

# vt

informe de vigilancia tecnológica

# mi+d

vt  
10

valorización material  
y energética  
de neumáticos  
fuera de uso

*Encarnación Cano Serrano  
Lidia Cerezo García  
Marina Urbina Fraile*

[www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)

**ci**mtan  
**mi+d**

**CEIM**  
CONFEDERACIÓN EMPRESARIAL  
DE MADRID - CEOE

  
**Comunidad de Madrid**  
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN  
Dirección General de Universidades e Investigación

# vt

informe de vigilancia tecnológica

# miod

**valorización material  
y energética  
de neumáticos  
fuera de uso**

*Encarnación Cano Serrano*

*Lidia Cerezo García*

*Marina Urbina Fraile*

[www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)

**cimtan**  
miod

**CEIM**  
CONFEDERACIÓN EMPRESARIAL  
DE MADRID - CEOE

  
**Comunidad de Madrid**  
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN  
Dirección General de Universidades e Investigación

**cimtan**  
mied



*Colección dirigida por:*  
José de la Sota Ríus

*Colección coordinada por:*  
Fundación para el conocimiento madri+d  
CEIM

El Círculo de Innovación en Materiales, Tecnología Aeroespacial y Nanotecnología (CIMTAN) se enmarca dentro del IV Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica (IV PRICIT). El CIMTAN es una iniciativa de la Dirección General de Universidades e Investigación de la Comunidad de Madrid en la que participan el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M). Las áreas de materiales y nanomateriales del CIMTAN son gestionadas por el Parque Científico de la Universidad Carlos III, Leganés Tecnológico. El siguiente informe de Vigilancia Tecnológica ha sido elaborado a petición del Consorcio Nacional de Industriales del Caucho (COFACO) y del Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados (SIGNUS ECOVALOR).

Los autores agradecen la colaboración ofrecida durante la elaboración del presente informe, los consejos, la revisión y la corrección del manuscrito original a:

- Dr. Juan Baselga Llidó. Catedrático y Director del Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales e Ingeniería Química. Universidad Carlos III de Madrid.
- Dr. Angel A. Marcos-Fernández. Colaborador Científico del Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- D. Ramón Tomás Raz. Director del Centro de Investigación Elpidio Sánchez Marcos. Grupo Elsamex".

Todos los derechos están reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de este informe con fines educacionales, divulgativos y no comerciales citando la fuente. La reproducción para otros fines está expresamente prohibida sin el permiso de los propietarios del copyright.

- © De los textos: Los autores
- © De la colección «vt» y de la presente edición:  
CEIM  
Dirección General de Universidades e Investigación

Diseño: base12 diseño y comunicación s.l.

Ilustraciones: Los autores

Impresión: Elecé Industria Gráfica

Depósito Legal: M-35.171-2007

ISBN-13: 978-84-611-8343-2

5	CAPÍTULO 1	Introducción
		1.1 Clasificación de cauchos (PÁG. 8)
		1.2 Los neumáticos usados (PÁG. 10)
13	CAPÍTULO 2	Resumen y conclusiones
17	CAPÍTULO 3	Tecnologías utilizadas para la valorización material y energética de los NFU
		3.1 Tecnologías fuera de los sistemas de reciclado del material: Recauchutado (PÁG. 20)
		3.2 Tratamientos Mecánicos (PÁG. 21)
		3.3 Tecnologías de reducción de tamaño (PÁG. 22)
		3.4 Tecnologías de regeneración (PÁG. 26)
		3.5 Pirólisis-Termólisis (PÁG. 30)
		3.6 Estrategias de búsqueda y análisis (PÁG. 33)
37	CAPÍTULO 4	Aplicaciones
		4.1 Valorización Material (PÁG. 38)
		4.2 Valorización Energética (PÁG. 49)
		4.3 Ejemplos de aplicaciones, tecnologías y propiedades de los productos (PÁG. 51)
57	CAPÍTULO 5	Aspectos de mercado
		5.1 Empresas Nacionales (PÁG. 58)
		5.2 Gestión neumáticos usados (PÁG. 67)
69	CAPÍTULO 6	Bibliografía
75	CAPÍTULO 7	Anexos
		Anexo I Legislación: ámbito europeo y estatal (PÁG. 76)
		Anexo II Partes de los Neumáticos Radiales (PÁG. 80)
		Anexo III Propiedades físicas y químicas más comunes (PÁG. 81)
		Anexo IV Proyectos I+D (PÁG. 84)
		Anexo V Patentes (PÁG. 87)
		Anexo VI Grupos de investigación (PÁG. 98)



## CAPÍTULO 1

### Introducción

1.1 Clasificación de cauchos (PÁG. 8)

1.2 Los neumáticos usados (PÁG. 10)

Uno de los residuos que más caracterizan a las sociedades desarrolladas modernas, tan dependientes del automóvil, son los neumáticos fuera de uso. Aunque se trata de un residuo no peligroso, presenta una alta capacidad calorífica –que dificulta su extinción en caso de incendios- y no es degradable. Estas y otras características, constituyen factores que aconsejan la adopción de una norma que los regule teniendo en cuenta esas particularidades propias.

Es cierto que en principio los neumáticos usados no generan ningún peligro inmediato, pero su eliminación de manera inapropiada o su producción en grandes cantidades, puede contaminar gravemente el medioambiente u ocasionar problemas a la hora de eliminarlos. No en vano, los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras -son resistentes al ozono, la luz y las bacterias- lo que les hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. Su almacenamiento en el vertedero no permite recuperar ni energía ni materia.

Los neumáticos enteros son flexibles y por su forma y tamaño limitan la rehabilitación del vertedero al ser difícilmente compactables, además son refugio ideal de insectos y roedores, y acumulan gases y lixiviados, frecuentes en los basureros.



En 1999, la Unión Europea adoptó la **Directiva 1999/31/CE** [1] relativa al vertido de residuos. Su objetivo era establecer medidas para impedir o reducir los efectos negativos del vertido de residuos. Esta Directiva se transpuso al derecho interno español a través del **Real Decreto 1481/2001** [2]. Este Decreto establece el régimen jurídico aplicable a las actividades de eliminación de residuos mediante su depósito en vertederos. Asimismo establece que no se admitirán en ningún vertedero los neumáticos usados enteros a partir del 16 de julio de 2003, y neumáticos usados troceados a partir del 16 de julio de 2006.

En el año 2000, los estados miembros adoptaron la **Directiva 2000/53/CE** [3], que establece medidas para prevenir los residuos procedentes de vehículos y propone el reciclado y la reutilización como formas de valorizar los vehículos y sus componentes al final de su vida útil.

En ese mismo año en España, se generaban anualmente unas 250.000 toneladas de neumáticos [4] fuera de uso, de las que sólo se reciclaba el 1,5 %. El 11,1 % se destinaba a recauchutado, el 4,6%, a valorización energética, y el 82,8% acababa abandonado o depositado en vertederos. El stock histórico existente era de alrededor de cuatro millones de toneladas de NFU en vertederos y áreas incontroladas que debía gestionarse.

En 2001 se aprobó el **Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2001-2006** [4], en el que se preveía la elaboración y aprobación de un esquema económico para asegurar la correcta gestión ambiental de los NFU. En 2005 se aprueba el **Real Decreto 1619/2005** [5], sobre la gestión de neumáticos fuera de uso. Este Decreto constituye la culminación de un proceso tendente a optimizar la gestión de los NFU y atribuye la responsabilidad básica de dicha gestión a los responsables de la puesta en el mercado de los neumáticos nuevos, ya sean fabricantes, importadores o adquirientes en otro Estado de la UE.



En el ANEXO I de este informe pueden encontrarse los contenidos básicos de este Real Decreto, así como los objetivos ecológicos que se establecen en el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso.



# 1.1 Clasificación de cauchos

Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar mucho si son sometidos a tensiones mecánicas, volviendo a sus dimensiones originales (o casi) cuando las tensiones cesan. A continuación, se esquematizan los diferentes tipos de cauchos.

TABLA 1. Tipos de elastómeros.

Elastómeros	Cauchos naturales	
	Cauchos sintéticos	Estireno-butadieno (SBR)
		Polibutadieno (BR)
		Isopreno
		Etileno-propileno(EPM-EPDM)
		Isobutileno-isopreno (IIR)
		Cauchos de nitrilo (NBR)
		Policloropreno (neopreno)
		Cauchos fluorados (CFM-FKM)
		Cauchos de silicona (Q)
Termoplásticos		

El **Caucho natural (cis-poliisopreno)**, se extrae comercialmente a partir del látex del árbol *Hevea brasiliensis*, que se cultiva en plantaciones de regiones tropicales del sudeste asiático. La materia prima del caucho natural es un líquido lechoso denominado látex. La estructura de la goma natural es principalmente cis-poli(1,4-isopreno), un polímero de cadena larga, mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, sales inorgánicas además de otros componentes.

FIGURA 1. Unidad estructural repetitiva del caucho natural.

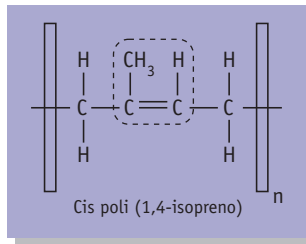
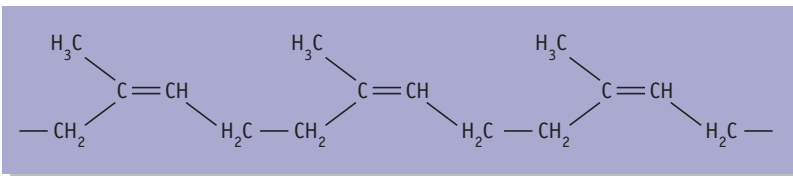
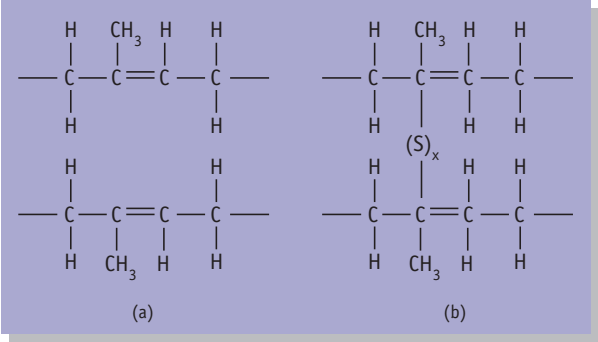


FIGURA 2. Segmento de una cadena de polímero de caucho natural.



**La vulcanización** es el proceso químico por el cual las moléculas del polímero se unen unas con otras con enlaces químicos para dar una estructura tridimensional en la que la difusión molecular se encuentra restringida. En 1839 Charles Goodyear descubrió un proceso de vulcanización para el caucho natural utilizando azufre y carbonato de plomo como agentes químicos. Goodyear descubrió que cuando se calentaba una mezcla de caucho natural, azufre y carbonato de plomo el caucho pasaba de ser un material gomoso y blando a elastomérico. Este proceso fue patentado por Goodyear en el año 1844 [6].

FIGURA 3. Ilustración esquemática de la vulcanización del caucho. En este proceso átomos de azufre entrecruzan las cadenas de *cis* poli(1,4-isopreno). (a) Cadena de *cis* poli(1,4-isopreno) antes del entrecruzamiento (b) Después del entrecruzamiento con azufre o derivados de azufre abriendo los dobles enlaces del esqueleto polimérico.



La utilización de materiales de relleno puede reducir el coste del caucho como producto y aumentar considerablemente su resistencia. El **negro de carbono** se utiliza como material de relleno para el caucho. Generalmente, cuanto más pequeño es el tamaño de las partículas de negro de carbono, mayor es su dureza, su resistencia mecánica y su resistencia a la abrasión.

Los silicatos y las arcillas modificadas químicamente también se utilizan como materiales de relleno para reforzar el caucho [7].

## 1.2 Los neumáticos usados

Los neumáticos se componen esencialmente de caucho sintético o natural, negro de carbono, óxido de Zinc, acero, material textil y otros aditivos. La tabla 2 proporciona un listado de las sustancias contenidas en los neumáticos utilizados en diferentes tipos de vehículos.

TABLA 2. *Composición de los neumáticos en la UE.*

<b>Material</b>	<b>Turismo %</b>	<b>Camión/autobús %</b>
Caucho/Elastómero	48	43
Negro de carbono	22	21
Metal	15	27
Textil	5	-
Oxido de Zinc	1	2
Azufre	1	1
Aditivos	8	6

Fuente: ETRA, European Tyre Recycling Association

TABLA 3. *Composición Química de los neumáticos usados.*

<b>Elemento/Compuesto</b>	<b>Contenido</b>	<b>Unidad</b>
C	70	%
Fe	16	%
H	7	%
O	4	%
Oxido de Zn	1	%
S	1	%
N <sub>2</sub>	0.5	%
Ácido esteárico	0.3	%
Halógenos	0.1	%
Ligandos cupríferos	200	mg/Kg
Cd	10	mg/Kg
Cr	90	mg/Kg
Ni	80	mg/Kg
Pb	50	mg/Kg

Fuente: OFEFP [8].

Según el estado del neumático después de su utilización, estos se pueden clasificar en:

- Neumáticos reutilizables
- Recauchutados (pueden ser recauchutados y las especificaciones técnicas determinantes son fijadas por las empresas especializadas.
- Neumáticos no reutilizables.

En el año 2004, la gestión de neumáticos usados se resume en la siguiente tabla:

TABLA 4. *Gestión de neumáticos usados en 2004.*

<i>1ª Puesta en el mercado de reposición</i>	<i>Mil Ton</i>	<i>Mill. Unidades</i>
Neumáticos nuevos	213	19,3
N. Usados y Recauchutados	17	1,5
Total de N U generados	230	20,8

Fuente: Signus Ecovalor.



## CAPÍTULO 2

### Resumen y conclusiones

## El Objetivo de este trabajo es informar sobre las posibles vías para valorizar material y energéticamente el caucho y los neumáticos fuera de uso.

En este documento se analiza el estado del arte de las tecnologías y aplicaciones para la recuperación, el reciclaje y la valorización en general de los neumáticos usados.

De igual manera se citan las sociedades que actualmente se encargan de reciclar y gestionar los residuos de neumáticos generados en España.

El Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso, prevé la adopción de procedimientos de reciclado y valorización ecológicos. Según este plan, los productores, los fabricantes y los importadores de neumáticos tienen la obligación de gestionar los neumáticos fuera de uso, de manera que se garantice un tratamiento medioambiental correcto.

Según datos de 2004, en España se generan un total de 230.000 toneladas de neumáticos que deben gestionarse correctamente. Se han definido las estrategias que se llevarán a cabo para valorizar los residuos generados por NFU, según las cuales el 20% de esta cantidad se destinará a la reutilización. Serán 46.000 Ton para recauchutado y para segundo uso.

El 35% se empleará para valorización material, unas 80.000 Ton que deberán utilizarse para asfaltos, pistas deportivas y obra civil. Para mezclas bituminosas se debe conseguir un polvo de menos de 500 micras, lo cual es caro y difícil. En obra civil se puede aprovechar el NFU en taludes.

El 45% restante, se dedicará a la valorización energética. Se estiman unas 105.000 Ton para cementeras y acerías de arco eléctrico.

Para valorizar los neumáticos usados se privilegiaran los procedimientos que permiten reciclar directamente los materiales y en consecuencia usar con moderación los recursos naturales. Se pueden citar:

- **Valorización material:** enteros, troceados, molidos, los neumáticos pueden ser reutilizados y valorizados en diversas aplicaciones. Pueden destacarse las aplicaciones en arrecifes de los neumáticos enteros, como aislante térmico y acústico de los neumáticos triturados, o las aplicaciones en materiales bituminosos. La utilización del polvo de neumáticos usados, en aplicaciones en la red vial a través de betunes modificados, puede seguir otras posibles vías:
  - **Vía húmeda**, mediante la cual se fabrica un ligante betún-caucho de neumático reciclado.
  - **Vía seca**, el triturado de neumático usado se emplea como sustituto de una fracción de los áridos utilizados para la fabricación del asfalto.
  - **Vía mixta**, todavía en estudio, unifica las dos vías citadas.

- **Valorización energética:** los neumáticos se pueden utilizar enteros o triturados como combustible de sustitución en las cementeras, siempre que se respeten las disposiciones para la protección ambiental. También pueden reutilizarse en otras unidades de incineración, calderas industriales, centrales térmicas.
- **Recauchutado**, si los neumáticos están todavía en buen estado, pueden revestirse de una nueva superficie de rodadura.
- **Reciclaje directo de materiales**, valorizando los productos resultantes de la preparación de neumáticos fuera de uso.
  - El negro de carbono, utilizado en caucho, pinturas, y en la fabricación de carbono activo.
  - El polvo de neumático, utilizado en la fabricación de neumáticos nuevos, pero también en adhesivos a base de látex, y revestimientos “silenciosos”.
  - Granulado de neumático, con posibles utilizaciones en la construcción ferroviaria, también para reducir emisiones sonoras.

Existen diversas técnicas que permiten llevar a cabo la valorización material y/o energética de los neumáticos fuera de uso:

- **Tecnologías fuera de los sistemas de reciclado del material**, entre las que se incluye el **recauchutado**, por el que se aprovecha la carcasa metálica del neumático.
- **Tratamientos mecánicos**, donde se procede al triturado del neumático.
- **Tecnologías de reducción de tamaño**, mediante moliendas que permiten obtener polvo de caucho que pueden ser mecánicas a temperatura ambiente, moliendas criogénicas o húmedas.
- **Tecnologías de regeneración**, la recuperación o *reclaiming* y la desvulcanización.
- **Otras tecnologías**, como la pirólisis y la termólisis.

Las tecnologías y aplicaciones que permiten valorizar material y energéticamente el caucho y los neumáticos usados, son numerosas. No es necesario ceñirse a una única y lo más ventajoso es utilizar varias de ellas para reducir lo más posible las grandes cantidades de neumáticos que se producen y que en estas últimas décadas se han ido acumulando.

La valorización energética es una de las posibilidades que actualmente se manejan para eliminar o reducir la cantidad de neumáticos usados y al mismo tiempo limitar el consumo de combustibles fósiles. Los neumáticos usados triturados, se emplearían como combustible alternativo, por ejemplo en los hornos de cementeras,



mejorando la competitividad de éstas ya que los neumáticos usados son menos costosos que el fuel. Sin embargo existe una tendencia (más desarrollada en Europa) hacia el empleo del caucho molido en instalaciones deportivas, (se está diversificando en otras construcciones de ingeniería civil) y en mezclas bituminosas (principalmente en carreteras).

La pirólisis presenta más reticencias en su comercialización debido al coste de la instalación necesaria. Una salida interesante podría ser el empleo de industrias mixtas formadas por cementera (u otro proceso) y pirólisis, de esta manera se ahorrarían costes, empleando los aceites pirolíticos como combustible (de elevado poder calorífico) y el negro de carbono para fabricación de elementos que no requieran elevadas características técnicas.

Con respecto a la valorización material, se concluye que es factible eliminar la mayor parte de los neumáticos que se desechan empleándolos en carreteras. Esta eliminación puede hacerse sin más inversiones que las necesarias para la trituración de neumáticos y ambas vías de utilización, seca y húmeda, pueden aportar ventajas importantes a la carretera desde el punto de vista técnico. Dichas vías suponen un ahorro de las materias primas en origen y una mejora, de las propiedades (deformación plástica, comportamiento a fatiga, módulo dinámico...), respecto al modificado con polímeros. La eliminación a través de la carretera no tiene ningún riesgo posible de contaminación, siendo sin duda un procedimiento ecológico.

## CAPÍTULO 3

# Tecnologías utilizadas para la valorización material y energética de los NFU

- 3.1 Tecnologías fuera de los sistemas de reciclado del material: Recauchutado (PÁG. 20)
- 3.2 Tratamientos Mecánicos (PÁG. 21)
- 3.3 Tecnologías de reducción de tamaño (PÁG. 22)
  - 3.3.1 Molienda a temperatura (PÁG. 23)
  - 3.3.2 Molienda criogénica (PÁG. 24)
  - 3.3.3 Molienda húmeda (PÁG. 25)
- 3.4 Tecnologías de regeneración (PÁG. 26)
  - 3.4.1 Desvulcanización (PÁG. 26)
  - 3.4.2 Recuperación (reclaiming) (PÁG. 28)
- 3.5 Pirólisis-Termólisis (PÁG. 30)
- 3.6 Estrategias de búsqueda y análisis (PÁG. 33)

Se han encontrado 142 artículos en la aplicación Current Content Connect, de la Base de Datos de la ISI Web of Knowledge de THOMSON, utilizando las sentencias de búsqueda: (tyre\* OR tire\*) AND recycl\* , entre los años 2000 y 2006.

Destacan como grupos principales de investigación el Instituto Tecnológico de la India, el CSIC, la Universidad de Leeds y la Escuela de Ingenieros de Bilbao, entre otros.

En lo que se refiere a patentes de invención, la búsqueda ha concluido con un total de 130 patentes relativas a métodos de reciclaje para neumáticos usados, identificadas en la aplicación Derwent Innovation Index de la base de datos ISI Web of Knowledge de THOMSON, de las cuales 31 resultaron relevantes para este informe. La sentencia de búsqueda utilizada fue tire\* OR tyre\* AND recycling AND method y se limitó al periodo 2000-2006. El listado con éstas y otras patentes de invención aparece en el ANEXO V.

Existen varios tipos de tecnologías empleadas para la recuperación y/o reciclaje de los NFUs, según el uso que se le vaya a dar se empleará una o varias tecnologías. Se pueden distinguir las siguientes:

- **Tecnologías fuera de los sistemas de reciclado del material;** se puede citar el denominado *Buffing* (suele ser una parte del proceso de recauchutado que no incluye a los neumáticos al final de su vida útil), recanalado y recauchutado.
- **Tratamientos Mecánicos;** proceso mecánico mediante el cual los neumáticos son comprimidos, cortados o fragmentados en piezas irregulares. Entre ellos se encuentran fabricación de balas, troceado (*ripping*), trituración (*cutting*).
- **Tecnologías de reducción de tamaño;** se distingue entre el realizado a temperatura ambiente, criogénico y húmedo.
- **Tecnologías de Regeneración;** desvulcanización, recuperación del caucho (*reclaiming*), modificación superficial, modificación biológica.
- **Otras tecnologías;** Pirólisis-Termólisis.

En la Figura 4 se clasifican las diferentes tecnologías de reciclaje según el nivel de tratamiento. Es interesante resaltar que dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar se empleará un nivel, varios o todos los niveles. Los datos se han obtenido de la Asociación Europea de Reciclaje de Neumáticos (ETRA) [9], del año 2003.

En la tabla 5 se proporciona un sumario de los materiales obtenidos, tamaño en milímetros y tecnologías más empleadas. Donde el término *Todas las fuentes* incluye; neumáticos pisados de camión y coche, neumáticos enteros de camión y coche, cámara de aire del neumático, mezcla de neumáticos coche/camión y otros neumáticos.

FIGURA 4. Niveles de tratamiento.

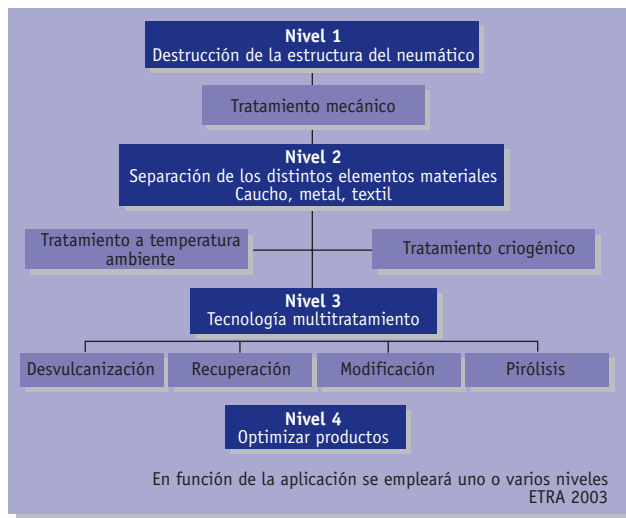


TABLA 5. Caracterización de los productos según tecnologías empleadas.

Producto	Tamaño	Fuente	Tecnología
Neumático entero (W)		Neumáticos enteros coche- camión	Mecánica (M)
Trozos (X)	> 300 mm	Todas	Mecánica (M)
Tiras (shred) (S)	50-300 mm	Todas	Mecánica (M)/reducción a temperatura ambiente (A)
Astillas (chips) (C)	10-50 mm	Todas	Mecánica (M)/reducción a temperatura ambiente (A)
Granulado (G)	1-10 mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénico (C)
Polvo (P)	< 1 mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénico (C)
Polvo fino (F)	< 500 $\mu$ m	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénica (C)/recuperación (R)/desvulcanización (D)
Buffins (B)	0-40 mm	Neumáticos pisados camión-coche	Buffing (B)
Recuperado (reclaiming) (R)	Normalmente se suministra en bloques	Todas y granulado	Recuperación (R)
Desvulcanizado (D)	Depende del tamaño del polvo	Polvo de todas las fuentes	Reducción criogénica (C)/temperatura ambiente (A)/desvulcanización (D)
Pirólítico (Y)	< 10 mm	Todas	Pirólisis (P)/buffing (B)/Reducción criogénica (C)
Productos de Carbón (Z)	< 500 $\mu$ m	Pirólítico	Otras tecnologías (O)

A continuación se explican detalladamente alguna de las tecnologías citadas.

### 3.1 Tecnologías fuera de los sistemas de reciclado del material: Recauchutado

El **recanalado** es un paso intermedio, antes de convertirse en residuo, que consiste en remarcar el dibujo primitivo en aquellos neumáticos que no han perdido más del 75% de su profundidad original.

Sin embargo, la reutilización más frecuente del NFU es proceder a su **recauchutado**, aprovechando la carcasa metálica que ha de revestirse de caucho con unas características en consonancia con el destino del neumático. No obstante, dado que la carcasa sufre fatiga y deterioro a lo largo de su vida y debido a las exigencias en las normativas de calidad de los neumáticos (reglamentos 108, 109 de las Naciones Unidas sobre neumáticos recauchutados), el número de recauchutados que un neumático admite es limitado y dependerá de la superación con éxito de los ensayos de carga y velocidad contemplados en los Reglamentos 30 y 54 de Ginebra. Actualmente [10] son recauchutados los neumáticos de camión y avión pero no los procedentes de coche o camiones pequeños.

El proceso de recauchutado consiste en sustituir las gomas viejas del neumático y reconstruir su estructura original convirtiéndolo en un neumático de características similares al nuevo [11].

Atendiendo a la superficie renovada se pueden distinguir 3 sistemas;

- Recauchutado integral; se renueva la banda de rodadura y los flancos.
- Recauchutado semi-integral; se renueva la banda de rodadura y parte del flanco.
- Recauchutado sólo de la banda de rodadura.

Atendiendo al sistema de adhesión de las nuevas gomas se pueden distinguir 2 tipos:

- Recauchutados en caliente; el proceso de vulcanización se realiza en prensas a una temperatura comprendida entre 150-160 °C.
- Recauchutados en frío; la banda de rodadura está previamente vulcanizada y se adhiere mediante una goma (*unión*), vulcanizándose en autoclaves a una temperatura comprendida entre 98-125°C.

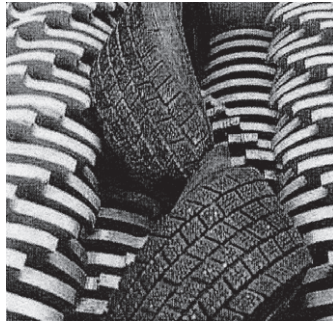
El recauchutado es probablemente uno de los caminos más sensibles para prevenir la acumulación de los neumáticos usados en los vertederos [10]. Un aspecto positivo del recauchutado es el hecho de que para la fabricación de un neumático nuevo de coche se necesita unos 32 litros de crudo mientras que el recauchutado necesitarían unos 11 litros, en neumáticos de camiones se pasa de 100 a 32 litros de crudo. Por lo que produce una reducción de coste de material prima entre 30-50% [10].

---

---

## 3.2 Tratamientos Mecánicos

Muchas de las posibles aplicaciones de los NFU requieren de una trituración previa hasta el tamaño adecuado al uso específico que se le vaya a dar. Este proceso normalmente se realiza a través de trituradoras formadas por dos o más ejes paralelos de cuchillas que giran a distintas velocidades para favorecer la incorporación del neumático. La separación de los ejes define el tamaño de los trozos conseguidos. La utilización de este tipo de trituradoras es un paso previo a la molienda y en los vertederos o centros de recogida para disminuir el volumen de los neumáticos.



### 3.3 Tecnologías de reducción de tamaño

Se han encontrado como grupos principales de investigación en este ámbito: Canadian Rubber Testing & Development Ltd., Universidad de Dalian, entre otros.

Los tres mayores procesos empleados para producir polvo de caucho son la molienda mecánica a temperatura ambiente, la molienda criogénica y la molienda húmeda. El polvo de caucho también se puede obtener mediante *buffings* a partir de la industria del recauchutado del neumático, normalmente el tamaño de partícula es mayor. Antes de la molienda a tamaños menores de 1 mesh (0.2 mm) el neumático se reduce a trozos relativamente grandes (< 300 mm, *cuts*) y después a tiras de tamaño entre 50-300 mm (*shred*).

Existen varios estudios que trabajan en la mejora de las propiedades de las mezclas de diferentes polímeros con polvo de neumático; polietileno/polvo de neumático [12], SBR/polvo de caucho [13], granos de caucho de neumático (0.85-2.125 cm)/hormigón [14, 15], granos de caucho/pasta de cemento [16, 17], etc.

Un tema muy sensible es el impacto medioambiental del polvo de los neumáticos, tanto el procedente del reciclado como el generado en el uso normal del neumático (debrís), que se traduce en el lixiviado del ZnO. La clasificación de la comisión europea (2003/105/EC) señala el óxido de Zinc, como peligroso para el medio ambiente y muy tóxico para los organismos acuáticos. Existe un estándar alemán para ensayar el lixiviado en superficies deportivas y césped de caucho molido, DIN 18035-7. Han sido realizados varios estudios al respecto, se citan los presentados en la conferencia anual de la ETRA [18];

- *Universidad italiana de Milano Bicocca*; Un grupo esta Universidad realiza un estudio sobre el lixiviado de Zn en condiciones estáticas y dinámicas entre pH ácido y neutro. En condiciones estáticas se encontró que a pH 3 (condiciones de lluvia ácida) se alcanzaba el máximo en el lixiviado, observándose una caída lineal proporcional al pH, siendo menor para pH 7. Este estudio es muy contestado por los granuladores argumentando que los ensayos no se corresponden con las condiciones del uso del granulado.
- *Instituto de Investigación del caucho, Polonia*; Realizó un proyecto para evaluar el efecto de la cantidad y el grado de ZnO de un granulado de caucho en el lixiviado obtenido. Se observó que el grado de ZnO empleado no tuvo repercusión, pero el área de la partícula y el área superficial del gránulo tuvieron una influencia substancial: menos Zn a mayor tamaño y menor área.
- *Sociedad Química Checa*; Ha encontrado un potente activador de la vulcanización con azufre del caucho natural, lo que permitió reducir el nivel de ZnO en la formulación. Este compuesto, Lovamid KTP, es un derivado de 3-dimetilaminopropilamida de ácidos grasos de aceite de coco.

### 3.3.1 Molienda a temperatura ambiente

La molienda a temperatura ambiente se suele llevar a cabo en un molino de dos rollos tipo “cracker”, donde los rollos contienen ranuras con bordes afilados que rompen el caucho. Son molinos clásicos constituidos por un rotor y el estator que lo rodea. Previamente al molido es necesario separar el componente metálico para evitar daños al molino, se hace normalmente con separadores magnéticos dispuestos sobre las cintas. Para eliminar la parte textil se suele emplear cintas o bandejas vibratorias que originan el apelmazamiento de las fibras, que después se separan por tamizado u otros dispositivos.

El proceso a temperatura ambiente normalmente envuelve las siguientes actividades; separación del metal, separación de la fibra, reducción a polvo grueso, reducción a polvo ultra fino, empaquetado y pesado. El equipamiento empleado se puede dividir en 8 grupos; cuchillas gruesas/afiladas, granuladores primarios y secundarios, raspadores, molinos cracker primarios y secundarios, rodillos de acabado y micro rodillos. La distribución y tamaño de la partícula del polvo depende del número de veces que se pasa el polvo por el rodillo y del tipo de rodillo empleado. En general, el rodillo primario reducirá a tamaños entre 10-40 mesh, y los secundarios y de acabado podrán reducir a 80 mesh [10].

Para una óptima valorización es necesario realizar, en el momento de la recepción de los neumáticos en la planta de tratamiento, un control de peso, selección de tipos, característica, composición, etc. así como separar aquellos que se puedan valorizar para el recauchutado [11]. Para que una planta de reciclado funcione correctamente debe ser proporcional al volumen de NFUs que existan en la zona (teniendo en cuenta que no es rentable transportar los NFUs a más de 300 Km.). Existen experiencias negativas en Europa de la creación de plantas con capacidades superiores a las posibilidades del mercado. Además, debe tener una gestión logística de recogida acorde al volumen que se pretende reciclar.

Estas instalaciones necesitan mucha potencia y tienen un fuerte desgaste de cuchillas de corte, cilindros y platos de garras, que requieren mantenimiento continuo y de coste elevado.

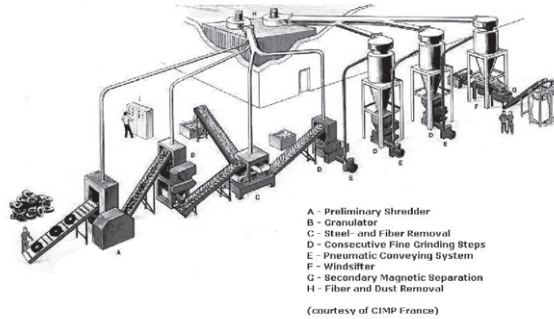
La empresa constructora AMSA describe el proceso de trituración en varias fases [11]. La primera fase consiste en trocear los neumáticos a un tamaño de 10x10 cm, aproximadamente. De esta primera fase tan sólo se reciclará la cantidad necesaria, según la demanda del mercado, y el resto se empleará como combustible alternativo, por ejemplo en hornos de cementeras.

En la siguiente fase se reduce el tamaño de los trozos a 2,5 cm, mediante máquinas en cascada que separan el acero (mediante imanes), las piedras y la tierra (mediante mesas densimétricas), y la fibra.



Para la fabricación del polvo de goma, tamaños inferiores 1.5 mm, se hace pasar por un grupo de máquinas que realizan la molienda por fricción, la criba y la separación del resto de impurezas metálicas.

**Example of an Ambient Scrap Tire Recycling System**



### 3.3.2 Molienda criogénica

A muy bajas temperaturas (-200°C) el caucho se fragiliza desapareciendo su elasticidad característica siendo posible, por tanto, desintegrarlo fácilmente.

El proceso de molienda criogénica viene acompañado por un primer paso de enfriamiento de las piezas de caucho (menores de 7.62 mm) con nitrógeno líquido, congelándolas. Los trozos (*shreds*) congelados pasan por un molino de impacto (similar a un percutor o martillo) donde son molidos en elementos más finos que 1 mesh. El polvo obtenido se seca, se separan la fibra y el metal y se clasifica el polvo según los tamaños obtenidos.

La forma, tamaño, distribución de tamaños y características superficiales de las partículas de caucho molidas obtenidas por molienda criogénica son diferentes a las obtenidas por molienda a temperatura ambiente. Éstas últimas tienden a tener una forma irregular con una considerable rugosidad superficial y el caucho es parcialmente oxidado en la superficie debido al calor generado durante el proceso [10]. Sin embargo, las partículas del polvo obtenidas por molienda criogénica presentan una superficie relativamente suave, un amplio rango de tamaño de partícula así como una mínima oxidación superficial. Estas diferencias en la naturaleza y reactividad pueden producir diferentes propiedades en el producto final.

Las cifras de consumo de la molienda criogénica respecto de la mecánica son similares (para una planta de 35.00 toneladas/año consumiría 400Kw/h), o ligeramente inferiores, sin embargo hay que añadirle el gasto de nitrógeno, se estima en 0.5-0.9 Kg. /Kg. caucho molido (con finuras que van desde 40 mesh a 100/110 mesh) [11]. Es decir, la molienda criogénica presenta un coste capital más bajo pero un coste de

operatividad mayor debido al elevado precio del nitrógeno líquido y a la fase adicional de secado requerida para eliminar la humedad.

Las aplicaciones típicas, en base a 45 mesh, para cada tipo de molienda son;

- Para cualquier uso de mortero y revestimientos mediante ligantes orgánicos, estireno-acrílicos. Por molienda criogénica se obtienen gránulos esferoidales puros.
- Para morteros de clase inferior. Obtenidos mediante molienda mecánica; son gránulos planos o planiformes con bordes levantados y en forma de espigas duras fundidas (formadas por efecto térmico durante la molienda).
- Para pavimentos deportivos, modificantes de asfaltos, cargas de mezclas con plásticos, etc. ambos tipos de gránulos ofrecen iguales resultados.
- Sensibilidad a los agentes atmosféricos; el grado de humidificación es mayor en gránulos mecánicos, diferencia sólo importante para el peso real del polvo de caucho y su rendimiento.

Actualmente, el potencial del mercado se centra en el granulado a temperatura ambiente, pues la calidad requerida del polvo para las distintas aplicaciones empleadas no justifica la duplicación del coste [18] (en el caso de molienda criogénica).

Sin embargo, a partir del año 2000 comienzan a aparecer aplicaciones rentables del granulado criogénico; como modificante de betunes y revestimientos aislantes que requieran buenas homologaciones de aislamiento acústico (UNE-EN ISO-140-3), térmico (UNE-92202), resistencia al fuego (UNE-23727-90) y adherencia e impermeabilidad al agua (Guía UEA tc). Así como su aplicación sobre los cultivos especiales de base hidropónica (técnica de optimización del entorno en cultivos interiores), con polvo de caucho como soporte en vez de la sílice, debido a su baja densidad útil, que podría tener gran importancia para estaciones fijas interplanetarias, donde la variable peso tiene gran importancia.

### **3.3.3 Molienda húmeda**

No se ha escrito demasiado acerca de este tipo de molienda, aunque alguno de los procesos de reducción de tamaño a temperatura ambiente incluye extrusoras.

El procedimiento seguido normalmente consiste en una serie de ruedas de molienda con agua pulverizada inyectada continuamente para asegurar el enfriamiento del polvo. Después de este proceso se separa el agua del polvo y se seca.

## 3.4 Tecnologías de regeneración

### 3.4.1 Desvulcanización

En las publicaciones que aparecen a partir de los años 80 el foco cambia de la recuperación a la alteración natural de la superficie del caucho, mediante el uso de ligantes y desvulcanización superficial.

Se han encontrado 42 artículos (entre los años 2000-2006 en el buscador Current Contents Connet) que versan sobre el proceso de desvulcanización. Se han localizado dos grupos principales de investigación; la Universidad de Akron (Ohio) y el Instituto Tecnológico de la India. Centrándose principalmente en la desvulcanización ultrasónica.

Los procesos de desvulcanización se pueden clasificar en dos grandes grupos [19];

Procesos físicos; la desvulcanización se produce con la ayuda de una fuente de energía externa. Se encuentran los procesos mecánicos, termo-mecánicos, crió-mecánicos, microondas y ultrasónicos [20-36].

Procesos químicos; son los más empleados por las industrias. Los agentes químicos empleados son generalmente disulfuros o mercaptans orgánicos empleados durante un trabajo mecánico a elevada temperatura, también encontramos agentes inorgánicos y otro tipo de procesos como puede ser la catálisis por transferencia de fase (PTC) [37].

Según esta clasificación se desarrollan a continuación algunos de los procedimientos mencionados:

- **Desvulcanización química;** Se emplean agentes químicos que rompen los enlaces para eliminar el azufre del enlace químico entrecruzado. La reacción tiene lugar con el azufre para evitar la formación de enlaces S-S. Un reciente estudio realizado por M. Kojima et al. [38, 39] emplea CO<sub>2</sub> supercrítico (en presencia de disulfuro de difenilo como reactivo de la desvulcanización) para la desvulcanización del caucho natural vulcanizado con varios contenidos de negro de carbono. Un equipo de la Universidad de Oxford investigó en el campo de la desvulcanización microbiana [40] encontrando que el hongo más efectivo para la desvulcanización del caucho fue "Resinicium bicolor" [41].
- **Desvulcanización térmica;** Calentamiento del polvo de caucho a una elevada temperatura sin la presencia de agentes químicos. Empleado en los primeros métodos de recuperación y solamente es viable con el caucho natural [42]. También se incluye la desvulcanización por microondas (es en esencia un proceso térmico) donde el movimiento de las moléculas provocado por la energía de microondas eleva

la temperatura del polvo provocando la rotura del enlace químico entrecruzado. Un ajuste fino de esta energía de microondas puede conseguir romper los enlaces S-S y C-S pero no C-C.

- **Desvulcanización mecánica;** Existe un proceso patentado descrito por Nashville [43] que emplea aleaciones Fe-Co para reducir mediante catálisis la densidad de entrecruzamientos de cloropreno y EPDM (caucho etileno-propileno), con un porcentaje de desvulcanización del 43%. Pero los componentes obtenidos presentan peores propiedades que el componente original [44].
- **Desvulcanización químico-mecánica;** Se aplica sobre el polvo de caucho una fuerza a cortadura mecánica (molienda,..) formando radicales libres que pueden producir radicales en la cadena principal, se añaden agentes químicos (dioles, disulfuro,..) que reaccionan con estos radicales evitando su recombinación y, al mismo tiempo, los entrecruzamientos se abren y la viscosidad se reduce [45].
- **Desvulcanización termo-mecánica;** Se emplean extrusoras que calientan el polvo [46]. Un estudio [47] emplea una extrusora durante un periodo corto de tiempo produciendo una masa viscosa que es mezclada con el compuesto virgen. Se obtuvo un aumento de la fracción sólida y una disminución sustancial del número medio de entrecruzamientos.
- **Desvulcanización termo-química;** Es un proceso básicamente de recuperación pero no emplea bases o ácidos normalizados. Se lleva a cabo en una autoclave en seco o con vapor. Las temperaturas empleadas se encuentran en un rango de 150-190°C durante un tiempo dado, después del cual se extrae la masa ablandada y se lamina en un molino de 2 rollos [48].
- **Desvulcanización ultrasónica;** Este proceso continuo permite reciclar el caucho en ausencia de agentes químicos. En ciertas condiciones de presión y temperatura, las ondas ultrasónicas pueden romper el enlace químico entrecruzado del azufre en el caucho produciendo la desvulcanización, con alguna degradación de la cadena principal. La consecuencia más deseable del proceso es que el caucho tratado por ultrasonidos se pueda reprocesar y revulcanizar de manera similar a los elastómeros no vulcanizados. Un reciente estudio realizado por la Universidad de Akron [49] realiza desvulcanización ultrasónica del caucho butílico en una extrusora a 120°C y con velocidad del tornillo de 50rpm, obteniendo que las propiedades mecánicas del caucho revulcanizado dependían de las condiciones de procesamiento durante la desvulcanización (comparando con el caucho virgen se obtuvo 86% en resistencia a tensión y 71% en deformación a la rotura). Otros estudios investigan las propiedades de distintas mezclas [50, 51, 52] dEPDM (monómero dieno-etileno-propileno desvulcanizado por ultrasonidos) con vEPDM (monómero dieno-etileno-propileno natural) [50], dSBR (copolímero butadieno-estireno desvulcanizado por ultrasonidos) con PS

(poliestireno) [51]; y desvulcanización ultrasónica continua del neumático molido mediante el empleo de dos reactores [53] (reactor coaxial donde la desvulcanización se produce a la salida de la extrusora y reactor de cañón).

### 3.4.2 Recuperación (reclaiming)

Se han encontrado como grupos principales de investigación el Instituto Tecnológico de la India y la Universidad de Chalmers, entre otros.

El interés en el proceso de recuperación del caucho data de mediados de 1.800 a raíz de la patente publicada por Charles Goodyear sobre la vulcanización del caucho con azufre [3].

El objetivo original de la recuperación del caucho vulcanizado es romper los entrecruzamientos, para permitir reutilizar los componentes de caucho. Esta ruptura de los enlaces se puede dar mediante rotura del entrecruzamiento químico tridimensional del azufre (desvulcanización) o mediante el fraccionamiento de las cadenas del polímero (despolimerización). El procedimiento es relativamente sencillo para el caucho natural, la dificultad radica cuando se aplica en cauchos sintéticos, particularmente SBR (caucho de estireno-butadieno).

La recuperación consiste en la conversión del entrecruzamiento tridimensional en un enlace 2D-dimensional, produciendo un material blando, plástico, de bajo módulo, procesable y vulcanizable, esencialmente de productos termoplásticos simulando muchas de las propiedades del caucho virgen.

La recuperación consiste en dos tecnologías;

- El caucho es troceado en piezas y molido en partículas finas (polvo).
- El polvo es sometido a un calentamiento en presencia de agentes químicos, seguido de una molienda intensiva por fricción.

A parte de los tres procesos típicos que trabajan bien la recuperación del caucho natural (proceso térmico, proceso *pan* (bajo presión de vapor), proceso digestivo (en disolución acuosa básica) se desarrollan nuevas técnicas refinadas [10] que permitan el reciclaje de los cauchos sintéticos, que introducen varias fases de molienda.

M.E. Martínez [54] establece un procedimiento de recuperación (sin adición de agentes químicos en un proceso de corte mecánico a una determinada temperatura) del caucho butílico, empleado en la cámara de aire del neumático de camión. El proceso consigue una rotura selectiva del entrecruzamiento químico tridimensional del azufre y una recuperación del butilo de alta calidad (sus propiedades no difieren mucho del caucho original); también recupera el caucho natural procedente de neumáticos de camión. El autor establece que los procesos de regeneración dan

lugar a un fuerte decrecimiento de la densidad de entrecruzamientos y una mejora de la fracción soluble, lo que produce la ruptura combinada de enlaces de azufre y cadenas poliméricas. El estudio concluye que una óptima elección de la materia prima y las condiciones de proceso, puede conducir a un grado más efectivo de desvulcanización y consecuentemente, una mejora de las propiedades físicas del material obtenido en la recuperación.

### 3.5 Pirólisis-Termólisis

Uno de los focos más activos de investigación, a parte de la desvulcanización, se centra en la pirólisis. Entre los grupos principales que estudian sobre esta técnica se encuentra el Instituto de Carboquímica del CSIC en Zaragoza, la Universidad de Leeds y la Escuela de Ingenieros de Bilbao.



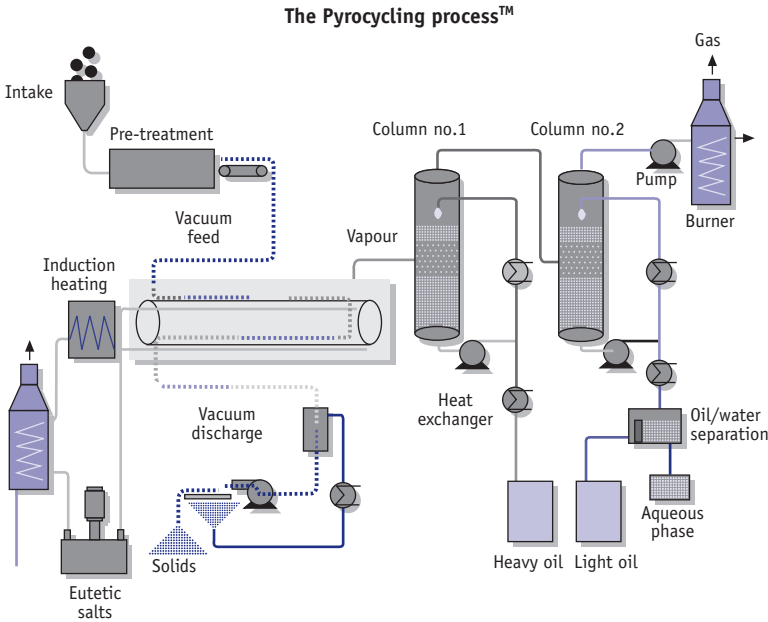
Entre las posibles vías de valorización de los neumáticos está la pirólisis, en la que los neumáticos se reducen a unas corrientes gaseosas, de aceite condensable, residuo carbonoso y metal. Aunque a pesar de las investigaciones realizadas hasta ahora apenas hay alguna operación comercial en funcionamiento, sigue habiendo en la actualidad proyectos basados en la pirólisis de neumáticos que tratan de llegar a la rentabilidad mediante distintas estrategias de valorización de los productos.

En el proceso de pirólisis se calientan los trozos de neumático (1-3 cm) a temperatura moderada (400-800°C) en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo. La degradación térmica del material produce una descomposición del neumático donde los elementos orgánicos volatilizables (principalmente cadenas de caucho) se descomponen en gases y líquidos, y los elementos inorgánicos (principalmente acero y negro de carbono no volátil) permanecen como residuo sólido. Los gases pirolíticos están compuestos principalmente por metano, butenos y butanos junto con otros hidrocarburos ligeros; también contienen en baja proporción CO, CO<sub>2</sub>, y H<sub>2</sub>S. Los gases pirolíticos tienen un gran poder calorífico (68-84MJm<sup>-3</sup>) [55]. Los sólidos pirolíticos (de iguales dimensiones que el original) se desintegran fácilmente en polvo de carbono, cordones de acero y filamentos.

Los productos obtenidos en la pirólisis son el residuo carbonoso, aceite y gas. Mediante la variación de la velocidad de calentamiento en el pirolizador se puede modificar la relación entre aceite condensable y gas no condensable (a mayor velocidad mayor producción de gas). Actualmente el aceite condensable es lo más problemático en un proceso de pirólisis, en cuanto a su aplicación. El gas de pirólisis se emplea como combustible para el propio reactor de pirólisis o para algún otro proceso como sustituto de combustible fósil.

Actualmente en el proceso de pirólisis de neumáticos, para que la operación resulte rentable es necesario valorar tanto la corriente gaseosa como la corriente de aceites condensables, aunque el mayor margen de valorización esté en el negro de carbono pirolítico.

Los productos obtenidos mediante pirólisis y sus características dependen de la fuente de alimentación, las condiciones experimentales y de las características específicas del sistema empleado (tamaño y tipo de reactor, eficiencia de la transferencia de calor, tiempo de permanencia...). Se ha observado [56, 57] una relación inversamente proporcional entre el tamaño de las partículas de neumático y la conversión pirolítica, así como que la temperatura de degradación máxima del mismo tipo de caucho bajo idénticas condiciones depende de la composición del neumático empleado, o que las constantes cinéticas dependen de la velocidad de calentamiento o de la conversión.



El trabajo realizado por A. Marcos et al. [58] recoge los resultados de un proyecto financiado por la Comisión Europea “Competitive and Sustainable Growth” en el que han participado como socios españoles; Química Plus S.L., Rubalca S.A., Fiel-Kanguo S.A. y Transcolor S.A. En este proyecto se demuestra que se puede conseguir un negro de carbono pirolítico con calidades similares a uno comercial de la serie 700 e inferiores, por lo que puede ser empleado para varias aplicaciones comerciales. Las características del negro de carbono reciclado son diferentes a las del negro de carbono convencional, pero con la optimización se llegan a aproximar. El uso del negro pirolítico para coloración y para absorbente de luz UV podría ofrecerse fácilmente tanto para productos plásticos como para productos de caucho.



En la conferencia anual realizada por la ETRA [18] hubo un foro específico de pirólisis en el que se establecía como constante en todos los proyectos la obtención de productos valiosos de carbono pirolítico, ya que es el producto con mayor potencial de valorización. Las vías de valorización del carbono pirolítico son como combustible de sustitución (mezcla con carbón), como negro de carbono para carga en materiales poliméricos, o como materia prima en la fabricación de carbón activo.

Un nuevo proyecto financiado por la Unión Europea en el VI Programa Marco, Pyrol X-Tyre [18], apuesta por el diseño de un proceso de pirólisis rápida controlado por microondas para reciclar el negro de carbono y recuperar energía. En este proyecto participan 3 centros de investigación, entre otros el Instituto Nacional de Tecnología de Noruega, y entre los objetivos se cuentan el diseño de un prototipo con alimentación controlada, el desarrollo de una unidad de separación eficaz del sólido de hidrocarburo y la puesta en marcha de una tecnología nueva de sensor que ajuste los parámetros según la calidad del caucho de la alimentación.

Un grupo de la Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao [55, 59, 60, 61] se centra en la caracterización del líquido pirolítico obtenido a temperaturas de 300-700°C en atmósfera de nitrógeno, en un autoclave, durante 30 min., obteniéndose que la temperatura no afectaba a la composición de los aceites [55]. Bajo las mismas condiciones y a 500°C se obtienen gases pirolíticos muy ricos en hidrocarburos con baja proporción de  $SH_2$  (1.8% en volumen) y elevado poder calorífico ( $83.9MJm^{-3}$ ) [60].

El Instituto de Carboquímica, CSIC, de Zaragoza [62] estudió la influencia de las principales variables de proceso (temperatura, tiempo y presión) en la hidroconversión del neumático (0.9 mm) mediante un reactor TB (tubing bomb reactor). Encontraron que a elevada temperatura no mejoraba la conversión total del caucho pero decrecía la producción de aceite (a 375°C se producía 47% de aceites y a 425°C un 42% , con tiempo de reacción de 30 min). La misma tendencia se observó con el tiempo de reacción (a temperatura 400°C, se pasó de 54% a los 5 min a 45% a los 60 min), pero no se observaron diferencias en la conversión y producción cuando se introdujo nitrógeno.

Existen dos tipos principales de aceites residuales, H09 y H18, que se derivan de la pirólisis del caucho. El aceite H09 es el que contiene un mayor porcentaje de coque (10%), mientras que el aceite H18 contiene un 1,8%. El coque pirolítico se puede separar totalmente del aceite pirolítico, el cual puede emplearse como asfalto modificado [63]. Un equipo de investigación de la Universidad Laval en Québec, ha estudiado el efecto del aceite H18 sobre las propiedades del asfalto modificado con polietileno reciclado (RPE-H18 (en 5-10%)), demostrando que se mejoraban las prestaciones del asfalto a moderadas y altas temperaturas (-15-90 °C) [63].

En la tabla 6 se presenta un resumen de las distintas tecnologías explicadas, con las principales ventajas y desventajas de cada una.

## 3.6 Estratégias de búsqueda y análisis

Uno de los objetivos del CIMTAN es promover y difundir las prácticas de la Vigilancia Tecnológica. Para ello se ha elaborado una serie de anexos donde se plasma la selección de fuentes de información y las sentencias de búsqueda utilizadas en cada una de ellas. De esta manera, la información extraída podrá ser actualizada periódicamente, según las necesidades que surjan.

Uno de los objetivos del CIMTAN es promover y difundir las prácticas de la Vigilancia Tecnológica. Para ello se ha elaborado una serie de anexos donde se plasma la selección de fuentes de información y las sentencias de búsqueda utilizadas en cada una de ellas. De esta manera, la información extraída podrá ser actualizada periódicamente, según las necesidades que surjan.

En el ANEXO I se citan y explican las leyes, directivas y normativas en vigor relativas al vertido de residuos. Las fuentes de información fueron el BOE, Europa.eu.int y la biblioteca de la Universidad Carlos III de Madrid.

En el ANEXO IV se presentan los **Proyectos I+D** obtenidos gracias a la base de datos del Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo (CORDIS). Cabe señalar dos proyectos todavía en curso:

- El proyecto CRIOSINTER, liderado por E. Alcántara del Instituto de Biomecánica de Valencia, englobado dentro del VI Programa Marco. El proyecto estudia la molienda criogénica como método de reciclaje de neumáticos usados, así como las aplicaciones de caucho reciclado en productos de alta calidad.
- El proyecto PYROL-X-TYRE de la empresa noruega NORSK DEKKRETUR AS, donde se analiza la tecnología pirólisis controlada por microondas, como valorización energética de los neumáticos fuera de uso, para la obtención de negro de carbono de alta calidad. Este proyecto que comenzó a finales de 2004, cuenta con una financiación de 1.262.436 € y su coste total se prevé será de 2.878.098 €.

En el ANEXO V se resumen las **patentes** encontradas desde el año 2000 hasta 2006, relativas a los métodos de reciclaje de neumáticos usados, las aplicaciones para valorizar este tipo de neumáticos y los equipamientos utilizados para llevar a cabo los procesos de reciclaje. Además se realiza un análisis de las patentes encontradas, de acuerdo con los criterios: método de reciclaje, tipo de aplicación (valorización material o energética), maquinaria para el tratamiento de NFU y otras.

Las solicitudes de patentes en España en esas fechas (2000-2006) relativas al tema de reciclaje de neumáticos usados, se limitan a cuatro: dos para el Instituto de Carboquímica de Zaragoza, del CSIC, una correspondiente a la empresa RETRAINERS COMPANY S L y otra referente a maquinaria para el tratamiento de NFU, procedente de un particular.

En el ANEXO VI se presenta un análisis de las instituciones con mayor número de **artículos** publicados, obtenido en la aplicación Current Contents Conté, de la ISI Wok sobre las distintas tecnologías explicadas anteriormente. Debido a la gran cantidad de documentos obtenidos, en los casos general, vulcanización y pirólisis se han incluido aquellas instituciones con más de dos artículos publicados (entre el periodo 2000-2006).

<i>Bases de Datos</i>	<i>Documento</i>	<i>Nº</i>	<i>Sentencia de búsqueda</i>
Current Contents WoK	Artículos	142	(Tire* OR Tyre*) AND recycl*
Science	Artículos	122	(Tire* OR Tyre*) AND recycl*
PATLIB-Espacenet	Patentes	120	(Tire* OR Tyre*) AND recycl*
Derwent Innovation Index WoK	Patentes	154	(Tire* OR tyre*) AND recycling And apparatus OR machine AND (asphalt OR cement)
Oaister	Tesis Doctorales	3	(Tire* OR Tyre*) AND recycl*
BOE	Ley, Plan Nacional, Real Decreto	4	neumáticos
europa.eu.int	Directivas	2	neumáticos
Biblioteca UC3M	Proyecto de Norma	1	neumáticos
CORDIS	Proyectos I+D	13	(Tire* OR tyre*) AND recycl*

TABLA 6. Resumen de las tecnologías empleadas para el reciclaje de NFU.

Tecnología	Características	Ventajas	Desventajas
Recauchutado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sustitución de las gomas viejas de los neumáticos y reconstrucción de la estructura original.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se necesita menos cantidad de crudo que en neumático nuevo.</li> <li>Reducción coste fabricación 30-50%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número limitado de recauchutados.</li> <li>Características ligeramente disminuidas.</li> </ul>
Tratamientos mecánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trituración previa de los NFU para reducir el tamaño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permite la reducción del volumen, importante en vertederos.</li> <li>Facilita la moliente u otras técnicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No existen muchos estudios para mejora de la técnica.</li> </ul>
Tecnologías de reducción de tamaño	<ul style="list-style-type: none"> <li>Molienda a temperatura ambiente (mecánica).</li> <li>Molienda criogénica (enfriamiento del caucho mediante N<sub>2</sub>).</li> <li>Molienda húmeda (por chorro de agua).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consigue reducir a tamaños que van desde 500 mm a inferiores de 500 µm.</li> <li>Molienda criogénica permite partículas de menor tamaño, superficie más suave y menor oxidación superficial.</li> <li>Muy empleada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lixiviado de ZnO.</li> <li>Molienda a T.A.; Coste elevado por la necesidad de un mantenimiento continuo de la maquinaria Mayor sensibilidad a los agentes atmosféricos.</li> <li>Molienda criogénica; Coste adicional por precio del N<sub>2</sub> y fase adicional de secado.</li> </ul>
Tecnologías de regeneración	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desvulcanización; rotura selectiva del enlace químico entrecruzado del azufre en el caucho vulcanizado.</li> <li>Recuperación; recuperar caucho vulcanizado mediante desvulc. o despolimerización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consigue una descomposición de los componentes del neumático.</li> <li>Permite reutilizar los componentes de caucho de los NFU para la fabricación de distintos elementos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caucho obtenido con propiedades físicas inferiores al original.</li> <li>Importante una óptima elección de la materia prima y condiciones de proceso.</li> </ul>
Pirólisis	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calentamiento del granulado de NFU a temperatura 400-800°C en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descomposición de los componentes del neumático.</li> <li>Gases pirolíticos tienen elevado poder calorífico.</li> <li>Negro de carbono se puede reutilizar para fabricación de nuevos elementos.</li> <li>Negro pirolítico para coloración y absorbente luz UV.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemática con la aplicación de los aceites condensables obtenidos.</li> <li>Características de los productos depende de las condiciones del proceso. Importante un ajuste de los parámetros.</li> <li>Carbono pirolítico tiene propiedades similares o inferiores a la serie 700.</li> </ul>



## CAPÍTULO 4

# Aplicaciones

### 4.1 Valorización Material (PÁG. 38)

- 4.1.1 Panorama Europeo (PÁG. 38)
- 4.1.2 Aplicaciones de los neumáticos enteros (PÁG. 40)
- 4.1.3 Aplicaciones de los neumáticos triturados (PÁG. 41)
- 4.1.4 Aplicaciones en materiales bituminosos (PÁG. 44)

### 4.2 Valorización Energética (PÁG. 49)

- 4.2.1 Producción de combustible (PÁG. 49)
- 4.2.2 Aprovechamiento energético por gasificación (PÁG. 49)
- 4.2.3 Aprovechamiento energético mediante Pirólisis (PÁG. 50)

### 4.3 Ejemplos de aplicaciones, tecnologías y propiedades de los productos (PÁG. 51)

## 4.1 Valorización Material

### 4.1.1 Panorama Europeo

Actualmente existen más de 500 productos en el mercado que usan NFU reciclados (ETRA 2005). La mayoría de ellos no se exportan o se comercializan en otros países, provocando que en un país exista una aplicación que se desconozca en los otros. Están creciendo las aplicaciones del troceado y de neumáticos enteros y las especialidades (p.e. elastómeros termoplásticos), mientras que en el caso del granulado hay una sobrecapacidad de producción que presiona los precios a la baja, siendo necesaria una ampliación de los mercados para ayudar a sostener los precios.

Una encuesta sobre el mercado de Europa [18, 67] revela que el principal mercado para el granulado de NFU es como relleno en superficies deportivas. Se estima que en 2003 se prepararon entre 4.000 y 6.000 campos de fútbol que consumieron cada uno entre 50 y 80 toneladas de material, lo que supone entre 200.000 y 480.000 toneladas totales. Se estima que en Europa se convertirán entre 400.00 y 500.00 campos, que deberán rellenarse con alguno de los materiales anteriormente citados, de los cuales el más barato es el granulado de NFU por métodos mecánicos, seguido del criogénico, del encapsulado con poliuretano, del pintado, del EPDM coloreado y del TPE coloreado, con una relación de precios estimada de 1:2:4:4:5:6 respectivamente.

La empresa italiana **ORP srl** se ha concentrado en el mercado del césped artificial en Italia. Se espera cambiar el 8-10 % de los campos existentes. El material de relleno de estos campos, granulado negro de NFU, debe competir con otros materiales como el granulado de caucho proveniente de residuos de artículos técnicos de caucho, partículas de caucho coloreadas, y granulado de EPDM virgen (monómero dieno-etileno-propileno), o granulado de caucho termoplástico (TPE). Cada uno tiene sus ventajas y desventajas;

- Granulado negro de NFU tiene como principal inconveniente el color (sólo en negro), el olor y su contenido en ZnO lo que dificulta su comercialización.
- El granulado procedente de piezas técnicas también tiene problemas de olor y contiene ZnO, además de ser menos constante en calidad.
- El de EPDM virgen no tiene los problemas del ZnO y del olor, y se puede colorear, pero tiene menos resistencia atmosférica, menos duración, mayor precio, y mayor densidad.
- Los granulados termoplásticos no huelen, no contienen ZnO y se colorean, pero sus características cambian con la temperatura ambiente, duran menos, cuestan más, tienen mayor densidad y el bote de la pelota no es bueno.
- El granulado del caucho coloreado tiene menos olor y menos problemas con el ZnO y existen variedad de colores, pero no hay experiencia en su empleo, cuesta más y dura menos.

La **Universidad de Bolonia**, Italia, explora una nueva ruta para el granulado de caucho con cemento. Al incluir caucho granulado se produce una caída en la resistencia a compresión, lo que limita la cantidad para poder cumplir las especificaciones. Los mejores resultados se obtienen cuando se une el caucho y cemento autocompactante (un tipo de cemento que lleva súper plastificantes y agentes modificadores de la viscosidad, por lo que no necesita vibración). En este estudio se demuestra la viabilidad de los gránulos de caucho en mezclas con cemento, se mejora la fragilidad porque el caucho permite una mayor deformación antes de que se rompa el mortero modificado y, sobre todo, no colapsa como el cemento tradicional, sino que sigue siendo capaz de soportar cargas, lo que le confiere la posibilidad de su aplicación antisísmica.

**Dow Chemical** comercializa bajo la marca Voramer una gama de aglomerantes de granulado de caucho reciclado. Tiene 3 productos principales; para aislamiento de sonido en construcción, para productos moldeados (losetas...) y para aplicaciones reductoras de la vibración en transporte (encapsulación de vías y alfombras para andenes).

La compañía Austriaca productora de granulado **Eximlink** sitúa el mercado europeo del granulado empleado como relleno, estimado en unas 70-75.000 toneladas, con diferentes tamaños comercializados según la región, 1-2.5 mm en países escandinavos, 1-2mm en otros países de Europa. La falta de demanda para el granulado criogénico hace que no se justifiquen nuevas instalaciones.

La compañía noruega **Ramboll RST** desarrolla un proyecto con otras empresas y la Universidad de Lund para la construcción de pistas para carreras de caballos. La construcción de la pista estaba formada por capas textil, neumático troceado 5-10 cm con un espesor de 300 mm, textil y arena grava.

En **Hungría** los proyectos de uso para 2005-2006 se centran en superficies de 1.000 campos de juego, 100 campos de deporte, 100 Km. de carril bici, 50 Km. de carreteras agrícolas, y re-cultivo de 20.000 m<sup>2</sup> de vertederos.

La empresa alemana **Faru** compara las propiedades de las mezclas elastoméricas (EAs) de polvo de caucho/PP (polipropileno) que fabrica, con los TPE (elastómeros termoplásticos) convencionales. La ventaja que presenta esta mezcla es que es estable y puede colorearse sin problemas cuando contiene hasta un 50% de polvo de caucho y puede llegar a contener hasta un 80%. Su principal desventaja es su olor y por ello no son adecuadas para el interior del automóvil.

Los productos bituminosos son un mercado de gran potencial para los NFU. El sistema asfalto-caucho presenta como ventaja la tecnología simple, aunque necesita bombas especiales por la gran viscosidad, y como desventaja la alta sensibilidad a los parámetros (velocidad de calentamiento, tamaño, rango de temperatura...), con



tendencia significativa a la separación por los enlaces débiles entre partículas de caucho y bitumen, que se elimina con una degradación química y una dispersión mecánica en presencia de agentes antisedimentación y/o entrecruzantes.

La **Universidad húngara de Veszprem**, desarrolló un proyecto en el que se empleó granulado procedente de chorro de agua. Este granulado resultó ser menos sensible a los parámetros y con unas propiedades medidas superiores a un betún modificado con SBS (estireno-butadieno-estireno) (5% de SBS en bitumen frente a un 15% de granulado). La principal desventaja de este bitumen modificado frente al modificado con SBS fue su baja ductibilidad y su ventaja es que se dispone de un material de alta calidad a nivel local.

La **Sociedad Química Checa** estudia los textiles generados en la molienda de NFU, añadidos en 0.3% al asfalto. La incorporación en la mezcla se vio ayudada por el polvo de caucho en las superficies de la fibra (se la volvió a pasar por la troceadora de neumáticos para tener un tamaño adecuado). La fibra se suministró como granza, y como aglomerante se aprovechó un residuo de las industrias cerveceras.

La empresa **Keridis Bitumen Technologies**, en Grecia, realiza aplicaciones del producto derivado del bitumen modificado. Un 5% del bitumen (50kg/ton asfalto) no necesita de modificación alguna en el proceso, lo que supone un ahorro del 2.65% (con respecto al coste del petróleo convencional).

La compañía italiana **API** (Anonima Petroli Italiana) desarrolló un proyecto llevado a cabo con éxito en Italia, en el que se redujo la vibración del tráfico con un aglomerante específico que emplea caucho molido. La idea no es aislar el pavimento sino reducir la vibración en la estructura interna del pavimento, para ello se introdujo una capa de aglomerante con el caucho granulado (2-3% para no bajar las propiedades mecánicas del caucho) entre la capa base y la de la superficie (ésta última es necesaria para reducir el tráfico por su mayor resistencia).

#### 4.1.2 Aplicaciones de los neumáticos enteros

- **Arrecifes Artificiales**, se espera que los neumáticos usados en la creación de arrecifes artificiales puedan perdurar más de 30 años porque los neumáticos sumergidos en agua marina se encuentran en un medio estable químicamente y protegidos de la radiación ultravioleta, lo que limita la cantidad de lixiviados contaminantes [68].



- **Balas de Neumáticos**, Las balas prismáticas de 1 tonelada de peso se fabrican con prensas hidráulicas, que compactan entre 100 y 125 neumáticos por unidad. Las dimensiones habituales son 75 cm x 150cm x 135 cm. Son una buena alternativa a los gaviones metálicos en la construcción de estructuras de contención y presas. Se han utilizado con éxito en la estabilización de márgenes fluviales degradados por la erosión del agua. Por su forma geométrica e instalación modular se adaptan muy bien a ser recubiertas con hormigón o fábrica para la formación de muros.
- **Barreras Acústicas**, los neumáticos constituyen la base de la estructura y se recubren con tierra, de esta forma no les afecta la luz. Como la estructura es inmóvil, el desgaste del material es mínimo.
- **Pistas Provisionales**, para la circulación de vehículos sobre terrenos poco estables en explotaciones forestales, accesos a canteras, etc.
- **Macizos de suelo reforzado**, los NFU agrupados en sistemas de tipo geomalla permiten la formación de macizos de suelo reforzado mediante la interposición de capas superpuestas de neumáticos enteros rellenos de material granular compactado. Las estructuras neumático-suelo muestran propiedades mecánicas superiores a los suelos de origen y pueden presentar diferentes aplicaciones específicas: como muros de sostenimiento de tierras, muros de estabilización en pie de taludes, muros antierosión en márgenes de cauces fluviales, rellenos ligeros en terraplenes, decoración y elementos de recreo en parques infantiles, ferias, etc.



#### 4.1.3 Aplicaciones de los neumáticos triturados

- **Rellenos ligeros**, empleados como relleno de terraplenes se utilizan fundamentalmente sobre cimientos compresibles o de baja capacidad portante para limitar las cargas transmitidas al cimiento y los asentamientos totales. Pueden realizar también mezclas de suelo o material granular con neumáticos troceados en aquellas situaciones donde la necesidad de una menor compresibilidad del relleno compense el aumento de peso frente al uso de neumáticos troceados en exclusiva.

Los rellenos ligeros también pueden utilizarse sobre estructuras o tuberías enterradas, para limitar las cargas sobre la estructura y la concentración de tensiones por consolidación diferencial, ya que su deformabilidad permite la generación de un efecto bóveda sobre la estructura. En zonas con problemas de inestabilidad, su baja densidad y suficiente resistencia al corte permite su empleo para la formación de taludes o bermas. Resulta un material especialmente adecuado como relleno ligero en trasdós de muros (estribos de puentes, muros de sostenimiento...).

- **Pistas de atletismo**, los gránulos de caucho procedentes de NFU son una materia prima básica en la composición de los distintos revestimientos sintéticos, que podemos clasificarlos en revestimientos realizados "in situ", mixtos y prefabricados, atendiendo a su puesta en obra, que a su vez pueden ser compactos o multicapas si el tipo de mezclas que lo componen es homogéneo o compuesto por capas de distintas calidades. En la construcción de una pista de atletismo se emplean aproximadamente de setenta a ochenta toneladas de gránulos de caucho, según el sistema que se instale y de la superficie de la pista, siendo las partículas de caucho de un tamaño comprendido entre 1 y 4 mm.[68].



- **Aislamiento térmico**, los neumáticos triturados son materiales física y químicamente resistentes. Se puede considerar que presentan una capacidad de aislamiento térmico 8 veces superior a la de un suelo. La utilización de rellenos de NFU en terraplenes de carreteras proporciona una protección eficaz frente a la penetración de la helada en el suelo subyacente. El problema de la pérdida de capacidad portante de los suelos durante el deshielo primaveral es un factor primordial de diseño de carreteras en zonas frías. Las propiedades de protección frente a la penetración de la helada pueden aplicarse también a otras situaciones tales como la construcción de vertedero, de zanjas drenantes, etc.
- **Aislamiento acústico**, el caucho es un material con buena absorción acústica, por lo que resulta adecuado para la fabricación de pantallas antirruído en carreteras. Los NFU troceados, así como enteros o embalados, han sido utilizados como material de relleno de terraplenes longitudinales utilizados como barreras antirruído. Paneles de caucho granulados, aglomerado con resinas de poliuretano, se ha utilizado como capa de aislamiento en barreras acústicas prefabricadas.

- **Pistas multiuso**, las características generales que deben cumplir todos los pavimentos deportivos son: elasticidad, resistencia al deslizamiento y durabilidad. La elasticidad permite que el pavimento juegue un papel importante absorbiendo parte de la energía que el deportista transmite en sus impactos con el pavimento evitando así lesiones en sus articulaciones y en sus caídas. Las capas elásticas de mejor calidad se fabrican con gránulos de caucho procedentes de la trituración de neumáticos usados, utilizando generalmente como aglomerante una resina de poliuretano, se fabrican en distintos espesores a pie de obra o se suministran prefabricadas en forma de rollos. La capa final de acabado debe garantizar la correcta estabilidad del deportista en contacto con el pavimento así como el bote de la pelota por lo que la textura y calidad de ésta capa varía en función de distintos factores como son, la ubicación de la pista, en interior o al aire libre y el tipo de deporte.
- **Campos de hierba artificial**, existen en el mercado alfombras de hierba artificial, iniciadas para los campos de jockey, para la práctica del fútbol que consisten en una base asfáltica, seguidas de una capa de arena y otra de gránulos de caucho de NFU y por último las fibras.
- **Colchonetas para animales**, recubiertas por 2 capas de tela sintética la cual protege al granulado contra los rayos ultravioleta. La capa interior es impermeable y puede lavarse y desinfectarse fácilmente.
- **Pavimentos de seguridad**, se utilizan principalmente en parques infantiles, guarderías y residencias de ancianos para evitar posibles lesiones por caídas al resultar un pavimento elástico. Su composición es a base de gránulos de caucho aglomerados con resinas de poliuretano. Una variante puede ser como protector de guardarrail.



- **Capas drenante en vertederos**, para la recogida de lixiviados se establece la instalación de una capa de drenaje de espesor superior a 0.5 mm. Esta capa requiere una permeabilidad superior a  $10^{-3}$  m/s y los rellenos de NFU troceados superan este requisito ( $10^{-2}$ - $10^{-1}$ ). Este material también es utilizado como relleno de las zanjas o pozos drenantes de recolección, protegido de la contaminación mediante una envuelta geotextil.

- **Sistemas de drenaje en carreteras**, se emplean los NFUs troceados como material de relleno de capas y zanjas drenantes en carreteras, las propiedades elásticas del relleno proporcionan una protección mecánica a las tuberías. Las propiedades aislantes del caucho hacen que sea un material de relleno idóneo en zonas sometidas a temperaturas bajas, impidiendo la congelación del agua contenida en él.
- **Calzado**, las suelas de los zapatos fabricadas con polvo o granulado son muy duraderas y a menudo duran más que el cuerpo del zapato.
- **Equipamientos viales y ferroviarios**, se han utilizado productos reciclados en equipamientos viales prefabricados (bordillos, badenes, isletas, bandas sonoras, conos de señalización, barreras de seguridad, quitamiedos, etc.). En los equipamientos ferroviarios destaca la utilización de losetas flexibles en pasos a nivel, aunque también se ha empleado en la fabricación de traviesas compuestas.

#### 4.1.4 Aplicaciones en materiales bituminosos

**En carreteras:** una de las aplicaciones de los NFU es en la red vial, lo que supone un gran mercado potencial capaz de consumir por sí solo todo el neumático que se recicle. Las exigencias actuales en las carreteras hacen que sustituyamos el betún convencional por betunes modificados con polímeros, los más actualizados SBS (estireno-butadieno-estireno), EVA (acetato de vinilo-etileno), polietilenos, EPDM (monómero dieno-etileno-propileno), etc.



La aplicación en la red de carreteras tiene grandes ventajas para el empleo del caucho reciclado; se están utilizando productos elastoméricos a los que el caucho reciclado podría sustituir o complementar, pueden utilizar grandes volúmenes en cada obra y dado que la construcción de carreteras se da en todo el territorio nacional, no se necesita transportarlo a grandes distancias.

Dentro de la utilización en carreteras las posibles aplicaciones son muy variadas. El triturado del neumático puede ser empleado para:

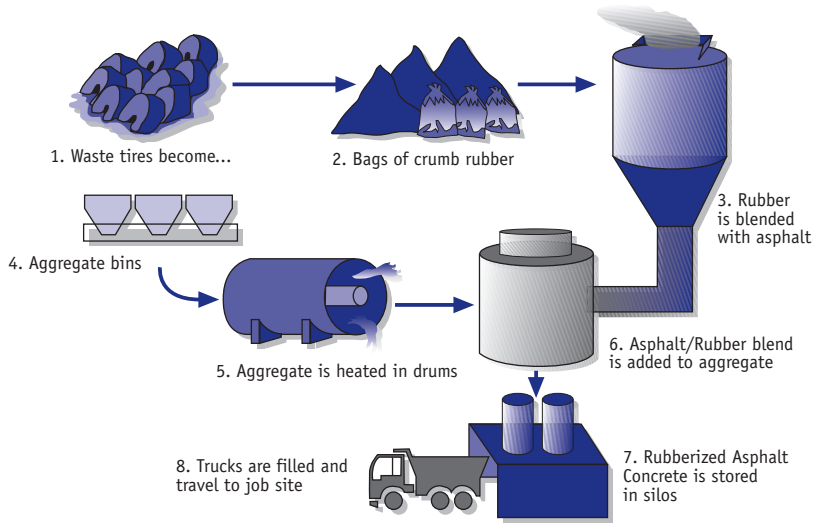
- Modificar betunes de destilación para su empleo en mezclas bituminosas, membranas SAM o SAMI antifisuras, membranas impermeabilizantes, material de juntas de dilatación, etc.
- Sustitución parcial de materiales pétreos en la estructura de mezclas asfálticas para ser empleados en capas de base e intermedias, capas de rodadura de granulometría densa, mezclas porosas.

La utilización del polvo o árido fino procedente del triturado de neumáticos de desecho en materiales para carretera presenta varias vías de modificación de betunes:

- **Vía Húmeda;** se basa en la fabricación de un ligante modificado (betún-caucho) mediante la adición de partículas de caucho de neumático reciclado a un betún convencional, bajo ciertas condiciones de mezclado. Al añadir las partículas de caucho al betún caliente éstas se reblandecen, absorben los componentes más ligeros del betún y se hinchan (digestión) produciendo una disminución de la distancia entre partículas y un aumento de la viscosidad del ligante combinado. El betún resultante de la mezcla depende del tiempo y temperatura de reacción, temperaturas elevadas producen reacciones más rápidas y mayores hinchamientos de las partículas [68]. La mezcla betún-caucho de neumático reciclado es inestable, para que el caucho no se segregue la mezcla ha de estar en continua agitación, por eso se fabrica *in situ* en el lugar de la obra. No obstante se han desarrollado procesos [69] para estabilizar la mezcla y hacerla almacenable, permitiendo el traslado desde la central de fabricación al lugar de empleo. Estos desarrollos se basan en añadir estabilizantes (normalmente SBS) y compatibilizantes (principalmente aceites extendedores). En estos casos el contenido del caucho en el betún no pasaría del 10% (20% para betunes fabricados *in situ*) obteniéndose distintas prestaciones. Las principales diferencias entre ambos tipos se dan en la tabla 7.

TABLA 7. *Ventajas de los distintos tipos de betunes obtenidos por vía húmeda.*

<i>Tipos betunes en vía húmeda</i>	<i>Ventajas</i>
Betunes estables	<ul style="list-style-type: none"> <li>· No necesitan empleo de maquinaria adicional.</li> <li>· Facilitan el control de calidad del producto.</li> <li>· Campo de aplicación definido y normalizado.</li> </ul>
Betunes fabricados <i>in situ</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Permiten ampliar el campo de los ligantes modificados.</li> <li>· Emplean mayores cantidades de residuo.</li> <li>· Menores traslados de materia prima y simplicidad de componentes.</li> <li>· Necesitan obras de un determinado volumen para rentabilizar traslado maquinaria.</li> </ul>



- **Vía Seca;** cuando el triturado del neumático se emplea sustituyendo una fracción de áridos. Consiste en incorporar bien directamente al mezclador la cantidad precisa para cada amasada (planta discontinua) o bien mezclarlo previamente con algún componente pétreo de la mezcla antes de la fabricación (planta continua). Los aspectos fundamentales de la técnica son; el caucho sustituye a una parte del árido, la parte fina reacciona con el betún modificándole, es conveniente que se produzca una pre-reacción. Se pueden distinguir varios tipos de tecnologías;
  - Tecnología Plusride; utiliza caucho troceado con tamaños relativamente gruesos (6.4-1 mm) en la fracción 0/6 incorporándose en un árido de granulometría discontinua y luego se mezcla con el betún.
  - Tecnología genérica; emplea partículas de menor tamaño (hasta 0.4 mm) y la granulometría del árido se ajusta para adecuarse a la del caucho.
- **Mixto;** une los dos tipos de vías anteriores, en fase de estudio. Emplea betún modificado con caucho como ligante y una cierta cantidad de triturado de neumático bien por vía húmeda (incorporándolo al betún), o por vía seca (incorporándolo al árido, emplea menores cantidades de caucho y de menor tamaño 0.1 mm).
- **Mezclas poroelásticas;** mezcla de poliuretano y áridos procedentes de caucho reciclado, con un 25-30% de huecos en la mezcla. La suma de los efectos de los huecos y de la elasticidad de los áridos, que disminuye la resistencia a la rodadura y la deformación de los neumáticos, permiten conseguir disminuciones de ruido de hasta 10/12 dB [68].

Existen experiencias de aplicaciones en carreteras en EEUU, Canadá [70] y Australia, sin embargo la aplicación en Europa y concretamente en España ha sido muy puntual, aunque esta tendencia está empezando a cambiar.

En la tabla 8 se resume las características, aplicaciones y proyectos desarrollados en España de las dos vías principales de fabricación de mezclas bituminosas en carreteras.

TABLA 8. *Características, aplicaciones y proyectos desarrollados de las vías húmeda y seca.*

<i>Tipo de vía</i>	<i>Características</i>	<i>Aplicaciones</i>	<i>Proyectos</i>
Vía Húmeda	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aumenta la viscosidad.</li> <li>· Reduce la penetración.</li> <li>· Disminución susceptible a la temperatura.</li> <li>· Mejoran las características a bajas temperaturas.</li> <li>· Mejora resistencia al envejecimiento.</li> <li>· Mejoran las características elásticas (recuperación elástica).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Masillas de sellado para juntas y grietas.</li> <li>· Mastics para impermeabilización de tableros de puente.</li> <li>· Membranas absorbedoras de tensiones (SAM o SAMI) o impermeabilizadoras de explanadas.</li> <li>· Ligantes para tratamientos superficiales con gravilla y riegos.</li> <li>· Mezclas bituminosas en caliente, abiertas, densas o discontinuas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 16km en carretera A-373 (Ubrique) (13% del caucho en betún).</li> <li>· 24km en Madrid (Valdaracete) (13-10% caucho en betún).</li> <li>· 1.2km en A-7 (20% del caucho en betún).</li> </ul>
Vía Seca	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mayor vida de fatiga.</li> <li>· Resistencia a figuración por flexión, térmica, retracción.</li> <li>· Resistencia en capas superficiales a la rotura de las capas de hielo.</li> <li>· Mayor resistencia a las rodera (mayor resistencia de la capa).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Sistema anti-hielo.</li> <li>· Mezclas poroelásticas, disminuyen ruido hasta 10/12 dB.</li> <li>· Mezclas con alto contenido de árido grueso, elevado coeficiente betún/filler y bajo contenido de huecos en la mezcla final.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 2.6km en B-140 (Sabadell) (2% de neumático y 6.2% de betún).</li> <li>· 2.6km en Vacarisses (2% de neumático y 5.5% de betún).</li> <li>· 330m en M-300 (Arganda del Rey) (1% caucho y 6.1% de betún).</li> </ul>



La mezcla en vía húmeda evita el consumo de cauchos vírgenes tipo SBS o EVA. El porcentaje que se suele emplear sobre betún oscila entre 10-20% s/betún, lo que permitiría reutilizar entre 5-10 mil Toneladas mediante esta vía [71].

En el caso de la vía seca, el triturado no sustituye a un polímero de alto coste sino a un árido de coste muy bajo. Sin embargo, el consumo de neumáticos es mayor pues la cantidad de áridos en las mezclas bituminosas es mucho mayor que la del polímero, y dado que el porcentaje que se añade de NFU triturado oscila entre 1-3% s/árido, se consumirían unas 400.000 Tn de [71].

El empleo de residuos en carreteras debe pasar por una definición clara de las características mecánicas y de durabilidad de cada uno de ellos. Además, dado el tiempo necesario para sacar conclusiones en las pruebas experimentales en carreteras, sería conveniente que las Administraciones de carreteras diseñasen una política de tramos de ensayo para estos materiales que permitiese en un futuro próximo contar con datos para su aplicación. Los Ministerios de Medioambiente y Fomento con la ayuda de expertos en la materia de diferentes instituciones, están elaborando un manual de utilización de materiales bituminosos para los contratistas de carreteras.

A pesar de que la Administración opta por el empleo de la vía húmeda, debido a un más fácil control del proceso, sería conveniente emplear todos los medios posibles para aumentar el consumo de los NFUs en carreteras. El control en la vía seca se podría realizar por parte de los laboratorios y/o introduciendo una normativa al respecto.

**En construcción:** existen estudios sobre la adición de granulado de caucho procedente de NFUs en cemento u hormigón, encontrándose los mejores resultados sobre cemento autocompactante [18] o Pórtland [15]. A pesar de que la incorporación de las partículas de caucho en materiales cementosos disminuye la resistencia, su uso se hace importante porque mejora la fragilidad del cemento, evitando el colapso. Lo que le confiere la posibilidad de la aplicación antisísmica y para usos no estructurales [16] (donde la elevada resistencia no es una consideración importante).

Se ha encontrado [15] la posibilidad de emplear el sistema cemento Pórtland tipo I-caucho molido NFU (0.29-0.59 mm) en el campo de la construcción, muy prometedor como material de relleno para grietas y juntas. Se observó como efecto más notorio la reducción de la velocidad del pulso ultrasónico en este medio.

---

---

## 4.2 Valorización Energética

### 4.2.1 Producción de combustible

La utilización como combustible trata de aprovechar la energía térmica que produce la combustión de la goma de los mismos.

Según Carlos Urcelay, consejero de Neuciclaje, S.A. [18] para el aprovechamiento energético, el neumático se puede presentar como neumático en polvo, troceado y entero. La selección se efectuará en función de las características del horno donde tenga lugar la combustión. Las características del horno de clínker, las altas temperaturas de funcionamiento, el alto tiempo de permanencia y la suspensión en el intercambiador de calor, por el que se desarrolla un proceso de adsorción, dan lugar a un sistema ideal de revalorización o utilización de combustibles secundarios. La combustión a temperaturas superiores a los 1200 °C, la atmósfera oxidante y los tiempos de permanencia entre 2 y 6 segundos garantizan la destrucción efectiva de los componentes orgánicos existentes en los residuos, eliminando la nocividad de los mismos y evitando la generación de cenizas susceptibles de tratamiento.

Los resultados de los análisis realizados por Laboratorios LABEIN del clínker, empleando neumático troceado en un porcentaje de sustitución del 20%, son similares a los obtenidos utilizando como combustible solamente coque de petróleo. Observándose que con la utilización de neumáticos se reducen las emisiones de  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$ . Por lo que es absolutamente factible la valorización en hornos de cemento hasta un 20% del combustible utilizado.



### 4.2.2 Aprovechamiento energético por gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico de descomposición de la materia orgánica en un ambiente caracterizado por un déficit de aire respecto al estequiométrico necesario para realizar la combustión completa de la misma. Es un proceso a 600°C donde el combustible sólido reacciona con un agente gasificante (aire, oxígeno o vapor de agua).

En el tratamiento de NFU vía gasificación se obtienen 2 fases; una sólida (mezcla de negro de carbono (25% en peso del total de NFU) y acero (12% en peso del total de NFU)) en aprox. un 37 % en peso del total de los productos del proceso, y una fase gaseosa en un 63%. Los dos componentes de la fase sólida se separan fácilmente con un tropel rotatorio de tamizado. El gas generado sale de los gasógenos a una temperatura superior a 350°C y contiene 2 fases separables;

- Fase gaseosa no condensable; formada por una amplia gama de gases de gasificación ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , hidrocarburos tipo C1, C2, C3, C4,...). Representa, en media, un 38% en peso del total de NFU tratados en el proceso. Empleados como valorización energética en motores de gas adaptados al respecto.
- Fase gaseosa condensable; constituida por todo el espectro de alquitranes, aceites medianos y ligeros, BTX, etc. Constituye un 25% del peso total de los NFU tratados. Los aceites condensados se pueden valorizar energéticamente como sustitutivo de un fuel- oil ligero o emplear en aplicaciones industriales específicas.

#### 4.2.3 Aprovechamiento energético mediante Pirólisis

Un método específico de la valorización energética por gasificación es la valorización energética por pirólisis.

Mediante la pirólisis se obtiene, de modo general, carbono pirolítico (33% en peso), gases (20% en peso), aceites (35% en peso) y residuo metálico (12% en peso).

Según las condiciones de procesado (velocidad de calentamiento, tamaño partícula, rango de temperatura,..) se obtendrán distintos porcentajes en peso de los elementos pirolíticos, así como características diferentes de los mismos.

Numerosos estudios se centran en obtener productos valiosos de carbono pirolítico, por ser los que presentan mayor potencial de valorización. Las vías de valorización del carbono pirolítico pueden ser: como combustible de sustitución (mezcla con carbón), como negro de carbono para carga en materiales poliméricos, o como materia prima en la fabricación de carbón activo.

Los aceites obtenidos se pueden emplear como combustible en hornos convencionales. Los gases no condensables tienen un poder calorífico del orden de 68-84  $\text{MJm}^{-3}$ , compuesto principalmente por hidrocarburos ligeros (olefinas y  $\text{C}_1$ - $\text{C}_4$  parafinas) junto con  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , elementos que pueden ser empleados para calentar el reactor de pirólisis, o como combustible en las cementeras.

Sin embargo, la valorización energética mediante pirólisis no está muy difundida debido al coste de las instalaciones necesarias.

---

---

## 4.3 Ejemplos de aplicaciones, tecnologías y propiedades de los productos

Según la Norma Europea en proyecto prEN14243 (“End-of-life-tyre-Recycling-Materials”) [72], las propiedades físicas y químicas proporcionan un indicador de las aplicaciones para las cuales los materiales son más apropiados. Estas propiedades son el punto de partida para el desarrollo de las especificaciones para aplicaciones y productos.

Los materiales obtenidos, aunque sean del mismo tamaño y se hayan elaborado con parámetros específicos, pueden dar lugar a características químicas y/o físicas distintas debido a la clase de material y/o tecnología usada. Estas diferencias pueden influir en las aplicaciones o productos para los cuales el material es más o menos apropiado.

En el ANEXO III se muestran las propiedades químicas y físicas más comunes respectivamente.

La tabla 9 muestra algunos ejemplos de aplicaciones, tecnologías y propiedades de los productos. Se han clasificado las aplicaciones en ingeniería civil (no carreteras), ingeniería civil (carreteras), ingeniería civil (deportes y superficies de seguridad) y productos industriales/consumidor. Cada producto/aplicación está vinculado a uno o varios materiales y a una o varias tecnologías (tabla 5), así como a sus propiedades físicas/químicas y a sus fuentes.

TABLA 9. Ejemplos de aplicaciones, tecnologías y propiedades de los productos.

Producto/Aplicación	Material											Tecnología	Propiedades físicas/químicas	
	W	X	S	C	G	P	B	R	D	Y	Z			Fuente-Neumático
<b>Ingeniería Civil (no carreteras)</b>														
Arrecifes artificiales	•												M	D, CL, S, Z, CH, pH, apilamiento
Contrafuerte de puentes	•	•	•	•									M, A	D, C, DC, CH, CTE, GE, SS
Aditivos de hormigón en la construcción								•					P	pH, S, CTAB, DBT, CC, EA, H
Balas para la construcción	•												M	DC, CP, CH, pH, ME, GE, apilamiento
Sistemas de drenaje en alcantarillas						•	•						A	DC, CP, CH, SS, AA
Diques	•	•	•	•	•								M, A	P, pH, ME, DC, CP, CH, SS, AA
Aislamientos (p.e. ruido)	•	•	•	•	•								M, A	CL, pH, S, Z
Capa drenante en vertedero	•	•	•										A	DC, CP, CH, S, Z, pH, SS, AA
Ingeniería para confinamiento y estabilización de superficies	•	•	•	•									M, A	Depende del uso específico
Estabilización de pendientes	•	•	•	•									M, A	DC, CP, CH, SS, AA
Aislamiento térmico	•	•	•	•									M, A	D, CH, GE, CTE, ME
Base para raíles de tranvías y trenes								•					A	C, DA, DC, CP, T

TABLA 9. Ejemplos de aplicaciones, tecnologías y propiedades de los productos. (Continuación)

Producto/Aplicación	Material													Tecnología	Propiedades físicas/químicas
	W	X	S	C	G	P	B	R	D	Y	Z	Fuente-Neumático			
<b>Ingeniería Civil (carreteras)</b>															
Aditivos del asfalto	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Todas	C, D, P	pH, S, CTAB, DBT, CC, EA, H	
Caucho del asfalto	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Entero de coche, mezcla neum. coche/camión	A, C	EA, CC, C, NC, HC, S/N, DA, DC, CP, T	
Recubrimientos	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Enteros de coche, neum. pisados de camión	A, C, R, D, P	CC, NC, CT, VC, S, V, Z, D, DP, GE, SS, DBT, H	
Barreras de choque	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Todas	M, A	S, CP, CH, H, CTE, P, ME	
Juntas de expansión	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Entero de coche-camión	A, C, R, D	EA, CC, NC, HC, pH, S, Z, DA, DC, CP, CH, T, S/N, VI, RT	
Rellenos ligeros	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Entero de coche-camión, mezcla neumáticos coche/camión	M, A	D, CH, CTE, GE, ME	
Barreras de ruido	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Entero de coche-camión, mezcla neumáticos coche/camión	M, A	D, DC, CP, GE, AA	
Equipamientos viales y ferroviarios	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Todas	A, C, R, D	Depende del producto específico	
Sellantes	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Entero de coche	A, C, R, D, P	CC, NC, CT, S, V, Z, D, DP, GE, SS, CTAB, DBT, H, pH	
Capas superficiales (firme)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Entero de coche-camión, mezcla neumáticos coche/camión	A, C, R, D, P	pH, S, CTAB, DBT, CC, EA, H, NC, HC, S/N, DA, DC, CP, VI, T	
Carreteras provisionales	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Entero de coche-camión	M, A	S, V, Z, CP, CH, P, CTE, AA	
Capa superior del pavimento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Entero de coche-camión, neum. de coche pisado	A, C, R, D	CC, NC, HC, S/N, DA, DC, CP, VI, T	

TABLA 9. Ejemplos de aplicaciones, tecnologías y propiedades de los productos. (Continuación)

Producto/Aplicación	Material										Tecnología	Propiedades físicas/químicas			
	W	X	S	C	G	P	B	R	D	Y			Z		
<b>Ingeniería Civil (deportes y superficies de seguridad)</b>															
Vías ecuestres	•												Picado coche, entero camión, A mezcla coche/camión	C, S, Z, NC, HC, DCA, S/N	
Campos de fútbol/Hockey	•												Entero coche-camión	C, S, pH, Z, CC, CH, H, S/N, ME, AA	
Pavimentos de seguridad	•	•											Entero coche-camión	NC, HC, DCA, S/N	
Superficies de recreo	•	•	•										Entero coche-camión	C, S, pH, Z, CC, CH, H, S/N, ME, AA	
<b>Productos industriales/consumidor</b>															
Carbón activo													• Todas, Z	0	CC, EA, NC, CTAB, DBP, CDBP, H, T, D, S
Usos agrícolas	•												Entero coche	A	pH, S, Z, CP, CH, AA, otras dependiendo del uso
Pilas domésticas	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			Todas	A, C, R, D, P, O	CC, EA, NC, CTAB, DBP, CDBP, H, T, D, S, VI
Componentes para cableado													• Cámara de aire, Y	A, R, D, O	NC, HC, DCA, RT, ER, VI, CTE, CC, EA, CTAB, DBP, CDBP, H, T
Productos de carbono													• Todas	0	CC, EA, NC, CTAB, DBP, CDBP, H, T, D, S
Cintas transportadoras													• Todas	R, D, O	CC, NC, EA, RT, ER, VI, CTAB, DBP, CDBP, H, T, S, V, Z, D, DP, SS
Materiales para solado													• Pisado camión	R, D	NC, HC, S/N, DCA, RT, ER, VI
Baldosas	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			Todas	A, C, R, D	S/N, S, DA, IVC, CP, H, AA, DCA, RT
Calzado	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			Todas	A, C, B, R, D, P, O	CC, DA, EA, D, S/N, C, CP, CTAB, DBP, DN, H, T, RT, DCA, ER, VI
Recubrimientos industriales													• Entero coche, Y	D, O	CC, NC, CT, S, V, Z, DP, GE, SS, EA, CTAB, DBP, CDBP, H, T, D, VI
Alfombras para animales	•	•											Mezcla coche/camión	A	pH, CP, H

TABLA 9. Ejemplos de aplicaciones, tecnologías y propiedades de los productos. (Continuación)

Producto/Aplicación	Material													Tecnología	Propiedades físicas/químicas
	W	X	S	C	G	P	B	R	D	Y	Z	Fuente-Neumático			
<b>Productos industriales/consumidor</b>															
Productos moldeados	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Todas, Y	A, B, R, D, P, O	EA, NC, S/N, D, GE, SS, DCA, RT, ER, VI, CTAB, DBP, CDBP, H, T
Pigmentos													• Y	0	S, V, Z, DP, CC, EA, pH, C, CTAB, CDBP, DBP, H, T, CL, D
Tinta de imprenta													• • • Entero coche-camión, Y	C, P, O	CC, EA, CL, NC, CT, S, V, Z, D, DP, GE, SS, DBP, CTAB, H, T
Materiales para techos/tejados													Entero coche-camión	A, C, R, D	S/N, H, C, Z, V, pH, RT, ER
Cauchos buenas características técnicas													• • • Pisado camión, Y	R, D, O	CC, NC, S, V, Z, D, DP, GE, SS, CTAB, CDBP, DBP, T, EA, H, DCA, RT, ER, VI
Componentes bajo la banda de rodamiento													• • •	R, D	EA, CC, NC, HC, DC, DP, GE, S/N, SS, DCA, RT, ER, VI
Componentes del revestimiento interior del neumático													• • • Cámara aire, Y	R, D, O	EA, CC, NC, HC, DCA, RT, ER, VI, CTAB, DBP, CDBP, H, T, D, S
Componentes de las lonas del neumático													• • • Pisado camión	R, D	EA, CC, NC, HC, S/N, DCA, RT, ER, VI
Alfombrillas para los vehículos													Todas	A, C, B, R, D	NC, S/N, S, Z, D, GE, DCA, RT, ER, VI
Partes del vehículo (extruídas o moldeadas)													• • • Entero coche-camión, neumático pisado camión, Y	C, R, D, P, O	EA, NC, S/N, D, GE, SS, DCA, RT, ER, VI, CTAB, DBP, CDBP, H, T
Mantas antivibración													• • • Entero coche-camión, Y	A, C, O	S, V, Z, DC, CP, SS, CC, NC, EA, CTAB, DBP, CDBP, H, T, VC, GE



# Índice de abreviaturas de la “Tabla 9”

## Material

<i>Abreviatura</i>	<i>Definición</i>	<i>Abreviatura</i>	<i>Definición</i>
W	Neumático entero	F	Polvo fino de neumático
X	Neumático en trozos	B	Buffing
S	Neumático en tiras	R	Recuperado
C	Neumático en astillas	D	Desvulcanizado
G	Granulado de neumático	Y	Pirólítico
P	Polvo de neumático	Z	Productos de carbón

## Tecnología

<i>Abreviatura</i>	<i>Definición</i>	<i>Abreviatura</i>	<i>Definición</i>
M	Mecánica	D	Desvulcanización
A	Reducción a temperatura ambiente	B	Buffing
C	Reducción criogénica	P	Pirólisis
R	Recuperación	O	Otras tecnologías

## Propiedades físicas/químicas

<i>Abreviatura</i>	<i>Definición</i>	<i>Abreviatura</i>	<i>Definición</i>
EA	Extracción con acetona	DBP	Absorción DBP
CC	Contenido de ceniza	ER	Deformación de rotura
VC	Valor calorífico	DN	Dureza para negro de carbono
NC	Contenido de negro de carbono	DCA	Dureza para caucho
CT	Carbón total	CH	Conductividad hidráulica
CL	Cloro	AI	Absorción de yodo
S/N	Relación caucho natural y sintético	H	Humedad
pH	pH	TP	Tamaño de partícula
SE	Solventes extraíbles	P	Coefficiente de Poisson
S	Azufre	DP	Densidad de poro
CS	Caucho sintético	I	Impureza
V	Volátiles	ME	Módulo elástico
Z	Zinc	T	Tamizado
DA	Dimensión de agregados	GE	Gravedad específica
D	Densidad	SS	Superficie específica
IVC	Índice del volumen comprimido	N <sub>2</sub>	Área superficial por absorción de N <sub>2</sub>
CDBP	Absorción CDBP	RR	Resistencia a la rotura
C	Consistencia de color	RT	Resistencia a la tracción
DC	Densidad de compacto	CTE	Conductividad térmica
CP	Compresibilidad	VI	Viscosidad
CTAB	Área superficial CTAB	AA	Absorción de agua

## CAPÍTULO 5

### Aspectos de mercado

5.1 Empresas Nacionales (PÁG. 58)

5.2 Gestión neumáticos usados (PÁG. 67)

## 5.1 Empresas Nacionales

Se han buscado empresas nacionales que investiguen el tratamiento y reciclaje de los neumáticos fuera de uso para darles luego diferentes aplicaciones. A continuación aparecen reseñadas las más destacadas:



Es la entidad gestora del sistema integrado de gestión de los neumáticos usados fundada por los mayores fabricantes e importadores de neumáticos que operan en nuestro país: **Bridgestone, Continental, Goodyear-Dunlop, Michelin y Pirelli**. Su misión es garantizar el cumplimiento de las obligaciones derivadas del nuevo Real Decreto sobre NFU en nombre de sus clientes.

La sociedad, sin ánimo de lucro, es la primera de estas características en España y se encuentra situada en Madrid. Hará frente a las responsabilidades medioambientales que asumen los productores e importadores de neumáticos y responderá a los objetivos de reducción, reciclaje y valoración definidos en el nuevo marco legislativo. El capital social de Signus es de 200.000 euros y ha sido desembolsado a partes iguales por sus fundadores, los cuales son también sus principales clientes y representan aproximadamente el 90% del volumen de neumáticos usados que se generan en España procedentes del mercado de reposición. Desde su creación, en mayo de 2005, Signus ha subrayado su firme compromiso social y ecológico promoviendo el uso y la gestión sostenible de los neumáticos fuera de uso, así como la prevención en la generación de los mismos. Signus destinará parte de sus ingresos al desarrollo e innovación de proyectos e infraestructuras orientadas a dar nuevas salidas y usos comerciales a los neumáticos reciclados.

Una vez obtenidas las autorizaciones y cuando todos los operadores hayan sido seleccionados, homologados y contratados, Signus podrá comenzar a realizar sus operaciones. Por todo ello es previsible que las operaciones no comiencen hasta finales del año 2006 [73].

### **Signus Ecovalor**

Dirección: C/ Caleruega, 102, 28033 Madrid  
Tel: +34 91 768 49 94  
Fax: +34 91 768 07 67  
E-mail: [info@signus.es](mailto:info@signus.es)  
URL: [www.signus.es](http://www.signus.es)



Este grupo Industrial alavés fabrica motores y equipos de propulsión marinos, actividad a la que se han ido sumando en sucesivos años la fabricación de toda una gama de motores de gas y sistemas de cogeneración.

El Grupo GUASCOR ha desarrollado una tecnología innovadora para el reciclaje de los neumáticos fuera de uso. En este proceso se obtienen separadamente los componentes de los neumáticos: negro de humo, acero y aceite base y un importante volumen de gas que una vez limpio se utiliza como combustible en los grupos generadores Guascor.

Este gran grupo, cuentan con una delegación en Madrid, aunque sus plantas de I+D e ingeniería se encuentran el Parque Tecnológico de Álava.

#### **Guascor Madrid**

Dirección: Avda. Cardenal Herrera Oria, 63, 4º, 28034 Madrid

Tel: 91 334 09 10

Fax: 91 358 52 10

E-mail: [madrid@guascor.com](mailto:madrid@guascor.com)

URL: <http://www.guascor.com/caste/home.htm>

---



Construcciones y Obras Llorente S.A. (COLLOSA), localizada en el Parque Tecnológico de Valladolid, desarrolla entre otros, proyectos de investigación para la construcción de carreteras con nuevos materiales:

- Técnicas y ensayos innovadores para la caracterización y el control de calidad de ligantes bituminosos y mezclas asfálticas para su utilización en la red viaria.
- Estudio de técnicas innovadoras para la regeneración de pavimentos de aglomerado mediante el reciclado de material fresado y utilización de materiales residuales en la construcción de carreteras.

#### **Collosa sede en Madrid**

Dirección: C/ Orense, 18, 8ºF, 28020 Madrid

Tel: 91 598 21 58

Fax: 91 598 21 58

URL: [www.collosa.es](http://www.collosa.es)

---

## **PORTVIGO**

Es la primera empresa en reciclar neumáticos de vehículos en España, empleando una tecnología puntera en el mundo, el reciclado por gasificación. **Portvigo** está construyendo dos plantas, una para el reciclaje de neumáticos y otra para el de lubricantes de motores. La tecnología que emplea la planta de neumáticos de As Somozas esta basada en la gasificación, de forma que el neumático se transforma en negro de humo, un material que se utiliza precisamente para construir las ruedas y que se vendería a fábricas especializadas, dado que existe una gran demanda del mismo. Un 20% del producto resultante será gas pobre, que se utilizará en motores de generación eléctrica. La chatarra se agrupará en bloques para venderla a fábricas de metales. El objetivo de **Portvigo** es producir al año, empleando como carburantes este gasóleo y el humo pobre de los neumáticos, unos 20 megavatios de electricidad, un volumen que serviría para abastecer a la mitad de los hogares de un municipio como Santiago de Compostela. Además, el calor generado por los motores se aprovechará en

un secadero de madera y en un área de cultivos hidropónicos, en la que se cosechará cebada con capacidad para alimentar a 24.000 cabezas de ganado.

#### **Port-Vigo**

Dirección: Cánovas del Castillo, 4, 36202 Vigo (Pontevedra)  
Tel: 986 22 37 00

---



Los objetivos de esta empresa son dar soluciones al problema de los neumáticos fuera de uso que generan los diferentes talleres y que ocupan un lugar en su almacén y gestionar de forma correcta dichos neumáticos, asegurarse de que su eliminación, valorización o reciclaje se realizan de forma adecuada con respeto al medio ambiente y conforme con lo previsto a la legislación vigente.

#### **Albar, Recuperaciones y Reciclajes S.L.**

Dirección: Plza. de la Rinconada, 9, 5ªA, 47001 Valladolid  
Tel: 683 36 22 05 / 04  
E-mail: [Albar100@wanadoo.es](mailto:Albar100@wanadoo.es)  
URL: [www.ambientum.com/webs/albar/](http://www.ambientum.com/webs/albar/)

---

### **RECAUCHUTADOS MESAS S.A. (Albacete)**

Se dedican al reciclado de Neumáticos de camión, agrícola e industrial; producción y venta de bandas preestampadas para camión, y producción y venta de goma.

#### **Recauchutados Mesas S.A.**

Dirección: Pol.Ind. Campollano c/c 14, 02007 Albacete  
Tel: 967 21 95 00  
E-mail: [direccion@rmesas.com](mailto:direccion@rmesas.com)  
URL: [www.rmesas.com/es/index.htm](http://www.rmesas.com/es/index.htm)

---



Es una joven empresa con mentalidad medioambientalista que persigue encontrar soluciones rentables ecológicas y económicas al importante problema del tratamiento de este residuo potencialmente peligroso, a través de su iniciativa empresarial.

#### **Recu-matic**

Dirección: C/ Acacias. Pol.Ind. Los Brezos, 09196 Villalba de Burgos (Burgos)  
Tel: 945 29 11 46  
E-mail: [recumatic@recumatic.com](mailto:recumatic@recumatic.com)  
URL: [www.recumatic.com/contacto.htm](http://www.recumatic.com/contacto.htm)

---

### **RENECAL**

La planta de **Renecal**, de Guardo, es la primera fábrica española que ha llegado a un acuerdo con los productores de neumáticos para dar una salida ecológica a las ruedas usadas. Michelin, Bridgestone, Continental, Goodyear-Dunlop y Pirelli, fieros

competidores para sacar a la venta sus productos, se han unido para acometer el reciclaje de los neumáticos que fabrican, al que están obligados por ley.

El acuerdo alcanzado entre Signus Ecovalor, entidad fundada por estas grandes firmas para tutelar el correcto reciclado de los neumáticos, y la planta palentina supone el envío anual a las instalaciones de Guardo de, al menos, 13.000 toneladas de ruedas gastadas a partir del mes de octubre.



Creada en 1977 como empresa consultora y de servicios y dentro del Grupo Elsamex el CIESM es una empresa de ingeniería y servicios integrales, enfocada hacia temas relacionados con las infraestructuras.

Dedicada a la gestión, explotación y mantenimiento integral de infraestructuras, carreteras, ferrocarriles, puertos, aeropuertos, aguas, medio ambiente, edificios, instalaciones industriales, sistemas de comunicación y redes eléctricas, redacción de proyectos especiales, estudios informáticos, anteproyectos, proyectos, asistencia técnica de control y vigilancia de obras, y dirección de obras. Con una prolongada experiencia en el control de materiales y trabajos a pie de obra, han hecho del CIESM una fuente de información y experiencia que le sitúan entre los primeros laboratorios de su especialidad.

Su labor investigadora se desarrolla en el campo de la construcción civil y obras públicas, avalada por doscientos productos y sistemas diseñados y comercializados, ha permitido que las tecnologías CIESM estén presentes hoy en más de veinte países.

Sus expertos han proporcionado información para la elaboración de este trabajo, relativa a la utilización de polvo de neumáticos usados en aplicaciones a materiales bituminosos.

#### **CIESM**

Dirección: Parque Empresarial Barajas Park, C/San Severo, 18, 28042 Madrid

Tel: +34 91 329 44 77

Fax: +34 91 329 40 57

URL: [www.grupoelsamex.com/ciesm](http://www.grupoelsamex.com/ciesm)



Integrado en el CEDEX, el Centro de Estudios de Carreteras es la organización especializada en tareas de asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico e innovación en materia de

proyecto, construcción y explotación de las redes viarias, así como de la ingeniería de tráfico y la seguridad de la circulación.

Entre sus campos de actividad destacan:

- Investigación y ensayo de materiales de carreteras
- Proyecto y construcción de carreteras
- Ensayos a escala real de firmes

- Características superficiales de pavimentos
- Rehabilitación de firmes y sistemas de gestión
- Ingeniería de tráfico
- Señalización vial y seguridad de la circulación

#### **Cedex**

Dirección: Autovía de Colmenar Viejo, km. 18,2, 28760 El Goloso (Madrid)

URL: [www.cedex.es/carreteras](http://www.cedex.es/carreteras)

### **TIRCA, TECNOLOGÍA INTEGRAL DE RECUPERACIÓN DEL CAUCHO**

TIRCA, S.L., en el proceso de reciclado criogénico de los NFUs, obtiene un polvo de caucho, que abarca amplias granulometrías de 20 mesh a 150 mesh (2 mm - 0.1 mm).

TIRCA, S.L., a través de la sociedad QUIMICA PLUS, S.L., ha desarrollado una gama de productos de construcción (Morteros de Construcción y Pinturas) a base de caucho denominados CAUCHO PLUS, para todo tipo de edificios y construcciones.

La característica principal de estos productos es su gran capacidad de impermeabilización y aislamiento térmico/acústico, aprovechando todas las propiedades del caucho.

Actualmente esta empresa ha suspendido la totalidad de sus actividades.

#### **Tirca, SL.**

Dirección: Avda. de Andalucía, 541, 28340- Valdemoro (Madrid)



Actualmente esta empresa ha suspendido la totalidad de sus actividades.

La Fundación GAIKER es un Centro Tecnológico cuya misión es la Investigación y la prestación de Servicios Tecnológicos e Innovadores a las empresas. Desde su creación en 1985, contribuye al desarrollo tecnológico y a la competitividad del tejido empresarial mediante la generación, captación, adaptación y posterior transferencia de tecnologías relacionadas con sus áreas de Conocimiento (Plásticos y Composites, Sostenibilidad y Medio Ambiente, Reciclado y Valorización y Biotecnología). La referencia a las actividades de GAIKER en el ámbito del reciclaje es obligada. El Centro ha llevado a cabo experiencias de reciclaje pioneras en España.

Su contribución se centra en el desarrollo, captación y adaptación de las tecnologías necesarias para el tratamiento de las diferentes corrientes de residuos. Igualmente, GAIKER contribuye a la definición de la logística de recogida y el aprovechamiento de los materiales recuperados, con especial atención a los materiales plásticos.

#### **Servicios Tecnológicos Gaiker**

Dirección: Parque Tecnológico ED 202, 48170- Zamudio

Tel: 94 600 23 23

Fax: 94 600 23 24

URL: [www.gaiker.es](http://www.gaiker.es)



Energis Valorización de Residuos, S.A., es la empresa del Grupo Holcim (España) encargada de la gestión de residuos para su uso como combustibles y materiales alternativos en las fábricas de cemento de Holcim. Su objetivo es prestar un servicio adecuado de gestión de residuos a la vez que contribuye al desarrollo sostenible proponiendo una alternativa al consumo de recursos naturales no renovables, mediante el empleo de combustibles y materiales alternativos en las fábricas de cemento.

Hoy el Grupo Holcim (España) emplea combustibles y materiales alternativos en sus seis fábricas de cemento, Lorca (Murcia), Gádor y Carboneras (Almería), Torredonjimeno (Jaén) Jerez de la Frontera (Cadiz) y Yeles (Toledo) de la Frontera (Cádiz). La visión de Holcim (España), al igual que la de su matriz suiza, tiene el objetivo de crear las bases para la sociedad del futuro; visión que se desarrolla a través de los principios de Solidez, Rendimiento y Entusiasmo presentes en todas sus actividades.

Holcim (España) dispone de los permisos necesarios y las instalaciones adecuadas para la valorización de NFU's en sus plantas de cemento de Jerez (neumáticos enteros y triturados), Carboneras (triturados) y Lorca (enteros).

#### **Energis Valorización de Residuos ,S.A. Oficinas Centrales**

Dirección: Paseo de la Castellana nº 95, 3ª Planta, 28046 Madrid.

Tlf: 91 590 93 08

Fax: 91 555 37 77

URL: [www.energis.es](http://www.energis.es)



Desde hace más de una década, **RECUPERACIÓN MATERIALES DIVERSOS, S.A.** realiza la recuperación y el reciclaje de materiales diversos ricos en cobre y aluminio, y la recuperación integral de neumáticos y otros residuos de caucho.

El compromiso de RMD es aportar soluciones capaces de armonizar desarrollo económico, progreso tecnológico y respeto por el medio ambiente. RMD tiene implantado un Sistema de Gestión de Calidad en todo el recinto de su planta de LEÓN, y una certificación específica en el área de "Valorización de residuos de cables telefónicos y de telecomunicación, aparatos de conmutación de centrales telefónicas, residuos de caucho (neumáticos fuera de uso y otros residuos de caucho) y materiales diversos con contenidos en metales ferricos y no ferricos".

Su inversión total en proyectos de I+D+i supera los 4M€ y sus principales proyectos se enfocan hacia:

- Desarrollo de un sistema de reciclado integral de neumáticos usados con diseño y validación de planta.



- Estudio y adaptación de nuevas líneas de producto y basadas en el empleo de cauchos reciclados.
- Estudio sobre la aplicación de la termólisis a la valorización energética de residuos industriales con diseño de planta piloto.
- Aplicación de la INTRUSIÓN para la utilización de residuos plásticos en la fabricación de mobiliario urbano.
- Estudio sobre el tratamiento de HUMOS en Residuos Industriales.
- Realización Prototipo Semi Industrial Termolizador.

Disponen de varios emplazamientos en el territorio nacional:

#### RMD

Dirección: Ctra. La Bañeza, Km 7.5, 24251 Ardoncino (León)

Tel: +34 987 28 88 99

Fax: +34 987 28 88 98

Dirección: C/ Els Esqueis, 15 Pol Ind Can Barri, 08415 Bigues I Rielles (Barcelona)

Tel: +34 93 865 70 73

Fax: +34 93 865 70 67

Dirección: C/ General Lobo Montero, nº 18, 46930 Quart de Poblet (Valencia)

Tel: +34 96 19 21 029

Fax: +34 96 36 70 928

URL: [www.rmdsa.com](http://www.rmdsa.com)

Dirección: Ctra. A-477 Gerena-Aznalcázar, Km. 15,5, Aznalcóllar (Sevilla)



#### COFACO, Consorcio Nacional de Industriales

**del Caucho**, es la única Organización empresarial española de Caucho. Fundado en 1948, está formado en la actualidad por cuatro colectivos diferentes:

- Empresas Transformadoras de Neumáticos y No Neumáticos.
- Empresas Productoras y Distribuidoras de Materias Primas para la Industria del Caucho.
- Empresas Fabricantes y Distribuidoras de Maquinaria para la Industria del Caucho.
- Empresas Comercializadoras de Productos de Caucho.

#### COFACO

Dirección: C/ Sirio, 18 - Bajo, 28007 Madrid (España)

Tel: +34 91 445 84 12

Fax: +34 91 447 81 11

URL: [www.consorciocaucho.es](http://www.consorciocaucho.es)

Además **COFACO**, proporcionó información sobre otras empresas consorciadas dedicadas al reciclaje de neumáticos y/o caucho, son las siguientes:

## HIJOS DE VICENTE SEMPRE

Dirección: Polígono Industrial de Cañada, S/N, 03409 Cañada (Alicante)  
Tel: +34 96 582 05 70  
Fax: +34 96 582 05 79  
E-mail: [info@hvsempere.com](mailto:info@hvsempere.com)  
URL: [www.hvsempere.com/flash/home.htm](http://www.hvsempere.com/flash/home.htm)

---



Se dedican al reciclaje de neumáticos y desperdicios de caucho y la comercialización de losetas de caucho granulado, pavimentos deportivos, placas de amortiguación, planchas de aislamiento acústico. Están situados en Barcelona.

### Alfredo Mesalles, S.A.

Dirección: Avda. de Bertrán i Güell, 25, 08850 Gavá (Barcelona)  
Tel: +34 93 638 21 30  
Fax: +34 93 638 02 84  
E-mail: [amsa@sefes.es](mailto:amsa@sefes.es)

---

Industrias Mujika  
rubber compounds

Dedicados al reciclaje, clasificación y comercialización de goma y caucho.

### Industrias Mújika

Dirección: Polígono San Juan, Sector 11, Apartado de Correos 76, 20750 Bergara (Guipúzcoa)  
Tel: 943 76 51 01  
Fax: 943 76 14 99  
E-mail: [ind.mujika@km0.com](mailto:ind.mujika@km0.com)

---

## ENTIDADES ESPAÑOLAS INCLUIDAS EN EL PLAN EUROPEO DE RECICLAJE



Neuciclaje: Se define como una Ecoindustria que tiene como objetivo el reciclaje de neumáticos y caucho técnico desechados. Los neumáticos una vez triturados son mezclados con cemento. Su área habitual de recogida de neumáticos fuera de uso

por parte de NEUCICLAJE es la zona Norte, en un radio de acción de 120 kilómetros desde sus instalaciones en Zamudio (Bilbao) [74].

### Neuciclaje

Dirección: Polígono Piona s/n , 48170 Zamudio (Vizcaya)  
Tel: 94 452 05 45  
E-mail: [info@neuciclaje.com](mailto:info@neuciclaje.com)  
URL: [www.neuciclaje.com](http://www.neuciclaje.com)

---



Es la única organización Europea dedicada exclusivamente a la industria del reciclaje de los neumáticos y el caucho. Sus miembros pertenecen tanto a los sectores públicos como privados relacionados con la seguridad medioambiental de los neumáticos fuera de uso. Fundada en septiembre del 2004 con 19 miembros en 5 países, actualmente tiene más de 250 miembros en 47 países, incluidos los 25 estados miembros europeos.

Con un enfoque en los materiales y recuperación energética, los miembros de ETRA incluyen colectores, recauchutados, fabricación de equipos de reciclaje, equipos de investigación y desarrollo, usuarios de nuevas tecnologías así como usuarios de los nuevos materiales en expansión, tanto en los productos como en sus aplicaciones [75].

**The European Tyre Recycling Association**

Dirección: 7, rue Leroux, 75116 Paris, France

Tel: +33 1 45 00 37 77 / 83 47

URL: [www.etra-eu.org](http://www.etra-eu.org)

---

---

---

## 5.2 Gestión neumáticos usados

En el panorama del sistema de gestión de los neumáticos fuera de uso en Europa y España [18] se puede resaltar los siguientes casos:

En **Noruega** se estableció en 1995 la empresa Norsk Dekkretur AS para la gestión de los NFUs. El sistema de gestión en este país se establece mediante una financiación por las cuotas que se pagan por cada neumático nuevo o recauchutado (2€ + IVA por neumático de automóvil en 1995, 1,25€ + IVA en 2001, y 6€ + IVA en 2005 para el caso de los camiones), a medida que se ha mejorado la eficacia en el tratamiento de los NFU se ha ido reduciendo.

El uso final de los NFU fue, en los primeros años, como combustible en las cementeras, posteriormente en ingeniería civil, recauchutado, o alfombras para animales... aunque no hay nada desarrollado para el material granulado porque no existe en este país ninguna compañía que lo produzca.

En **Hungría** la asociación de recicladores de neumáticos se denomina Öko-Gum. El sistema de cuota es compartido, una cantidad se paga por el producto (por cada neumático nuevo de automóvil 0,45 € en 2005), más una cantidad por utilización que paga el consumidor directamente (0,134 € en 2005).

Proyectos de uso para 2005-2006; superficies de campos de juego (1000), campos de deporte (100), 100km de carril bici, 50km de carreteras agrícolas, y re-cultivo de 20.000 m<sup>2</sup> de vertederos.

En **España** se crea SIGNUS. Los productores/importadores de neumáticos han de recoger una cantidad de NFU hasta igualar la que ellos introducen en el mercado, sin almacenar durante más de 2 años y/o 30 toneladas. Sistema preferido el de gestión integrada y los criterios de financiación a cargo de los fabricantes/importadores en proporción a su cuota de mercado. Este sistema pagará por todas las actividades y etapas, desde la recolección al reciclado o valorización.

Recientemente (Marzo 2006) Signus Ecovalor presentó en el Ministerio de Medio Ambiente las estrategias que se van a llevar a cabo para la valorización de los residuos de NFU:

- 20% se destinará a la reutilización. Serán 46.000 Tn para recauchutado y para segundo uso.
- 35% para valorización material. 80.000 Tn para asfaltos, pistas deportivas, obra civil. Para mezclas bituminosas se debe conseguir un polvo de menos de 500 micras, lo cual es caro y difícil. En obra civil se puede aprovechar el NFU en Taludes.
- 45% Valorización energética. 105.000 Tn para cementeras y acerías de arco eléctrico. En esta última opción se han centrado muchas esperanzas.



## CAPÍTULO 6

### Bibliografía

- [1] UE. Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos. *Diario Oficial*, 16 de julio de 1999, núm. L182, p. 0001.
- [2] España. Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de enero de 2002, núm. 25, p. 3507.
- [3] UE. Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de septiembre de 2000 relativa a los vehículos al final de su vida útil. *Diario Oficial*, 21 de octubre de 2000, núm. L 269, p. 34.
- [4] España. Resolución de 8 de octubre de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros de 5 de octubre de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso, 2001-2006. *Boletín Oficial del Estado*, 30 de octubre de 2001, núm. 260, p. 39547.
- [5] España. Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso. *Boletín Oficial del Estado*, 3 de enero de 2006, núm.2, p.352.
- [6] US 3633. Charles Goodyear. 5/06/1844.
- [7] Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. W. F. Smith. McGraw Hill. (1993).
- [8] Projet d'état 10 Dec. 2003: Aide à l'exécution relative à l'entreposage au traitement et à la valorisation des pneus usagés. OFEFP. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. Suisse.
- [9] ETRA (European Tyre Recycling Association), [www.etra-eu.org](http://www.etra-eu.org)
- [10] MYHRE, Marvin; MACKILLOP, Duncan A. *Rubber Chemistry and Technology* 75 (3) (2002) p. 429-474.
- [11] Club Español de los Residuos. *Seminario sobre innovación en el aprovechamiento de NFUs*. Colegio Oficial de Ingenieros de Industriales de Madrid, 20 diciembre 2000.
- [12] SCAFFARO, R.; DINTCHEVA, NT.; NOCILLA, MA.; LA MANTIA, FP. *Polymer Degradation and Stability* 90 (2) (2005) p. 281-287.
- [13] HAN, SC.; HAN, MH. *Journal of Applied Polymer Science* 85 (12) (2002) p. 2491-2500.
- [14] HERNÁNDEZ-OLIVARES, F.; BARLUENGA, G.; BOLLATI, M.; WITOSZEK, B. *Cement and Concrete Research* 32 (2002) p. 1587-1596.
- [15] ALBANO, C.; CAMACHO, N.; REYES, J.; FELIU, J.L.; HERNÁNDEZ, M. *Composite Structures* 71 (2005) p. 439-446.
- [16] RAGHAVAN, D. *Journal of Applied Polymer Science* 77 (2000) p. 934-942.
- [17] TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANJU, J.-L. *Building and Environment* 40 (2005) p. 221-226.
- [18] MARCOS, Angel. *Revista de Plásticos Modernos* 89 (587) (2005) p. 473-481.
- [19] ADHIKARI, B.; DE, D.; MAITI, S. *Progress in Polymer Science* 25 (2000) p. 909-948.
- [20] WENLAI, Feng; ISAYEV, A.I. *Journal of Polymer Science; Part. B: Polymer Physics* 43 (2005) p. 334-344.
- [21] WENLAI, Feng; ISAYEV, A.I.; VON MERRWALL, E. *Polymer* 45 (2004) p. 8459-8467.
- [22] WENLAI, Feng; ISAYEV, A.I. *Journal of Applied Polymer Science* 94 (2004) p. 1316-1325.
- [23] YINGZI, Chen; HUILIN, Li. *Polymer Engineering and Science* 44 (8) (2004) p. 1509-1513.
- [24] YASHIN, V.V.; ISAYEV, A.I. *Polymer* 45 (2004) p. 6083-6094.

- [25] JEON SEOK, Oh; ISAYEV, A.I. *Journal of Applied Polymer Science* 93 (2004) p. 1166-1174.
- [26] ISAYEV, A.I. *Polymer Engineering and Science* 44 (4) (2004) p. 794-804.
- [27] YUN, J.; YASHIN, V.V.; ISAYEV, A.I. *Journal of Applied Polymer Science* 91 (2004) p. 3342-3353.
- [28] JEON SEOK, Oh; SAYATA, Ghose; ISAYEV, A.I.. *Journal of Polymer Science; Part B: Polymer Physics* 41 (2003) p. 2959-2968.
- [29] JIN, Kim; SUNG, Lee; SUNG, Hwang. *Journal of Applied Polymer Science* 90 (2003) p. 2503-2507.
- [30] JUSHIL, Yun; ISAYEV, A.I. *Polymer Engineering and Science* 43 (4) (2003) p. 809-821.
- [31] SANG, Eu Shim; ISAYEV, A.I. *Journal of Applied Polymer Science* 88 (2003) p. 2630-2638.
- [32] SAYATA, Ghose; ISAYEV, A.I. *Journal of Applied Polymer Science* 88 (2003) p. 980-989.
- [33] JUSHIK, Yun; ISAYEV, A.I.; SEOK, H. Kim; MAYURESH, Tapale. *Journal of Applied Polymer Science* 88 (2003) p. 434-441.
- [34] CHANG, K. Hong; ISAYEV, A.I. *Journal of Applied Polymer Science* 83 (2002) p. 160-168.
- [35] CHANG, K. Hong; ISAYEV, A.I. *Journal of Applied Polymer Science* 79 (2001) p. 2340-2348.
- [36] KIM, D.; SHIU, FJY.; YEN, TF. *Energy Sources* 25 (11) (2003) p. 1099-1112.
- [37] MILANI, M.; SCHORK, FJ.; LIOTTA, CL.; POEHLIN, GW. *Polymer Reaction Engineering* 9 (1) (2001) p. 19-36.
- [38] KOJIMA, M.; TOSAKA, M.; IKEDA, Y.; KOHJIYA, S. *Journal of Applied Polymer Science* 95 (1) (2005) p. 137-143.
- [39] MASAOKI, Kojima; SHINZO, Kohjiya; YUKU, Ikeda. *Polymer* 46 (2005) p. 2016-2019.
- [40] AKIO, Tsuchii; YUTAKA, Tokiwa. *Biotechnology Letters* 23 (2001) p. 963-969.
- [41] BREDBEG K.; ANDERSSON, BE.; LANDFORS, E.; HOLST, O. *Bioresource Technology* 83 (3) (2002) p. 221-224.
- [42] TRIPATHY, A.R.; WILLIAMS, DE.; FARRIS, RJ. *Polymer Engineering and Science* 44 (7) (2004) p. 1338-1350.
- [43] NASHVILLE. *Rubber Chemical Technology* 72 (1999) p. 235.
- [44] KENZO, Fukumori; MITSUMASA, Matsushita; HIROTAKA, Okamoto; NORIO, Sato; YASUYUKI, Suzuki; KATSUMASA, Takeuchi. *Society of Automotive Engineers of Japan Review* 23 (2002) P. 259-264.
- [45] JANA, G.K.; MAHALING, R.N.; DAS, C.K. *Journal of Applied Polymer Science* 99 (2006) p. 2831-2840.
- [46] MARIDASS, B.; GUPTA, BR. *Kautschuk Gummi Kunststoffe* 56 (5) (2003) p. 232-236.
- [47] KOSTANSKI, L.K. et. al. *Rubber Chemical Technology* 73 (2000) p. 148.
- [48] KOHJI, Masaki; SHIN-ICHI, Ohkawara; TOMOHIRO, Hirano; MAKIKI, Seno; TSUNEYUKI, Sato; *Journal of Applied Polymer Science* 91 (2004) p. 3342-3353.
- [49] WENLAI, Feng; ISAYEV, A.I. *Polymer engineering and science* 46 (2006) p. 8-18.
- [50] YUN, JS.; ISAYEV, A.I. *Journal of Applied Polymer Science* 92 (1) (2004) p. 132-138.
- [51] SCURACCHIO, CH.; BRETAS, R.; ISAYEV, A.I. *Journal of Elastomers and Plastics* 36 (1) (2004) p. 45-75.
- [52] SHUNYA, Li; LAMMINMÄKI, Johanna; KALLE, Hanhi. *Journal of Applied Polymer Science* 97 (2005) p. 208-217.



- [53] YUN, J.; OH, JS.; ISAYEV, A.I. *Rubber Chemistry and Technology* 74 (2) (2001) p. 317-330.
- [54] MARTINEZ, M. Eugenia. *Tire Technology International* (2002) p. 86-88.
- [55] LARESGOITI, M.F.; CABALLERO, B.M.; DE MARCO, Isabel; TORRES, A.; CABRERO, M.A.; CHOMÓN, M.J. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 71 (2004) p. 917-934.
- [56] AGUADO, Roberto; OLAZAR, Martín; VÉLEZ, David; ARABIOURRUTIA, Miriam; BILBAO, Javier. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 73 (2005) p. 290-298.
- [57] MURILLO, R.; AYLÓN, E.; NAVARRO, N.V.; CALLÉN, M.S.; ARANDA, A.; MASTRAL, A.M. *Fuel Processing Technology* 87 (2006) p. 143-147.
- [58] MARCOS, Ángel; RODRÍGUEZ, A.; FERNÁNDEZ, A. *Revista de Plásticos Modernos* 90 (591) (2005) p. 230-234.
- [59] LARESGOITI, M.Felisa; DE MARCO, Isabel; TORRES, Amelia; CABALLERO, Blanca; CABRERO, M. Ángel; CHOMÓN, M. Jesús. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 55 (2000) p. 43-54.
- [60] DE MARCO, Isabel; CABALLERO, Blanca; TORRES, Amelia; LARESGOITI, M.Felisa; CHOMÓN, M. Jesús; CABRERO, M. Ángel. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 77 (2002) p. 817-824.
- [61] DE MARCO, Isabel; LARESGOITI, M.Felisa; CABRERO, M. Ángel; TORRES, Amelia; CHOMÓN, M. Jesús; CABALLERO, Blanca. *Fuel Processing Technology* 72 (2001) p. 9-22.
- [62] MASTRAL, A.M.; MURILLO, R.; CALLEN, M.S.; GARCÍA, T. *Resources Conservation and Recycling* 29 (2000) p. 263-272.
- [63] YOUSEFI, A.A.; AIT-KADI, A.; ROY, C. *Fuel* 79 (2000) p. 975-986.
- [64] CAPPI, D. Marcelo. "Environmental reclamation of eroded areas as a final destination of worn out tyres". Director: Gerd Sparovek. Thesis doctoral. Instituto Brasileiro de Informacao em Ciencia e Tecnologia, 2004.
- [65] LIÉBANA, E.Julian. "Recycling of ground tyre rubber and polyolefin wastes by producing thermoplastic elastomers". Director: Karger-Kocsis, József. Thesis doctoral. Universität Kaiserslautern, 2005.
- [66] RICE, G.Edward. "The characterisation and recycling of incinerated tyres". Thesis doctoral. University of Nottingham, 2002.
- [67] The European Tyre Recycling Association. "Introduction to tyre recycling: 2006".
- [68] "Orden circular 5bis/2002 sobre las condiciones para la adición de polvo de neumático usados en las mezclas bituminosas". Jornadas sobre utilización de neumáticos fuera de uso en carreteras 2002. Anejo2.
- [69] GALLEGO, J. "Mezclas bituminosas fabricadas con betunes de alto contenido de caucho. Aplicaciones al recrecimiento de un pavimento rígido en la A-7". *Revista de Obras Públicas* (Diciembre 2003).
- [70] EMERY, J. *Transportation Research Record* 1515 (1995) p. 37-46.
- [71] TOMÁS, R. "Panorámica general sobre la utilización de NFU en carreteras". *Jornada Comunidad de Madrid* (5 de Abril de 2006).
- [72] EUROPEAN STANDARD. *End-of-life tyre-Recycling-Materials*. prEN 14243. Brussels: 2005.

[73] Sociedad Signus Ecovalor, [www.signus.es](http://www.signus.es)

[74] Neuciclaje, [www.neuciclaje.com](http://www.neuciclaje.com)

[75] Asociación Europea de Reciclaje de Neumáticos, [www.etra-eu.org](http://www.etra-eu.org)

[76] España. Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. *Boletín Oficial del Estado*, 22 de abril de 1998, núm. 96, p. 13372.



## CAPÍTULO 7

### Anexos

- Anexo I Legislación: ámbito europeo y estatal (PÁG. 76)
- Anexo II Partes de los Neumáticos Radiales (PÁG. 80)
- Anexo III Propiedades físicas y químicas más comunes (PÁG. 81)
- Anexo IV Proyectos I+D (PÁG. 84)
- Anexo V Patentes (PÁG. 87)
- Anexo VI Grupos de investigación (PÁG. 98)

## ANEXO I Legislación: ámbito europeo y estatal

La Unión Europea adoptó la **Directiva 1999/31/CE** [1] relativa al vertido de residuos. Según su artículo 1.1 el objetivo de esta Directiva era establecer las medidas, procedimientos y orientaciones para impedir o reducir, en la medida de lo posible, los efectos negativos en el medio ambiente del vertido de residuos, en particular la contaminación de las aguas superficiales, las aguas subterráneas, el suelo y el aire, y del medio ambiente mundial, incluido el efecto invernadero, así como cualquier riesgo derivado para la salud humana, durante todo el ciclo de vida del vertedero.

Todos los años se generan residuos procedentes de los vehículos al final de su vida útil, que deben ser gestionados correctamente, por éstas y demás consideraciones, los estados miembros adoptaron la **Directiva 2000/53/CE** [3]. Esta Directiva establece medidas destinadas a la prevención de los residuos procedentes de vehículos y adicionalmente, a la reutilización, reciclado y otras formas de valorización de los vehículos al final de su vida útil y sus componentes, para así reducir la eliminación de residuos y mejorar la protección medioambiental. Entre las operaciones de tratamiento para fomentar el reciclado (Anexo I, apartado 4), se encuentra el de retirada de neumáticos y componentes plásticos de gran tamaño (por ejemplo, parachoques, salpicaderos, depósitos de fluidos, etc).

España es uno de los países europeos en los que, en gran porcentaje, se utiliza el vertedero para la eliminación de los residuos. La existencia de vertederos incontrolados y las obligaciones impuestas por la normativa comunitaria justifican la adopción del Real Decreto 1481/2001 que incorpora al derecho interno la Directiva 1999/31/CE [1].

El **Real Decreto 1481/2001** [2], establece el régimen jurídico aplicable a las actividades de eliminación de residuos mediante su depósito en vertederos. Asimismo, delimita los criterios técnicos mínimos para su diseño, construcción, explotación, clausura y mantenimiento. La relación entre los vertederos y el vertido de neumáticos se establece de la siguiente forma:

*“Artículo 3. No se admitirán en ningún vertedero los residuos siguientes: ... d) A partir del 16 de julio de 2003, neumáticos usados enteros, con exclusión de los neumáticos utilizados como elementos de protección en el vertedero, y a partir del 16 de julio de 2006, neumáticos usados troceados; no obstante, se admitirán los neumáticos de bicicleta y los neumáticos cuyo diámetro exterior sea superior a 1400 milímetros.”*

En octubre de 2001 se aprobó el **Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2001-2006** [4], en el que se preveía la elaboración y aprobación de un esquema económico para asegurar la correcta gestión ambiental de los NFU.

Para todo esto es obligado respetar el llamado principio de jerarquía, contemplado en el artículo 1.1 de la **Ley 10/1998**, de 21 de abril, de Residuos [76]. Se trata, por tanto, de prevenir en la medida de lo posible, reutilizar lo que se pueda, reciclar lo que no se pueda reutilizar y valorizar energéticamente todo lo que no se pueda reutilizar o reciclar.

En diciembre de 2005 se aprueba el **Real Decreto 1619/2005** [5], sobre la gestión de neumáticos fuera de uso. Este Decreto constituye la culminación de un proceso tendente a optimizar la gestión de los NFU.

Los contenidos básicos de este Real Decreto son los siguientes:

- Atribuir la responsabilidad básica de la correcta gestión de los NFU a los responsables de la puesta en el mercado de los neumáticos nuevos, ya sean fabricantes, importadores o adquirientes en otro Estado de la UE.
- Según dispone el artículo 1, prevenir la generación de NFU y establecer el régimen jurídico de su producción y gestión, con excepción de los neumáticos de bicicleta y aquellos cuyo diámetro exterior sea superior a 1.400 milímetros.
- Los productores deberán elaborar un plan empresarial de prevención de neumáticos fuera de uso para minimizar las afecciones al medio ambiente que incluirá, al menos, la identificación de los mecanismos aplicables para alargar la vida útil de sus productos y facilitar la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de los neumáticos fuera de uso.
- Establecer obligaciones para los productores de neumáticos tales como garantizar que se alcanzan, como mínimo, los objetivos ecológicos que se establecen en el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2001-2006 y en sus sucesivas revisiones. (art. 4.2).

Los objetivos ecológicos hoy en vigor son:

- Valorización del 100 por 100 de los NFUs troceados generados antes de 2007, incluidos los NFUs ya almacenados en los vertederos o depósitos existentes.
- Prohibición de la eliminación de los NFUs troceados a partir del 16 de julio de 2006.
- Reducción en un 5 por 100 en peso de los NFUs generados mediante el alargamiento de la vida útil de los neumáticos, la mejora del uso del neumático y de la conducción de los vehículos, entre el 2001 y el 2006.
- Recauchutado de, al menos, un 20 por 100 en peso de los NFUs de vehículos generados, antes del 1 de enero de 2007.
- Reciclado del 25 por 100 en peso de los NFUs procedentes de vehículos de turismo, antes del 1 de enero de 2007.
- Antes del 1 de enero de 2007, reciclado de, al menos, el 25 por 100 en peso de los NFUs procedentes de camiones.
- Identificar la figura del “Generador del residuo” (por ejemplo los talleres de coches) estableciendo sus obligaciones, entre las que destaca la de hacerse cargo de aquellos neumáticos fuera de uso que generen como consecuencia de la

prestación de un servicio dentro del marco de sus actividades. En este sentido estarán obligados a entregar los NFU al productor de neumáticos o a un centro autorizado o gestor, a menos que procedan a gestionarlos por sí mismo.

- Los sistemas integrados de gestión garantizarán la recogida de los neumáticos fuera de uso y su correcta gestión que se llevará a cabo a través de una entidad gestora que ha de tener personalidad jurídica propia y carecer de ánimo de lucro.

En este último sentido, en marzo de 2006 se presentó oficialmente la sociedad SIGNUS Ecovalor como primera entidad encargada de recoger y gestionar los neumáticos usados que se generan en España. La constitución de SIGNUS es resultado de una excelente colaboración del sector privado de la industria del neumático con la administración pública.

La sociedad SIGNUS Ecovalor representa el 95 por cien del mercado de reposición, comercializando 51 marcas diferentes. Los fabricantes e importadores de neumáticos han asumido con esta legislación el principio de responsabilidad del productor. Como próximas acciones han destacado el proceso de contratación de adhesión de productores, el lanzamiento de concursos de selección de centros de recogida y clasificación, la creación de un sistema informático para el control de la gestión de todos los puntos de recogida y el fomento de salidas de reciclado y valorización.

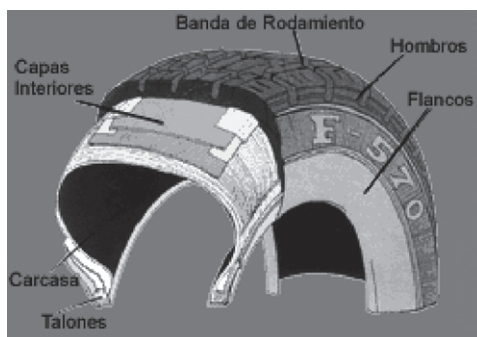
Según la nota de prensa del Ministerio de Medio Ambiente, del 23 de Marzo de 2006, el citado ministerio quiere romper el binomio de "a mayor crecimiento más residuos" mediante un Plan Integral de Prevención de Residuos en el que se está actualmente trabajando y busca incorporar instrumentos de mercado, procesos de participación y sistema de ayudas de I+D+i. La legislación ambiental que está promoviendo el Ministerio busca compatibilizar la mejora de la competitividad y dinamización de las empresas con el respeto y protección del medio ambiente. Y ello compatibilizándolo con el beneficio económico. En el caso de los neumáticos usados el coste de recogida y gestión se estima en unos 54 millones de euros y sin embargo los beneficios obtenidos tanto por la venta de materiales reciclados como de ahorro por su no incineración pueden alcanzar los 300 millones de euros al año.

TABLA 1. *Principio de Jerarquía.*

<b>Principio de Jerarquía</b>  Art. 1.1 Ley 10/1998	Posibilidades Tecnológicas	
	Prevenir	- Fabricante: Alargando la vida media de los neumáticos. - Usuario: Mejorando la calidad de la conducción y el mantenimiento del neumático.
	Reutilizar lo que se pueda	Recauchutado.
	Reciclar lo que no se pueda reutilizar	Reciclado: - Neumáticos enteros: para puertos, muros de contención, etc. - Neumáticos troceados y granulados (granza): para pistas deportivas, vías. revestimientos de pavimentos, etc.
	Valorizar energéticamente lo que no se pueda reutilizar o reciclar	- Como combustible - Pirolisis-Termólisis - Gasificación - Despolimerización



## ANEXO II Partes de los Neumáticos Radiales



Las cuerdas de la carcasa están dispuestas en sentido perpendicular a los talones. Los neumáticos radiales tienen cinturones dispuestos en forma circunferencial, ubicados bajo la banda de rodamiento, para aumentar la resistencia de la zona de banda y concentrar la flexibilidad en la pared lateral. Al restringir el movimiento de la banda durante la pisada, los cinturones disminuyen la velocidad de desgaste, aumentando la vida útil de la banda. Las partes de un neumático radial son las siguientes:

**Telas.** En la construcción radial, las cuerdas de la tela de carcasa corren a talón en el sentido radial. Son ellas las que tiene la función de soportar la carga. Sobre las telas de la carcasa, en el área de la banda de rodamiento son montadas las telas estabilizadoras. Sus cuerdas corren en sentido diagonal y son las que mantienen la estabilidad del neumático.

**Banda de rodamiento.** Es la parte del neumático que permite la adherencia al suelo. Su diseño debe proporcionar capacidad de frenado y tracción. Su compuesto de caucho debe resistir la abrasión y el desgaste.

**Pared lateral.** Es la parte de la estructura que va de la banda de rodamiento hasta el talón, siendo revestida por un compuesto de caucho con alta resistencia a la fatiga por flexión.

**Innerliner.** Es el revestimiento protector de la estructura en la parte interna del neumático. En el caso de los neumáticos radiales de acero sin cámara, éstos tienen impermeabilidad al aire y a la humedad.

**Talones.** Están compuestos de cables de acero revestidos en cobre para evitar la oxidación, separados individualmente por compuestos de caucho para evitar el contacto entre ellos y revestidos de tejido tratado. Su función es amarrar el neumático a la llanta y tener alta resistencia a la rotura.

---

---

## ANEXO III Propiedades físicas y químicas más comunes

### Propiedades Químicas

**Extracción con acetona (EA);** cantidad de sustancia extraída con acetona, reflujo de la muestra durante un periodo definido de tiempo.

**Contenido de ceniza (CC);** cantidad de ceniza obtenida bajo determinadas condiciones de proceso.

**Valor calorífico (VC);** cantidad de calor generado por la quema completa del material.

**Contenido de negro de carbón (NC);** porcentaje en masa del negro de carbón.

**Carbón total (CT);** cantidad de carbón en la muestra.

**Cloro (CL);** Porcentaje en masa de cloro.

**Relación NR/SR (S/N);** relación entre el caucho natural y sintético.

**pH (pH);** acidez de una solución acuosa del material.

**Contenido de hidrocarburos del caucho (HC);** porcentaje en masa de los polímeros de caucho en el compuesto.

**Solventes extraíbles (SE);** cantidad de material extraído mediante ebullición del solvente.

**Azufre (S);** porcentaje en masa de azufre de la muestra.

**Caucho sintético (CS);** identificación de los tipos de caucho en la muestra.

**Volátiles (V);** cantidad de volátiles emitidos por la muestra, bajo determinadas condiciones de proceso.

**Zinc (Z);** porcentaje en masa de zinc en el caucho de la muestra.

### Propiedades físicas

**Dimensión de agregados (DA);** Unidades de dimensión de los agregados determinado mediante microscopía electrónica.

**Densidad (D);** masa por unidad de volumen.

**Índice del volumen comprimido (IVC)** (para negro de carbón); porcentaje de volumen de negro de carbón respecto a una referencia estándar.

**Absorción CDBP (CDBP)** (para negro de carbón); absorción DBP después de compresión.

**Consistencia de color (C)**; empleado como un criterio de evaluación.

**Densidad de compacto (DC)**; densidad de la partícula individual.

**Compresibilidad (CP)**; deformación del material sometido a fuerza vertical y/o horizontal.

**Área superficial CTAB (CTAB)** (para negro de carbón); cantidad de bromuro de cetiltrimetilamonio absorbido mediante disolución acuosa como medida de la superficie específica no porosa.

**Absorción DBP (DBP)** (para negro de carbón); medida de la estructura determinada mediante el volumen de vacío con dibutilftalato.

**Deformación de rotura (ER)**; porcentaje de alargamiento de una pieza a la rotura.

**Dureza para negro de carbón (DN)**; resistencia a la deformación de las partículas individuales o pellets.

**Dureza para caucho (DCA)**; medida de dureza en la escala internacional de dureza del caucho.

**Conductividad hidráulica (CH)**; velocidad de flujo de agua a través de una capa específica de material bajo una presión hidráulica conocida, expresada en m/s.

**Adsorción de yodo (AI)** (para negro de carbón); cantidad de yodo adsorbido mediante solución acuosa en correlación con el área superficial específica, no aplicable a negro de carbón altamente poroso u oxidado.

**Humedad (H)**; porcentaje de humedad retenida en un material durante y/o después del proceso, comparado con una masa seca.

**Tamaño de partícula (TP)**; tamaño de una partícula individual después del proceso.

**Coefficiente de poisson (P)**; relación entre la tensión horizontal y vertical.

**Densidad de poro (DP)**; masa aparente por unidad de volumen de una partícula.

**Impureza (I)**; medida de materia extraña, tales como metal, vidrio y textil.

**Módulo elástico (ME)**; medida de la rigidez cuando el material se somete a un esfuerzo.

**Tamizado (T)**; cantidad de residuo grueso no purgado mediante agua, a través del tamizado.

**Gravedad específica (GE)**; relación entre la masa de un volumen dado de material y el mismo volumen de agua.

**Superficie específica (SS)**; medida del área superficial de la partícula.

**Área superficial por absorción de N<sub>2</sub> (N<sub>2</sub>)** (para negro de carbón); área superficial calculada mediante la cantidad de nitrógeno absorbido.

**Resistencia a la rotura (RR)**; fuerza máxima necesaria para romper una pieza sometida a un ensayo específico, la fuerza actúa paralela al eje mayor de la pieza.

**Resistencia a la tracción (RT);** esfuerzo máximo de una pieza sometida a tensión, hasta la rotura.

**Conductividad térmica (CTE);** medida de la rigidez a la cual se trasfiere calor a través de un material.

**Viscosidad (VI);** facilidad con la cual las cadenas se mueven causando la deformación.

**Absorción de agua (AA);** crecimiento en masa del material seco debido a la penetración de agua en los huecos intersticiales.

## ANEXO IV Proyectos I+D

<i>Base de Datos</i>	<i>CORDIS</i>
Título	<i>Environmentally appropriate complete utilisation of worn-out tires by cryogenic detonative and pirolitic technology.</i>
Referencia	INTAS-2001-00792
Duración	Desde 2002-07-01 hasta 2004-06-30
Coste del proyecto	120.000 EURO
Descripción	The main goal of this project is to study the nature of processing of worn-out tires by cryogenic detonation and pyrolysis and to develop technology for their complete processing and utilization.
Título	<i>Grinding of scrap tyres into rubber powder, its applications and marketing.</i>
Referencia	G5ST-CT-2000-00073
Duración	2000-05-15 hasta 2001-05-14
Coste del proyecto	30.000 EURO
Descripción	This project concerns recycling of scrap automobile tires by grinding them to a rubber powder with very small particle size. The project offers a considerable improvement of the grinding technology.
Título	<i>Waste fibre recycling in concrete; development of design guidelines.</i>
Referencia	HPMF-CT-2002-01825
Duración	2002-09-01 hasta 2004-08-31
Coste del proyecto	107.472 EURO
Descripción	The proposed research project aims to review existing information both from the host Institution and from the available literature on steel fiber reinforcement and deliver design guidelines for the effective use of recycled steel fibers in concrete construction.
Título	<i>Improvements in Tyre Casing Assessment and Consequent Retreadability.</i>
Referencia	BRST985255
Duración	1998-10-01 hasta 2001-03-31
Coste del proyecto	-
Descripción	The aim of the proposed research is better assessment of new tyre casing integrity in order to increase the number of tyres in Europe that are recycled by retreading.
Título	<i>Granulated retreaded tyres for slippery conditions increased rubber recycling and less road wear.</i>
Referencia	IN20678I
Duración	2003-06-04
Coste del proyecto	-
Descripción	The project was concerned with standardising the production methods for granulated tyres (by retreading) and enhancing the production methods for the granules.

Título	<i>Chemical recovery from waste tyre streams using industrial microwave processes (tyre recovery by industrial microwaves t.r.i.m.).</i>
Referencia	G1ST-CT-2001-00262
Duración	2001-07-19 hasta 2002-04-18
Coste del proyecto	30.000 EURO
Descripción	The proposed research addresses the need to revisit tyre recycling by pyrolysis using microwave technology. A patent owned by the lead SME suggests that a microwave route may lead to useful products and be less polluting than incineration.

Título	<i>Remove scrap tyres from European waste streams to recycle high quality Carbon Black and recover energy by fast and feedback controlled microwave pyrolysis (PYROL-X-TYRE).</i>
Referencia	500233
Duración	2004-12-13 en curso
Coste del proyecto	2.878.098 EURO
Descripción	<p>Our project will therefore directly contribute to the Landfill Directive with respect to achieving recycling and recovery of materials and safeguarding natural resources.</p> <p>Our project also complies with the work programme for horizontal Research Activities para 9.3 Collective Research with specific relevance to the Objectives of the Specific programme. The project involves specific activities covering a wide field of science and technology that will in the interest of large communities of SMEs both engaged in the tyre recycling sector and rubber moulding and extrusion sector.</p>

Título	<i>Development of an innovative recycling process based in cryogenic and water jet grinding and sintering techniques for extending the use of recycled rubber in the development of high quality products.</i>
Referencia	17958
Duración	2005-07-19 en curso (Enrique ALCANTARA)
Coste del proyecto	1.296.752 EURO
Descripción	The main use of tyres is as fuel substituting one environmental problem for another due to emissions. In this sense, several efforts have been made in finding new high demanding applications for recycled rubber, but with low success. This is mainly due to the approach followed. Attempts have aimed at mass low demanding applications as asphalt infill, instead of trying to solve the main barriers for the application of rubber in high demanding products: lower mechanical properties and a inferior market perception of recycled rubber.

Título	<i>Tyre and road wear and slip assessment (TROWS).</i>
Referencia	G3RD-CT-2000-00247
Duración	2000-04-01 hasta 2003-03-31
Coste del proyecto	4.212.692 EURO
Descripción	TROWS gains insight into tyre and road wear process in order to reduce both tyre and road wear. Tyre wear reduction leads to less emission of rubber, less worn tyres disposal and less energy for tyre production as well as less vehicle maintenance costs. By road wear reduction road maintenance is reduced.

Título	<i>A low cost elastomeric and impact absorbing asphalt derived from scrap tyres.</i>
Referencia	882
Duración	-
Coste del proyecto	-
Descripción	Sureflex is an elastomeric, impact absorbing asphalt. Unlike traditional asphalt, which consists of aggregates and a bituminous binder, Sureflex replaces part of the aggregates with rubber crumb derived from end of life tyre casings, and uses a polymer modified bitumen as the binder. This truly flexible pavement contains the properties of viscosity, elasticity and plasticity.

Título	<i>High shear mixing to recycle vulcanised rubber by devulcanisation.</i>
Referencia	G5ST-CT-2000-50042
Duración	2001-01-01 hasta 2002-12-31
Coste del proyecto	1.896.436 EURO
Descripción	-

Título	<i>A Radically Innovative New Production Process for Single-Piece, Recyclable Fluid Transmission Systems with Self-Diagnostic Capability to Fluid Loss Potential.</i>
Referencia	505712
Duración	2004-09-01 hasta 2008-09-01
Coste del proyecto	4.673.340 EURO
Descripción	This project proposes to generate new scientific understanding of the processing of thermoplastics using microwave energy for targeted, controlled melting, drilling by ablation and controlled hardening. It also proposes to generate new understanding of resonant vibration attenuation in fluid transmission systems; barrier properties of thermoplastics (egg using fillers-fillers), recycling of multi-material assemblies and selective stiffening of fibrous reinforcement by infiltration of thermoplastic melt.

Título	<i>Reinforcement of flexible road structures with steel fabrics to prolong service life.</i>
Referencia	BRPR980816
Duración	1999-03-01 hasta 2002-08-31
Coste del proyecto	-
Descripción	In many countries premature break down of asphalt roads is an accelerating problem. The origin is usually increasing traffic and use of super single tires, and higher axle loads. This project faces the problem of transport system efficiency. The main objective is to develop a new methodology of road construction and rehabilitation with the use of steel reinforcement fabrics in order to make road structures more cost effective by improving the lifetime.

## ANEXO V Patentes

### Patentes relativas a valorización material de NFU entre 2000-2006

<i>Nº de Solicitud</i>	<i>Título</i>	<i>Solicitante</i>	<i>Fecha publicación</i>
W02006005164-A1	Thermo-acoustic insulating membrane for floors in residential buildings has plastic or metal supporting layer(s) covered with rubber granules mixed with fibres under layer of concrete or self-levelling cement.	SOPREMA INC (Canada)	19/01/2006
US2006009551-A1	Paving material useful for pedestrian, bicycle trails or playground comprises binder including mixture of recycled tire rubber and asphalt; and crumb rubber aggregate.	AMME R C, MEGGISON W B, NI H (US)	12/01/2006
JP2006002263-A	Polyketone fiber cord used as fiber reinforcing material for rubber, contains polyketone fiber comprising 1-oxo trimethylene as main repeating unit, and has twist shrinking percentage satisfying preset relation.	ASAHI KASEI SENI KK (Japon)	05/01/2006
US2005279965-A1	Forming composite product e.g. sound attenuation board involves producing rubber crumb by recycling used tires; producing plastic particles from plastic material; producing asphalt from waste oil/slop oil; and combining them.	ARRISON N, COCHRANE P J, ARRISON N L (US)	22/12/2005
BR200406370-A	Recycled tire rubber based civil engineering composition comprises a mixture containing binder, solvents, filler and additives, for use with and without cement.	QUIMICRYL SA (Brasil)	04/10/2005
US2005143497-A1	Polymer modified asphalt useful for road building and roof sealing comprises asphalt, elastomeric polymer, and an organic or inorganic metal salt present in an amount in excess of an amount used as an activator.	TOTAL FRANCE FINA TECHNOLOGY INC (US)	30/06/2005
CN1609165-A	Waste rubber powder modified asphalt and its prepn process.	CHINA PETRO-CHEM CORP (China)	27/04/2005
JP2005097526-A	Modification method of asphalt used in road construction, involves mixing preset amount of residue formed by dry distillation of waste rubber or waste plastic, in anaerobic state, to asphalt.	RAMUSA ABE YG (Japon)	14/04/2005



<i>Nº de Solicitud</i>	<i>Título</i>	<i>Solicitante</i>	<i>Fecha publicación</i>
JP2005090180-A	Ground formation method with waste tire, involves performing rolling compaction of granule scattered from waste tire laid over ground formation zone until gap of waste tire is eliminated.	SHIMIZU CONSTR CO LTD (Japon)	07/04/2005
KR2005030941-A	Polymeric chips as modifier used for asphalt concrete for pavement at high-temperature area and manufacture thereof.	HWANG I H (Corea)	31/03/2005
CN1597121-A	Method of preparation high surface activity rubber powder by waste tyre.	UNIV SICHUAN (China)	23/03/2005
US2005027046-A1	Asphalt-recycled tire rubber emulsion as, e.g. crack-filler for pavements, contains blended first and second mixtures that results in emulsion comprising specified content of water, asphalt-tire rubber and clay.	PARTANEN J E (US)	03/02/2005
US 2005011407	Preparation of synthetic asphalt recycled tire rubber emulsion, for e.g. roof coating, by preparing first mixture of synthetic asphalt-recycled tire rubber base by mixing gilsonite in tall oil product, with granulated recycled tire rubber.	PARTANEN J E (US)	20/01/2005
CH694430-A5	Asphalt, for road surfaces, comprises asphalt and additive compound of rubber in granulate form.	AESCHLIMANN AG OSKAR (Suiza)	14/01/2005
KR2004097732-A	Impact noise preventer for multi-family house comprising powdered filler and binder in aqueous solution.	KIM W S (Corea)	18/11/2004
BR200300511-A	Set of stock-pilable asphalt modified by rubber comprises oil asphalt residue, pulverized rubber and solvent products obtained by adiabatic reaction.	PETROBRAS PETROLEO BRASIL	03/11/2004
WO2004089610-A2	Utilizing polymer-reinforced elastomer products, e.g. old tyres, involves separating reinforcing material, processing by milling and/or chopping and adding the resulting free-flowing material to building material, e.g. asphalt.	BAHARDOUST M H, MARINI I, NEUBACHER F, MIHALYI B, BARTL A (Austria)	21/10/2004
KR2004052827-A	Permeable multi-layered pavement member using waste tire rubber chips, silica sand, epdm chips and aggregate and construction method thereof.	LEE J H (Corea)	23/06/2004

<i>Nº de Solicitud</i>	<i>Título</i>	<i>Solicitante</i>	<i>Fecha publicación</i>
JP2004099738-A	Decomposition and treatment method of waste vulcanized-rubber products comprises performing incubation of mixture of culture medium, microorganisms having ability to cut sulfide bonding of rubber and vulcanized rubber composition.	SUMITOMO RUBBER IND LTD (Japon)	02/04/2004
JP2004083715-A	Fiber mixed resin for fiber mixed components, is obtained by mixing and kneading short fiber with synthetic resin agent of vinyl-ester type(s), grinding resulting mixture and removing air bubble.	SURIFAIN KK (Japon)	18/03/2004
US2004041041-A1;	Individual tire recycling method involves compacting individual tire into compacted form, and maintaining individual tire in compacted form for storage, handling and transport.	DEVLIN F G; PRONIEWSKI R; DEVLIN F G I (US)	04/03/2004
KR2003093450-A	Structure for asphalt roadway paved with waste tires.	YANG W H (Corea)	11/12/2003
US2003215286-A1	Composition for rejuvenating asphalt pavement comprises asphalt, cationic surfactant, recycling agent, and co-agglomerated styrene butadiene rubber latex.	Takamura K (US)	20/11/2003
BR200104795-A	Production of asphalt concrete incorporating powdered tire material consists of dispersion and grinding of rubber, with use of schist rejuvenation agent.	GRECA DISTRIBUIDORA ASFALTOS LTDA (Brasil)	26/08/2003
JP2003236517-A	Recycle of composite waste material e.g. disposable household electric appliances, comprises dismantle separating reusable, crushing and raw material classifying, processing harmful substances and recycling materials.	NIPPON STEEL CORP (Japon)	26/08/2003
W02003066966-A1	Paving block for reducing echoes and noise, has asphalt made bonding portion in back side of rubber piece, on which concrete layer is formed.	INUZUKA M (Japon) (Japon)	14/08/2003
JP2003220349-A	Waste tire recycling method e.g. for forming mat, involves separating tire fragments into rubber and wire, and recovering rubber powder of preset size to form product.	KOTOBUKI SANGYO KK;	05/08/2003

<i>Nº de Solicitud</i>	<i>Título</i>	<i>Solicitante</i>	<i>Fecha publicación</i>
W02003057442-A1	Waste tire recycling apparatus for producing fine rubber crumb used for road pavement, has pressure rollers between which waste tire is moved, to remove rubber from steel reinforcement of tire.	TIRELESS TECHNOLOGY LTD (UK)	17/07/2003
CZ200102870-A3	Rubber scrap method of recycling refers to rubber obtained by grinding the tires and waste during manufacture of rubber products consists of machine utilizing organic acids and higher alcohols for dissolving the scrap.	ESTER SPOL SRO (Rep. Checa)	14/05/2003
US6547710-B1	Manufacture of sulfonated, oxidized rubber composition, used as asphalt additive, involves contacting rubber composition with oxidizing agent, and then with sulfur-containing acid, under specific conditions.	CONOCOPHILLIPS CO (US)	15/04/2003
JP2003073161-A	Manufacture of eco molding-box material for construction, involves mixing incinerated coal ash and scrap tire with chemical admixture of cement, water and concrete, implanting and compacting mixture in molding box.	ISHINO KENSETSU KK (Japon)	12/03/2003
JP2003071418-A	Recycling method of resin waste material, involves thermal decomposition of waste material followed by modification of thermal decomposition gas and dissolution of residue.	NIPPON STEEL CORP (Japon)	11/03/2003
KR2003004581-A	Modified asphalt mixed with waste tire rubber crumb and gilsonite resin and its manufacture.	KOREA INST CONSTR TECHNOLOGY (Corea)	15/01/2003
W02003097746-A;	Rejuvenating asphalt pavement composition, useful as scrub seal, comprises asphalt, cationic surfactant, recycling agent and co-agglomerated styrene-butadiene rubber latex.	WESTERN EMULSIONS INC BASF CORP (US)	2002
W02003041931-A	Freeze crushing method of waste resources e.g. waste tires, waste rubber and waste plastic, uses freezing gas to freeze waste materials in freezing tank, freezing gas is separated and collected from recycled raw materials for reuse.	KOLON ENG & CONSTR CO LTD KOLON CONSTR CO LTD	2002
JP2002189800-A	Tire recycling promotion method involves displaying diagnosis screening user terminal who diagnoses tire performance and purchases tire.	HONDA MOTOR CO LTD (Japon)	05/07/2002

<i>Nº de Solicitud</i>	<i>Título</i>	<i>Solicitante</i>	<i>Fecha publicación</i>
JP2001323405-A	Rubber-asphalt mixture for coating road surface, includes specific sized particles of crushed rubber mixed with specific sized particles of asphalt-sand mortar, in specific weight parts.	FUJIMASU J FUJIMASU M (Japon)	22/11/2001
KR2001094314-A	Rubber bricks and their manufacture.	UNIV GYEONGSANG NAT RES INST IND TECH (Corea)	31/10/2001
KR2001089037-A	Ground vibroisolator using scrap tires.	RMS TECHNOLOGY CO LTD (Corea)	29/09/2001
KR2001088544-A	Asphalt latex primer prepared by waste tire and/or waster rubber.	EUN JUNG KI (Corea)	28/09/2001
EP1130050-A1	Reclaimed rubber obtained from tires, for use as asphalt modifier, is obtained by devulcanization of vulcanized rubber and has predetermined sol proportion and peak top molecular weight.	BRIDGESTONE CORP	05/09/2001
W0200144405-A1	Tire pyrolysis system for producing carbon and fuel products, e.g. carbon black, has separator having gas stream inlet connected with gas stream removal outlet of reactor, liquid outlet, oil sprayers, and non-condensed gas outlet.	TIREENERGY CORP RENAISSANCE RECYCLING INC.	21/06/2001
JP2000265069-A	Asphalt composition utilizing carbon black obtained by incinerating waste tire.	ID PLANNING KK (Japon)	26/09/2000
US6098531-A	Recycling method for used tire of vehicle, involves compressing and solidifying upper asphalt coating of packing at metal mesh, after performing fine cutting of used tire.	REINERT G L (US)	08/08/2000
KR2000034335-A	Asphalt concrete composition containing waste tyres for floor.	KIM D S (Corea)	15/06/2000
US6060528-A	Removing inorganic components from scrap tires, comprises removing steel belts, mixing in a closed reactor with nitric acid, and separating the solution and extracted inorganic compounds.	UNIV SOUTHERN MISSISSIPPI (US)	09/05/2000
EP997252-A2	Process of reclaiming vulcanized rubber has pairs of mutually interlocking ring-shaped segments on the twin-screw extruder, and specified rubber composition.	BRIDGESTONE CORP	03/05/2000
JP2000087370-A	Retaining wall material made from recycle industrial waste e.g. waste tire.	YAMAGUCHI T (Japon)	28/03/2000

## Patentes relativas a valorización energética de NFU entre 2000-2006

<i>Nº de Solicitud</i>	<i>Título</i>	<i>Solicitante</i>	<i>Fecha publicación</i>
WO2005108892-A1	Incineration of combustible waste, e.g. tires, furniture, carpets, petcoke or biomass, during manufacture of cement clinker, involves introducing exhaust gases containing nitrogen oxides to incineration compartment.	SMIDTH AS F L (Dinamarca)	17/11/2005
JP2005298698-A	Gasification method of synthetic high polymer-containing waste material e.g. shredder dust, involves changing supply amount of steam so that outside temperature of heat-transfer wall is maintained within preset range.	HIROSHIMA GAS TECHNO KK (Japon)	27/10/2005
ES 2217899	Proceso de aceites sintéticos y combustibles de transporte mediante reciclado de materiales de caucho de deshecho.	CSIC (España)	01/11/2004
ES2153244	Integral recycling of waste tires and products of these consists of utilization in civil and mechanical engineering and in footwear soles after halogenation.	RETRAINERS COMPANY S L (España)	16/02/2001

## Patentes relativas a métodos de reciclaje de NFU entre 2000-2006

<i>Nº de Solicitud</i>	<i>Título</i>	<i>Solicitante</i>	<i>Fecha publicación</i>
W02005120784-A2	Recycling method for tire or other discarded rubber products, involves separately conveying sidewalls and tread to second stage of cutting by water jet to pieces of uniform size, freezing cut pieces, and then crushed to individual fractions.	OMANIK S (JP)	22/12/2005
W02005108525	Used tyre rubber recycling method and installation.	CSIC (España)	17/11/2005
US 2005215673-A1	Method of rejuvenating deteriorated asphalt pavement comprises applying and drying composition containing aqueous dispersion of asphalt, surfactant, recycling agent and specific rubber latex on deteriorated asphalt pavement.	WESTERN EMULSIONS INC (US)	29/09/2005
W02005068920-A1	Conversion of material into crumb, involves transferring heat from shredded material to liquefied gas and vaporizing gas, crushing cooled material, separating crushed material into components comprising crumb and collecting vaporized gas.	SUPERCOOL LLC (Australia)	28/07/2005
W02005021625-A1	Method for providing rubber material from rubber containing waste material in tire production involves subjecting the waste material to treatment with carbon dioxide as extraction solvent in reactor at pressure above atmospheric pressure.	NANON AS (Dinamarca)	10/03/2005
JP2005023225-A	Recycling of rubber waste material e.g. waste tire, involves carrying out contact reaction of vulcanized rubber waste material with steam of preset temperature, and recovering obtained devulcanized rubber material.	CHUBU DENRYOKU KK SHOWA ELECTRIC WIRE & CABLE CO (Japon)	27/01/2005
GB2404197-A	Recycling waste material e.g. vehicle tire to produce blocks used in construction of e.g. roads, by compressing the waste material, binding the compressed waste material, adding filler material, and allowing the filler material to cure.	BAIG M N (UK)	26/01/2005
JP2004298829-A	Recycling of waste tire wire for steel fiber, involves heat processing waste tire at preset temperature, maintaining tensile strength and hardness of wire to preset value, and removing rubber and tire constituents other than tire.	ALPHA DAIMARU KK (Japon)	28/10/2004

<i>Nº de Solicitud</i>	<i>Título</i>	<i>Solicitante</i>	<i>Fecha publicación</i>
KR2004083993-A	Tiling method using mold recycling waste tire.	HYUNDAI IND DEV & CONSTR CO LTD (Corea)	06/10/2004
WO2004076492-A2	Devulcanization of rubber for recycling of vulcanized rubber involves exposing the vulcanized rubber substrates to mycolata bacteria.	UNIV NAPIER	10/09/2004
US2004107846-A1	Recycling method for individual scrap tire, involves compressing individual tire into compacted form and maintaining compacted form of individual tire by inserting coupling element at indentation formed by pinching compacted tire.	PHD LLC (US)	10/06/2004
JP2004154754-A	Recycling method for used tire of vehicle, involves compressing and solidifying upper asphalt coating of packing at metal mesh, after performing fine cutting of used tire.	HYODO Y (Japon)	03/06/2004
KR2004039564-A	High strength cement as construction material with heat insulation and sound absorbing property and production method thereof.	JUJOUN CO LTD (Corea)	12/05/2004
JP2004083715-A	Fiber mixed resin for fiber mixed components, is obtained by mixing and kneading short fiber with synthetic resin agent of vinyl-ester type(s), grinding resulting mixture and removing air bubble.	SURIFAIN KK (Japon)	18/03/2004
KR413501-B	Permeable blocks for soft ground filling.	ORYUK DEV JH (Corea)	03/01/2004
US2003155677-A1	Recycle of waste tires for foamed pads, involves mixing pellets of waste tires with natural rubber, adding sulfur to obtained mixture, pressing, rolling and foaming, by which pellets are forced to fix into rubber.	KAO S (US)	21/08/2003
KR2003039343-A	Preparation of modified asphalt using waste tire.	UNIX RUBBER CO LTD (Corea)	17/05/2003
JP2003128843-A	Manufacture of reclaimed rubber for tires, involves mixing specific amount of diene rubber with rubber raw material powder and applying shearing force at specific shear rate.	BRIDGESTONE CORP (Japon)	08/05/2003
US2003079664-A1	Rubber tire recycling method involves using airless rubber tire compressed to flat profile shape, without cutting it, to recover full strands of steel wires.	YU Z (US)	01/05/2003

<i>Nº de Solicitud</i>	<i>Título</i>	<i>Solicitante</i>	<i>Fecha publicación</i>
CA2361332-A1	Grinding worn tires for recycling into chips and grains for use in synthetic grass football pitches and asphalt roads involves passing through chipper having diamond cutters.	JOLIN J (Canada)	23/04/2003
DE10138560-A1	Method for separation of used tires into their basic constituents involves grinding of the tires at specified low temperatures down to a specified particle size.	STETTINGER H (Alemania)	27/02/2003
JP2003039434-A	Waste tire dismantling method involves separating tread, belt, carcass and liner sequentially by mechanical peeling force, after swelling with organic solvent.	YOKOHAMA RUBBER CO LTD (Japon)	13/02/2003
KR2003004579-A	Powdery asphalt modifier containing waste tire rubber powder and gilsonite resin, its manufacture, and manufacture of asphalt concrete using it.	KOREA INST CONSTR TECHNOLOGY (Corea)	15/01/2003
W02003014206-A	Method of treating cross-linked elastomeric material, involves controlling process operation to produce flowable material granules of vulcanized elastomer dispersed in matrix of de-vulcanized elastomer.	WATSON BROWN HSM LTD (Australia)	2002
W0200248041-A	Purification and refinement of carbon black useful in e.g. ink and toner, involves removing metal oxide particles and sulfur particles from carbon black produced e.g. as byproduct of scrap rubber pyrolysis.	FEDERAL RECYCLING TECHNOLOGIES INC; (Australia)	2002
JP2002301719-A	Tire processing method in production of earthquake proof material, involves grinding rubber fiber extracted from crushed tire to obtain big and rough blocks which are used as dry fuel and desulfurizing agent in purification of exhaust gas.	TANAKA Y(Japon)	15/10/2002
US6444067-B1	Worn tire material recycling method for producing building structures involves cutting slats from worn tires, and laminating slats formed with slits at specified intervals.	BOVE R L; HALFACRE D (US)	03/10/2002
JP2002219378-A	Freezing grinding method for recycling waste tire, involves separating non-rubber portions from rubber portions while crushing tires after freezing using coolants like low temperature liquefied gas.	TAGUSARI Y; YOSHIDA O (Japon)	06/08/2002

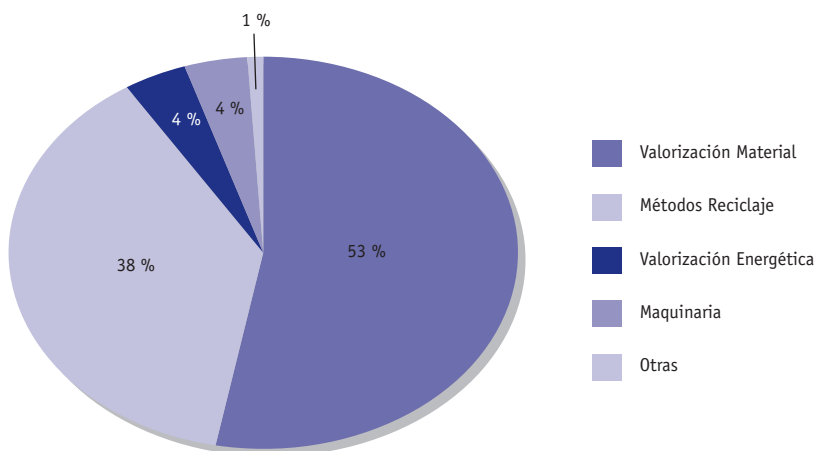


<i>Nº de Solicitud</i>	<i>Título</i>	<i>Solicitante</i>	<i>Fecha publicación</i>
US2002101004-A1	Recycling method of rubber such as natural rubber, synthetic rubber and silicone rubber, involves heating lubricated material which is formed by adding lubricant to rubber, under elevated pressure.	UNIVERSIDAD DE MASSACHUSETTS (US)	01/08/2002
JP2002201311-A	Scrap rubber containing composite material, used as blend material for tires, contains polyolefin-type thermoplastic resin and a scrap vulcanized rubber, that are mixed to form a composite material.	BRIDGESTONE CORP (Japon)	19/07/2002
JP2002172620-A	Recycle-processing method for waste tire, involves softening waste tire by high-frequency heating, soaking softened waste tire in heated soda liquid and separating iron material and rubber by classification.	IIMOTO T (Japon)	18/06/2002
US2002072644-A1	Waste vehicle tire recycling method for recovering carbon and stainless steel, involves contacting tires with molten reactant metal and collecting process gases that are passed to aqueous scrubber that removes metal salts and carbon.	WAGNER A S (Japon)	13/06/2002
KR2002023565-A	Reinforcement method of ground using waste tire as mat.	INHA FOUND (Korea)	29/03/2002
KR2000030065-A	Method for manufacturing high-performance recycled asphalt concrete mixture for pavement using waste tire powder and polymeric modifier.	PARK S B (Corea)	05/06/2000
JP2000087370-A	Retaining wall material made from recycle industrial waste e.g. waste tire.	YAMAGUCHI T (Japon)	28/03/2000

## Patentes relativas a la maquinaria para reciclaje de NFU entre 2000-2006

<i>Nº de Solicitud</i>	<i>Título</i>	<i>Solicitante</i>	<i>Fecha publicación</i>
W02005068132	Tyre-recycling machine.	FOIX PADRELL A. (España)	28/07/2005
JP2004305824-A	Self-propelled recycling machine for e.g. asphalt lump, has roller which suppresses conveyor belt to upper direction bending portion of ejection conveyor.	HITACHI CONSTR MACHINERY CO LTD (Japon)	04/11/2004
W02004078354-A1	Crusher for crushing e.g. used vehicle tires, uses pair of crushing panels provided, such that, angle between panels, near circumferential side of their surfaces is smaller than angle near center of their surfaces.	SIGMA SEIKI CO LTD TYRE CHIP MFG CO LTD (Japon)	16/09/2004
KR2003040642-A	Recycling method of waste rubber using gamma ray and recycled product.	UNIV GYEONGSANG NAT IND & ACAD COOPERATI (Corea)	23/05/2003
US2005067078-A1	Method for manufacturing reinforced liquid elastomer tire having excellent durability and overall performance.	VANNAN F F (US)	31/03/2005
JP2003213040-A	Rubber composition for tires, contains specific rubber component(s), and softener consisting of preset amount of polycyclic aromatic compound, asphalt and specific process oil with preset naphthenic carbon content.	BRIDGESTONE CORP (Japon)	30/07/2003

*Análisis de Patentes relacionados con neumáticos usados.*



## ANEXO VI Grupos de investigación

<i>Criterio de Búsqueda</i>	<i>Tecnología</i>	<i>Instituciones</i>
(Tire* OR tyre*) AND recycl*	General	Indian Institute Technol. CSIC Middle E Tech. University George Washington Univ. Tampere Univ. Technol. Univ. Leeds Univ. Liverpool Univ. Massachusetts
AND grinding*	Molienda	Canadian Rubber Testing & Dev. Ltd. Dalian Univ. Technol. Ducan A Mackillop & Associates Indian Inst. Technol. Natl. Res. Ctr. Univ. Brasilia Univ. Minho
AND reclaim*	Recuperación	Indian Institute technol. Canadian Rubber Testing & Dev. Ltd. Chalmers Univ. Technol. Chonbuk Natl. Univ. Chulalongkorn Univ. Ducan A Mackillop & Associates King Mongkuts Univ. Techol. Thonburi Natl. Res. Ctr. Natl. Univ. Singapore Sultan Qaboos Univ.
AND devulc*	Desvulcanización	Uni. Akron Indian Institute Technol.
AND pyrolysis*	Pirólisis	CSIC Univ. Leeds Escuela Ing. Bilbao

vt  
mi+d

fundación para el  
conocimiento  
madri+d

