Año internacional de la
Energía Sostenible
para todos

Aprovechamiento energético de residuos: el caso de los neumáticos fuera de uso

Félix A. López
[Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM). CSIC]
Teresa Álvarez Centeno
[Instituto Nacional del Carbón (INCAR). CSIC]
Francisco José Alguacil
[Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM). CSIC]

1. Introducción

El aprovechamiento energético de los residuos, es decir, la transformación en energía de los materiales que han alcanzado el final de su ciclo de vida, es una opción cada vez más extendida de gestión de los residuos. Si para producir un material, sea el que sea, es necesario consumir una energía, recuperar toda o parte de ella cuando este material deja de cumplir las funciones para las cuales fue diseñado y fabricado, no solo es un reto desde un punto de vista científico y tecnológico, sino también un compromiso medioambiental.

La recuperación energética de residuos, eliminaría además otra práctica poco deseada como es el almacenamiento de los mismos en vertederos y depósitos de seguridad (cuando son peligrosos) y en consecuencia, todos los problemas que el vertido lleva asociados.

2. El problema de los neumáticos usados

Desde que en el año de 1845 se concedió la primera patente para un neumático de caucho a su creador, Robert William Thomson, hasta hoy, el neumático ha sido un fiel exponen del avance en el desarrollo de materiales y en las tecnología de fabricación y su desarrollo ha ido unido al del mundo del automóvil. Un exponente de estos avances, ha sido el desarrollo por parte de Goodyear, de un neumático fabricado con biomasa renovable (BioIsopreneTM) que fue presentado en la conferencia sobre el clima celebrada en Copenhague en 2009.

La masiva fabricación de neumáticos, y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado –medio barril de petróleo crudo para fabricar un neumático de camión– y también provoca, si no es convenientemente reciclado, contaminación ambiental, al formar parte generalmente de vertederos incontrolados. En España dejan de rodar más de diez millones de neumáticos al año. Cada año se generan en el mundo cerca de 1.000 millones de neumáticos fuera de uso de su vida útil, alrededor de 17 millones de toneladas [1]. Más de 3,4 millones de toneladas de estos neumáticos se generan en Europa, y unas 314.000 t. en España [2].

Texto publicado en la página web **www.energia2012.es**

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD · CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas · FECYT Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología · 2012 Año Internacional de la Energía Sostenible para todos

Las materias primas que se utilizan para fabricar un neumático son el caucho, el negro de humo (negro de carbono), acero, textil, l óxido de zinc, azufre y aditivos. Más de 100 compuestos químicos diferentes entran a formar parte de un neumático.

Los cauchos utilizados en la fabricación de los neumáticos son una mezcla de caucho natural y cauchos sintéticos, principalmente los polímeros denominados SBR *(stirene buradiene ruber)* y el BR *(butadiene ruber).* Los contenidos de los diferentes componentes en el neumático dependen de su tipo y categoría (automóviles, camiones, vehículos comerciales, etc.). En la tabla 1 aparecen los pesos medios de los diversos tipos de neumáticos que se fabrican en la actualidad [3].

La mayor parte de un neumático, casi la mitad de su peso, está constituida por cauchos y elastómeros (figura 1).

Tipo de neumático	Peso medio (kg/neumático)
Automóvil	5.91
Vehículos 4x4	13.15
Vehículos comerciales	10.58
Camiones	52.67
Vehículos agrícolas	12.53
Vehículos agrícolas (ruedas motrices)	64.72
Vehículos industriales (8-15")	22.75
Maquinaria (< 12-24")	52.41
Maquinaria (>12-24")	245.35
Motocicletas (> 50 cc)	4.10
Motocicletas (< 50 cc)	0.84

Tabla 1. **Peso medio de neumáticos.**

Figura 1. **Composición, expresada en % en peso, de neumáticos de turismo y vehículos pesados.**

3. El Sistema Español de Gestión de Neumáticos Fuera de Uso

Los neumáticos fuera de uso (NFU) son un residuo catalogado por la UE como residuo tóxico y peligroso (Lista Europea de Residuos. Código: 16.01.03), y su gestión está regulada, de forma general en la Ley 10/1998 Básica de Residuos, y en particular en el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2001-2006, aprobado en octubre de 2001 (BOE núm. 260 de 30 de octubre de 2001) en Consejo de Ministros y Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre (BOE núm. 2 de 3 de marzo de 2006) sobre gestión de NFU para regular las obligaciones de los agentes económicos que intervienen en todas sus fases y las condiciones generales de gestión de estos residuos. Recientemente, dentro del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2007-2015, se redacta el II Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso (2007-2015 II PNFU) como revisión del Plan Nacional en vigor.

Figura 2.
Almacenamiento de neumáticos al final de su ciclo de vida.

Dentro del ámbito autonómico, cuatro Comunidades han desarrollado normas específicas (Castilla y León; País Vasco, Valencia y Aragón). Algunas Comunidades Autónomas, han desarrollado además programas concretos de gestión de NFU enmarcados en planes de residuos de mayor alcance, como es el caso del Principado de Asturias (Sub plan específico de Neumáticos dentro del Plan Básico de Gestión de Residuos de Asturias (2001-2010); Junta de Castilla y León, que incluye en su Estrategia Regional de Residuos 2001-2010 un Programa específico de NFU; La Junta de Castilla la Mancha, en su Plan de Residuos Urbanos de 1999; el Gobierno de las Islas Baleares, en el Plan Director Sectorial para la Gestión de Residuos de Construcción, Demolición, Voluminosos y Neumáticos Fuera de Uso de la Isla de Mallorca; la Junta de Extremadura, en el Plan Director de Gestión integrada de Residuos (línea de Residuos Especiales); la Comunidad Foral de Navarra, en Plan Integrado de Ges-

tión aprobado en 1999 y el Gobierno de Aragón, que ha desarrollado un Programa Específico de Neumáticos dentro de su Plan de Gestión Integral de Residuos (GIRA 2005-2008).

Estas actuaciones Autonómicas han aplicado las disposiciones contenidas en las Directivas Europeas 74/442/CEE de Residuos y 1999/31/CE relativa al vertido de residuos y en la Ley 10/1998 de Residuos. Las actuaciones contempladas en los Planes comentados están orientadas para suprimir su eliminación a través de vertederos, controlar su gestión por medio de autorizaciones y fomentar su reutilización, valorización y especialmente el reciclado.

Basándose en la aplicación del real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de los Neumáticos Fuera de Uso, se han constituido dos Sistemas Integrados de Gestión (SIG), uno de ellos denominado SIGNUS ECOVALOR, creado legalmente el 19 de mayo de 2005 y que agrupa a la mayor parte de los fabricantes de neumáticos del mercado nacional, y el otro, TRATAMIENTO DE NEUMÁTICOS USADOS (TNU), gestionado por ASINME y constituido el 13 de julio de 2006 y en el que participan gran parte de los importadores de neumáticos. En España, a diferencia de lo que sucede en otros países, la existencia de estos Sistemas Integrados de Gestión garantiza la recogida total de los neumáticos fuera de uso generados en nuestro país, gracias a la red de plantas de recogida y tratamiento, que evitan que estos desechos acaben en vertederos. El esquema de gestión de los neumáticos usados en España se muestra en la figura 4.

El sistema se basa en la recogida, selección, recauchutado de aquellos neumáticos en buen estado y en la trituración y molienda del resto, separando el acero, el textil y obteniendo una fracción de caucho granulado. En España existene13 plantas de granulación de neumáticos, con una producción anual de unas 65.000 toneladas. Esta fracción, cuya composición química se recoge en la tabla 2, es muy adecuada para su valorización energética, debido a que posee un Poder Calorífico Superior (PCS) muy elevado, comprendido entre 34 y 39 MJ/kg, muy superior, por ejemplo, al de otros combustibles (tabla 3).

Figura 3.
Destino de los Neumáticos Fuera de Uso en España.

Texto publicado en la página web **www.energia2012.es**

El destino de los NFU's en España se muestra en la figura 3. El 50% (153.000 toneladas) se recicla, un 8% se reutiliza directamente si la cubierta lo permite, y un 12% se recauchuta. El resto, un 30%, se transforma en combustible alternativo para uso en cementeras.

El mercado español es el quinto país de la Unión Europea que más NFU produce anualmente, tan sólo por detrás de Alemania (568.000 toneladas), Reino Unido (508.000), Italia (421.000) y Francia (369.000).

	% en peso sobre materia seca
Análisis Inmediato	
Materia volátil	62.0 – 66.0
Cenizas	4.8 -8.2
C fijo	26.7 – 34.0
Composición elemental	
C	80.2 -89.1
H	7.2 – 7.6
N	0.2 – 0.4
S	1.4 – 2.4
O	2.3 – 3.1
Poder calorífico superior (MJ/kg)	34 - 39

Tabla 2. **Composición inmediata y elemental de neumáticos granulados [4,5].**

Figura 4. **Esquema de la gestión de los neumáticos usados en España.**

Combustible	PCS (MJ/Kg)
Maderas	14.4 – 19.0
Turba	21.3
Lignito	28.4
Hulla	30.6
Antracita	34.3
Coque	29.3
Coque de petróleo	34.1
Carbón de madera	31.4
Etanol	26.8
Neumáticos usados	34 - 39
Fuel-Oil	40.6
Gasóleo	42.3
Gasolina	43.9
Queroseno	43.4
Gas natural	44.0
Butano	49.7

Tabla 3. **Poder calorífico superior (PCS), expresado en MJ/Kg, de algunos combustibles.**

4. Valorización energética: diversas alternativas

Figura 5. **Fábrica de cemento preparada para la valorización energética de residuos.**

Este elevado poder calorífico de los neumáticos usados granulados, explica el interés de su utilización como combustible. Una alternativa de aprovechamiento de este residuo se basa en su empleo como combustible de sustitución, es decir, sustituyendo a combustibles fósiles tradicionales, en la industria del cemento. Se estima que una tonelada de neumáticos puede ahorrar 0.7 toneladas de fuel. Dependiendo del tipo de sistema de horno, los combustibles alternativos pueden sustituir los combustibles fósiles hasta en un 25% sin mayores problemas importantes asociados con el proceso de cocción del clínker y con la calidad (8). En el caso de los neumáticos, la sustitución suele ser del 16% [6].

Texto publicado en la página web **www.energia2012.es**

Otra alternativa, desarrollada por Científicos del CSIC, del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) y del Instituto Nacional del Carbón (INCAR) apoyados por la empresa ENRECO 2000, consiste en someter el granulado de neumático a un proceso combinado de destilación y gasificación. El proceso, denominado GRAUTHERMIC Tyres®, patentado conjuntamente por el CSIC y ENRECO [6], consiste en someter a un proceso de calentamiento a baja temperatura (550 ºC) el granulado de neumático, en reactores verticales, obteniendo un gas que se condensa a baja temperatura.

En la condensación se obtienen unos aceites, similares a un fuel, compuestos por una compleja mezcla de hidrocarburos C_5–C_{34} con un porcentaje elevado de compuestos aromáticos, que puede ser utilizado como combustible líquido, mezclado con el gas-oil y un gas no condensable, constituido por hidrocarburos de la serie C_1-C_4 con un contenido muy alto de n-butano (26-45 vol.%), metano (14-19 vol.%) y hidrógeno (11-16 vol.%) y un poder calorífico muy elevado, comprendido entre 64-83 MJ Nm^{-3}, que se convierte en electricidad en una turbina TOTEM® . De esta primera etapa, se obtiene un residuo sólido, denominado char, compuesto fundamentalmente por negro de carbono –el que contiene el neumático– que inmediatamente después de la destilación, se gasifica en el mismo reactor, a una temperatura de unos 1.000 ºC, dando lugar a un gas pobre, que también se convierte en electricidad mediante una turbina.

El esquema del proceso se muestra en la figura 6, en la que aparecen los reactores de destilación (en rojo) y los de gasificación (en verde) y las turbinas de conversión de los gases de destilación y de gasificación.

Figura 6. **Esquema del proceso GRAUTHERMIC-TYRES® de aprovechamiento energético de neumáticos usados.**

Texto publicado en la página web **www.energia2012.es**

El proceso combinado destilación y gasificación permite obtener un gas de síntesis con un poder calorífico muy elevado (~ 73 MJ Nm^{-3}) y una tasa de recuperación de gas también muy elevado (~ 51 MJ kg^{-1}). La cantidad de electricidad que se obtiene, varía entre 413-661 kWh por cada tonelada de neumático granulado tratada, en la etapa de destilación y alrededor de 470 kwh por cada tonelada de neumático granulado tratado en la etapa de gasificación. La producción total de energía eléctrica, en función de la temperatura a la que se se realice el proceso, varía entre 880 y 1130 kwh por cada tonelada de neumático granulado tratado. Por lo tanto, combina la destilación / gasificación es una interesante alternativa para la recuperación de energía de los neumáticos usados ya que permite recuperar más del 95 % de la energía contenida en los mismos.

En el año 2011, el consorcio formado por el CSIC y ENRECO 2000, construyó una planta de demostración (figura 7) y a lo largo del año 2012 entraré en funcionamiento la primera planta industrial de este tipo, con 12 reactores y que permitirá tratar unas 10.000 t/año de granulado de neumático con una producción de casi 10 MW de electricidad.

Figura 7. **Instalación de demostración con capacidad para 72 kg/h realizada por el CSIC y ENRECO 2000.**

Texto publicado en la página web **www.energia2012.es**

BIBLIOGRAFÍA

[1] Juniper Consultancy Services Ltd, Emerging solutions for managing scrap tyres. Tecnology solutions and market opportunities. Sheppards Mill (Ed.), Gloucestershire, England, 2004, pp. 22-23

[2]. G. Ramos, F. J. Alguacil and F. A. López. The recycling of end-of-life tyres. Technological review, Rev. Metal. 47 (2011) 273-284.

[3] P. Ferrao, P. Ribeiro, P. Silva. A management system for end-of-life tyres: A Portuguese case study, Waste Management. 28 (2008) 604-616.

[4] F. A. López, T. A.Centeno, F. J. Alguacil and B. Lobato. Distillation of granulated scrap tire in a pilot plant, Journal of Hazardous Materials (2011), 190 (1-3), 285-292, doi:101016/j.hazmat.2001.03.039

[5] Félix A. López, Teresa A. Centeno, Francisco José Alguacil, Belén Lobato, Aurora López-Delgado and Javier Fermoso. Gasification of the char derived from distillation of granulated scrap tyres, Waste Management , DOI: 10.1016/wasman.2011.08.006

[6] C. Lorea, W. Van Loo. Aprovechamiento energético de neuámticos usados en la industria cementera europea, Medio Ambiente, 879 (2005), 60-66.

[7] F. A. López, F. J. Alguacil. T. A. Centeno, B. Lobato, J. Grau. Procedimiento e instalación para el tratamiento de neumáticos fuera de uso. Patente Internacional PCT/ES2011/070148, 2011

Texto publicado en la página web **www.energia2012.es**