede causar deslumbramiento. No existen estudios documentados sobre las cantidades de vidrio

El módulo de rotura para vidrios recocidos varía entre 350 y 550 kg/cm^2 , mientras que para vidrios templados es de 1850 a 2100 kg/cm^2 . La resistencia a la temperatura del vidrio de 6 mm es tal que se romperá cuando la diferencia de temperatura alcance aproximadamente 55°C , mientras que el vidrio templado puede soportar diferencias de hasta 250°C .

Finalmente, el vidrio tiene un índice de refracción de 1.52 y una transmitancia térmica (valor U) de $5.8 \text{ W/m}^2\text{C}$. La transmisión de luz visible depende del tipo de vidrio, con valores aproximados del 87% para el vidrio float, 75% para el vidrio armado y entre 70% y 85% para el vidrio translúcido. El vidrio común es relativamente transparente a los rayos infrarrojos de onda corta, pero opaco a los de longitud de onda larga, lo que permite la acumulación de calor en invernaderos. La transmisión de rayos ultravioleta también es una propiedad del vidrio común, aunque se pueden utilizar vidrios laminados para bloquear estos rayos.

El vidrio reciclado, conocido como calcín, presenta características particulares. Las partículas de calcín suelen ser angulosas y pueden contener una proporción de lascas y agujas, dependiendo del proceso de trituración. Las partículas más pequeñas, resultantes de procesos adicionales de trituración, tienden a ser menos angulosas y contienen menos lascas y agujas. Las partículas de vidrio grueso y fino se refieren a tamaños inferiores a 19 y $6,4 \text{ mm}$, respectivamente. En general, el vidrio reciclado tiene un peso específico de aproximadamente $2,5 \text{ g/cm}^3$, aunque puede variar según el grado de contaminación. El vidrio triturado presenta altos valores de permeabilidad, similar a los de una arena gruesa, y su distribución granulométrica puede variar considerablemente.

El vidrio reciclado también muestra una fragilidad ante los esfuerzos de tracción. Las partículas de tamaño grava ($4,75 \text{ mm}$) tienen una durabilidad inferior en comparación con otros áridos convencionales. Sin embargo, su fricción interna y capacidad de carga son elevadas, y su compactación no es muy sensible al contenido de agua, lo que lo hace útil en diversas aplicaciones de construcción.

que pueden producir deslumbramiento, pero se ha observado un notable fenómeno de reflexión en pavimentos con más del 15% en peso de vidrio, especialmente en condiciones húmedas. También destaca por su alta dureza y baja absorción de agua.

6. NORMATIVA TÉCNICA

En España, no existe una normativa específica que regule el uso de residuos de vidrio reciclado. Sin embargo, para su posible empleo en distintos materiales de construcción, se utilizan como referencia las normas existentes para cada material, donde se especifican las propiedades finales que deben cumplir. Algunas de las normas relevantes son:

- **Morteros y hormigones:**
 - **Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)** del Ministerio de Fomento.
 - **Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08)** del Ministerio de Fomento.
 - **UNE-EN 13139:2003+AC:2004:** Áridos para morteros.
 - **UNE-EN 998-1:2010:** Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido.
 - **UNE-EN 998-2:2012:** Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería.
 - **UNE-EN 13055-1:2003+AC:2004:** Áridos ligeros. Parte 1: Áridos ligeros para hormigón, mortero e inyectado.
- **Áridos para carreteras:**
 - **UNE-EN 12620:2003+A1:2009:** Áridos para hormigón.
 - **UNE-EN 13043:2003/AC:2004:** Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas.
 - **UNE-EN 13242:2003+A1:2008:** Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglomerantes hidráulicos para su uso en capas estructurales de firmes.
 - **UNE-EN 12150-1:2000:** Vidrio para la edificación. Vidrio de silicato sodocálcico de seguridad templado térmicamente. Parte 1: Definición y descripción.
 - **UNE-EN 12600:2003:** Vidrio para la edificación. Ensayo pendular. Método de ensayo al impacto y clasificación para vidrio plano.
 - **UNE-EN 13830:2016:** Fachadas ligeras. Norma de producto.
 - **UNE EN 410-1998:** Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos.
 - **UNE-EN 410:2011 ERRATUM:2011:** Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos.

7. NORMATIVA AMBIENTAL

- **Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, sobre la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición:** Regula la gestión de los residuos generados en obras de construcción y demolición, incluyendo el vidrio procedente de estas actividades.
- **Ley 11/1997, de 24 de abril, de envases y residuos de envases:** Esta ley y sus modificaciones posteriores establecen las obligaciones de los productores y gestores de envases, incluyendo los de vidrio, para garantizar su correcta gestión y reciclaje.
- **Real Decreto 252/2006, de 3 de marzo:** Revisa los objetivos de reciclado y valorización de la Ley 11/1997, estableciendo metas específicas para el reciclaje de vidrio y otros materiales de envase.
- **Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos:** Aunque es una normativa europea, España la ha transpuesto a su legislación nacional. Esta directiva establece objetivos de reciclaje y reutilización para varios materiales, incluyendo el vidrio.
- **Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular:** Esta ley reciente introduce el concepto de economía circular y establece nuevas obligaciones y objetivos para la gestión de residuos, incluyendo el vidrio.

8. MANUALES

- Manual del Vidrio en la Construcción (Joseph S. Amstock)
- Manual del Vidrio Plano
- Vidrio para la edificación normativas europeas manual de tolerancias

9. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES

Algunos fabricantes*:

Vidrio reciclado

- **Recuperaciones De Vidrio Norte.** rynorte@euskalnet.net
- **Ecovidrio** www.ecovidrio.es
- **Agrupación Nacional de Reciclado de Vidrio (ANAREVI)** www.anarevi.es
 - **RECUPERACIONES DE VIDRIO AGUADO E HIJOS S.L.** www.rvaguado.com

Productores y distribuidores

- Saniciel. Placa de vidrio celular fabricado con vidrio reciclado. Polydros. www.polydros.es
- Indaplak. Placa de escayola con fibra de vidrio y perlita. Yedesa. www.yedesa.com
- Porcelanosa S.A Website. Revestimiento cerámico fabricado a partir de material reciclado. www.porcelanosa.com
- Levantina y Asociados de Minerales, SA. Láminas cerámicas de material reciclado. www.levantina.com
- Ezarri. Mosaico de vidrio reciclado (Glass Mosaic Ocean). www.ezarri.com
- Hisbalit. Mosaico de vidrio reciclado. www.hisbalit.es
- Knauf insulation. Lana de vidrio reciclado. www.knauf.es
- Cemento verde de vidrio ECOSTABI

Pavimentos y asfaltos

- pavimento ARIPAQ

*Para información adicional, acceda al inventario digital en la pestaña <<Proveedores>>

7. Bibliografía

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). (s.f.). *Catálogo de residuos utilizables en construcción*. CEDEX Materiales. Recuperado el 10 de marzo de 2025, de <https://www.cedexmateriales.es/2/catalogo-de-residuos/>

Comisión Europea. (2008). *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Contratación pública para un medio ambiente mejor* (COM (2008) 400 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52008DC0400>

Comunidad Autónoma del País Vasco. (2024). *Ley 1/2024, de 8 de febrero, de Transición Energética y Cambio Climático*. Boletín Oficial del Estado, núm. 63, pp. 28883–28933. <https://www.boe.es/boe/dias/2024/03/12/pdfs/BOE-A-2024-4783.pdf>

Gobierno Vasco. (2012). *Decreto 112/2012, de 26 de junio, sobre la producción y gestión de residuos de construcción y demolición en la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Boletín Oficial del País Vasco, 174, 2012/09/06. <https://www.euskadi.eus/bopv2/datos/2012/09/1203962a.pdf>

Gobierno Vasco. (2022). *Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco* (Texto revisado y ampliado). Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes. https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/norma_firmes/es_norfir/Norma-de-Dimensionamiento-de-Firmes_es.pdf

Ihobe, S.A. (2009). *Manual de directrices para el uso de áridos reciclados en obras públicas de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Gobierno Vasco. https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/aridos/es_doc/adjuntos/manual_aridos.pdf

Ihobe, S.A. (2018). *Guía para el uso de materiales reciclados en construcción*. Gobierno Vasco. https://www.ihobe.eus/sites/default/files/2025-07/Materiales_reciclados_NOV18.pdf

Jefatura del Estado. (2021). *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética* [Texto consolidado]. Boletín Oficial del Estado, núm. 121, de 21 de mayo de 2021. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2021/BOE-A-2021-8447-consolidado.pdf>

Jefatura del Estado. (2022). *Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular* [Texto consolidado]. Boletín Oficial del Estado, núm. 85, de 9 de abril de 2022. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2022/BOE-A-2022-5809-consolidado.pdf>

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2023). *Orden Circular OC 2/2023 sobre reutilización de capas de firmes y pavimentos bituminosos*. Dirección General de Carreteras. [oc_2023_02_reutilizacion_de_capas_de_firmes_0.pdf](https://www.mt.es/dgcarreteras/oc_2023_02_reutilizacion_de_capas_de_firmes_0.pdf)