

5. Valoración de neumáticos fuera de uso

La prohibición del vertedero como herramienta en la gestión de los neumáticos usados, unido a la dificultad de gestión y elevado impacto ambiental que presenta, lo ha convertido en un residuo muy estudiado y ciertamente polémico en los últimos años. La importancia de este residuo es elevada debido a:

- Su baja degradabilidad.
- Ocupan un espacio considerable, debido al elevado volumen que le confiere su forma y a su escasa densidad.
- Son difícilmente compactables y al ser elásticos provoca inestabilidad en los vertederos.
- Presentan riesgo de incendio, con importantes impactos asociados.

Desde el mes de octubre de 2006, en las facturas de compra de los neumáticos aparece una partida correspondiente al sobrecoste que supone el tener que buscar otras alternativas al vertido, ya que esta vía se halla prohibida desde el mes de junio del mismo año.

En 2005 España generó 35 millones de neumáticos usados, lo que equivale a unas 300.000 toneladas. La Dirección General de Tráfico, ente dependiente del Ministerio de Fomento en colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente ha propuesto, después de comprobar el comportamiento de los 200 km de carreteras asfaltadas con polvo de neumático, emplear dicho residuo para la construcción de más vías.

De acuerdo con las estadísticas de OFICIMEN, la generación de NFU, en España, en 2005, fue de 303.118 t, que se gestionaron de la siguiente manera:

- Recauchutado: 38.278 t.
- Material reciclado: 41.000 t.
- Valorización energética: 50.240 t.
- Vertido: 158.610 t.
- Exportación: 14.900 t

Lamentablemente, como muestra la estadística, el 50% de los NFU, se depositaron en vertedero.

5.1. COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS NEUMÁTICOS

La complejidad de la forma y de las funciones que cada parte del neumático tiene que cumplir se traduce también en una complejidad de los materiales que lo componen. El principal componente del neumático es el caucho: casi la mitad de su peso.

La fabricación del neumático, típico composite, es muy compleja y bajo esta denominación se incluyen los destinados a bicicletas, motocicletas, turismos, camiones, maquinaria agrícola, a obra pública, etc. No obstante, todos ellos tienen unos componentes comunes. La relación siguiente indica el compuesto básico y, seguidamente, los principales ingredientes de dichos compuestos:

- Caucho: Caucho natural, caucho sintético.
- Agente de vulcanización: Azufre o vulcanizante orgánico.
- Aceleradores de la vulcanización: Aceleradores tipo tiozoles.
- Promotores: Óxidos de zinc, ácido esteárico.
- Antioxidantes: Aminos, fenoles, ceras, etc.
- Fibras de refuerzo: Textiles, acero.
- Cargas: Negro de humo, sílice
- Plastificantes: Aceites minerales.

El caucho utilizado en los neumáticos es de muy diferentes tipos: caucho natural, estireno-butadieno, polibutadieno, polisoprenos sintéticos, etc., con propiedades muy diferentes, necesarias en cada caso para el trabajo de cada parte del neumático, pero también con una característica en común: todos componen, una vez vulcanizados, largas cadenas moleculares formadas por átomos de hidrógeno y de carbono unidos bajo una determinada estructura y entrelazadas con puentes de azufre. Esta estructura tan estable hace que necesiten tiempo largísimo para su degradación.

Otro componente significativo de los neumáticos son las cargas de refuerzo, y de éstas la más utilizada hasta ahora es el negro de carbono: finísimas partículas de carbono obtenidas por la combustión parcial de gas natural o aceites de petróleo gasificados. Hasta ahora, el negro de carbono representa aproximadamente la cuarta parte en peso de un neumático de turismo.

Aceites minerales, procedentes del petróleo, componen las cargas plastificantes disueltas en la masa de goma pero sin reaccionar con ella. El azufre es el agente vulcanizador por excelencia; cumpliendo el objetivo de entrelazar los polímeros, sólo puede liberarse si la goma vulcanizada se degrada o se quema, lo cual puede afectar al entorno si la transformación no se produce de manera controlada. Para la elección de las mejores opciones de tratamiento ha

de tenerse en cuenta esta presencia de azufre entre los componentes del neumático.

Como la reacción entre el azufre y el caucho en la vulcanización es muy lenta, para acelerar la fabricación se utilizan pequeñas cantidades de sustancias para acelerar o activar el proceso. Una de ellas es el óxido de zinc, metal difícilmente sustituible en la actualidad por otros materiales activadores.

Existen otros productos que entran en la composición de los neumáticos, como antioxidantes o antiozonos, retardantes, adhesivos para la unión de metal o textil con la goma, peptizantes, etc. Todos estos agentes, azufre, óxido de zinc, resinas de petróleo, sílice, etc., pueden participar aproximadamente en un 1% del peso. El resto, más o menos la quinta parte, lo forman los aros del interior de los talones, que aseguran la transmisión de los esfuerzos a través de la llanta, y que pueden ser de acero o textiles de alto módulo. También de acero, rayón (celulosa regenerada), o polímeros sintéticos, como el poliéster o la poliamida, son la carcasa y las lonas de cima o de refuerzo, que constituyen la estructura del neumático, el esqueleto capaz de soportar la carga y transmitir o absorber los esfuerzos de aceleración, frenado y guiado, para asegurar la unión del vehículo con el firme de la carretera.

Un neumático puede alcanzar más de 200 componentes, que forman parte de las diferentes mezclas presentes en su producción. Se puede reducir la composición de un neumático a sus elementos principales, que varían en función del vehículo al que estén destinados. Así pues, la mayor parte de un neumático es carbono (cerca del 70%) lo que explica su alto poder calorífico (7.500 kcal/kg). Los componentes de la goma sintética en un neumático nuevo de turismo se obtienen a partir de entre 26 y 30 litros de petróleo.

Los principales riesgos ambientales asociados a este residuo vienen dados por dos causas principales:

- La fuente de contaminación ambiental que puede suponer su destrucción o un tratamiento mal realizado, debido a la complejidad del residuo y de su composición química.
- El riesgo de incendio que supone su acopio en malas condiciones. La incineración incontrolada de este residuo provoca gran cantidad de contaminantes peligrosos.

5.2. RECICLAJE DE NEUMÁTICOS

Las cada vez más sofisticadas prestaciones técnicas a que se someten los neumáticos y las diferentes apli-

caciones han llevado al diseño de innumerables clases de neumáticos, sin embargo existen unos componentes fundamentales presentes en casi todos ellos:

- *Cauchos*. Caucho natural (que proporciona elasticidad) y los sintéticos: estireno-butadieno, polibutadienos, poliisoprenos, etc., que aportan estabilidad térmica. Durante la fabricación se vulcanizan (introducción de azufre para ligar las cadenas de polímeros).
- *Negro de humo*. Como carga de refuerzo y mejora de la resistencia de los cauchos a la oxidación.
- *Acero y textiles* que refuerzan y soportan las sollicitaciones mecánicas.
- *Productos químicos*. Entre los que destacan el OZn como catalizador de la reacción de vulcanización, plastificantes, aditivos, etc.

La Tabla 14.19 muestra unos valores medios de la formulación.

Tabla 14.19. Formulación media de neumáticos

Compuesto	%
Cauchos	47
Negro de humo	22
Acero	16
Textiles	5
OZn	1
Varios (S, ceras, antioxidantes, etc.)	9

Desde el punto de vista del reciclaje el paso más interesante sería hallar un sistema que permitiera la desvulcanización para reusar el material para las misma función.

El neumático es de por sí un residuo complejo. La Figura 14.45 ilustra sobre los diferentes elementos que componen la banda de rodadura. La Tabla 14.20 y la Tabla 14.21 proporcionan unas composiciones medias de los diversos tipos de neumáticos.

Tabla 14.20. Composición de un neumático (elementos)

Material	Automóvil	Camión
Hidrocarburo	48,0	45,0
Negro de humo	22,0	22,0
Acero	15,0	25,0
Textil	5,0	—
Óxido de zinc	1,2	2,1
Azufre	1,0	1,0
Varios	8,0	6,0

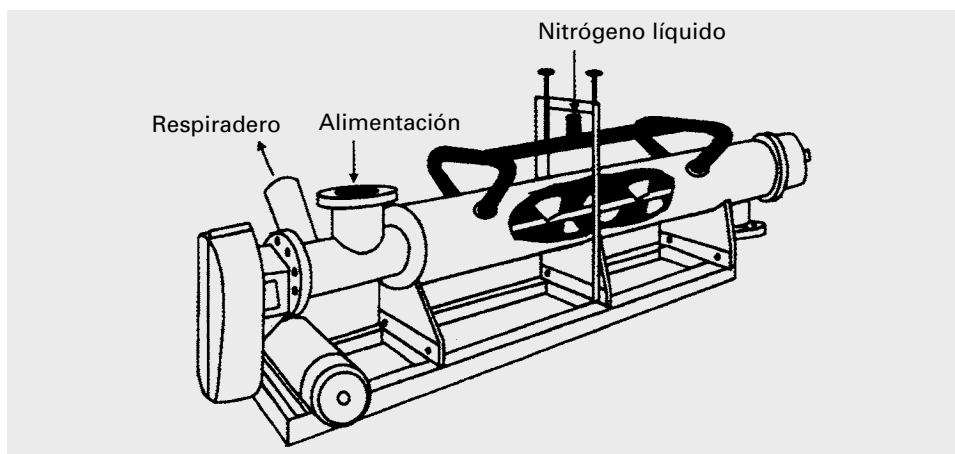


Figura 14.46. Sistema de trituración criogénica.

- *Trituración avanzada.* Se trata de un método, en periodo de pruebas, que consiste en generar impulsos eléctricos que provocan potentes descargas eléctricas a través de la cuerda metálica interna lo que favorece la separación de componentes gracias al choque magnético.

5.3.3. Valorización de NFU's para carreteras

Las tres formas clásicas de valorización de NFU's para su uso en firmes de carreteras son:

- *Modificación de betunes:* solución también denominada vía húmeda, ya sea para el propio firme de carreteras o para membranas impermeabilizantes. Consiste en incorporar al betún una cierta cantidad de neumático triturado, bajo ciertas condiciones de mezclado: temperatura, sistema y tiempo de mezclado.

Con ello se logra una estructura de la base asfáltica más noble y realiza ciertas propiedades técnicas como la elasticidad que redundan en mejores prestaciones de los firmes, principalmente la adherencia, la vida y calidad del firme.

Con las membranas impermeabilizantes se persigue la fabricación de juntas de dilatación y productos para el puentado de fisuras.

- *Sustitución de áridos pétreos:* Se trata de la adición de triturados de neumáticos para la sustitución de los agregados pétreos de las masas bituminosas. Estas mezclas asfálticas son empleadas para capas de base o intermedias, capas de rodadura de granulometría densa (continua o discontinua) o mezclas porosas. Es la llamada vía seca. De hecho existen dos variantes de la denominada vía seca. En la llamada vía seca sin digestión, la adición de polvo de neumático dismi-

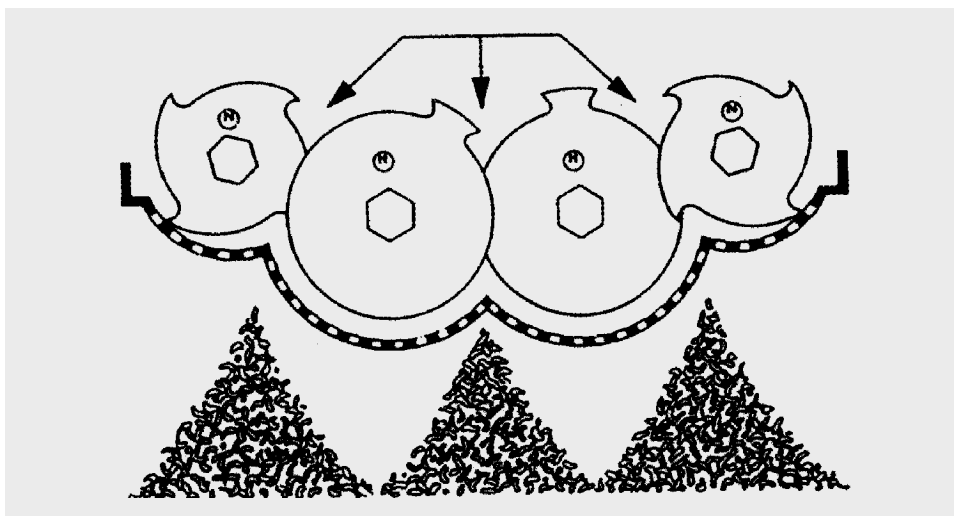


Figura 14.47. Sistema de trituración convencional.

nuye la compacidad de las mezclas con él fabricadas. Parece como si aumentara el espesor de la película de ligante que envuelve a los áridos, incrementando su separación y disminuyendo la compacidad de la mezcla. En la variante de vía seca con digestión, la mezcla fabricada permanece a 165 °C durante 1 o 2 horas, lo que tiene un efecto determinante y positivo sobre el poder aglomerante del ligante. En la vía húmeda, el polvo modifica la reología de la pasta y logra un mejor poder aglomerante que los betunes de base.

Hay que añadir que la vía seca no mejora de por sí las prestaciones técnicas del firme. De hecho se sustituye, aunque sea parcialmente, un árido muy barato por un polímero de alto coste de preparación, lo que suele encarecer el sistema en un 15% respecto a la solución tradicional.

5.3.4. El confort acústico y tráfico urbano

Tanto el ruido interno, que solo percibe el conductor, como el ruido externo que es el responsable del impacto ambiental del tráfico, tienen su origen en la interacción del neumático y la superficie de rodadura. Se pueden distinguir tres grandes causas:

- Irregularidades en la superficie de la carretera, ya sea en forma de deterioros o discontinuidades del asfalto, o bien macrorrugosidades de la superficie. Es en este campo donde tiene aplicación el firme de bajo ruido.
- Discontinuidades en la superficie del propio neumático.
- Discontinuidades internas del neumático.

5.3.5. Usos del granulado de NFU's

Al margen de las citadas anteriormente o bien las valorizaciones energética, los usos más habituales son:

- En los propios automóviles formando parte de esterillas, volantes, carcasas de baterías, paneles, etc.
- En el ferrocarril, en las vías de trenes y tranvías para absorber el ruido y las vibraciones.
- En superficies deportivas al aire libre y en interiores para crear superficies que amortigüen el impacto de los golpes.
- En forma de baldosas aglomeradas con polímeros. Con ello se logran suelos antideslizantes, resistentes al agua, antibacterias y antimoho.
- Materiales para tejados. Ya sea en forma de tejas o láminas impermeabilizantes y resistentes a la radiación ultravioleta.
- Moquetas para interiores que atenúan el impacto sonoro y mejoran el aislamiento térmico.
- En piezas de calzado.
- Objetos para mobiliario urbano e interiores. Sistemas de señalización. Circuitos de velocidad.
- En ingeniería: Construcción de taludes de alta seguridad. Láminas de impermeabilización. Suelos drenantes.
- Pavimentos muy flexibles.
- Arrecifes artificiales y barreras para embarcaderos.

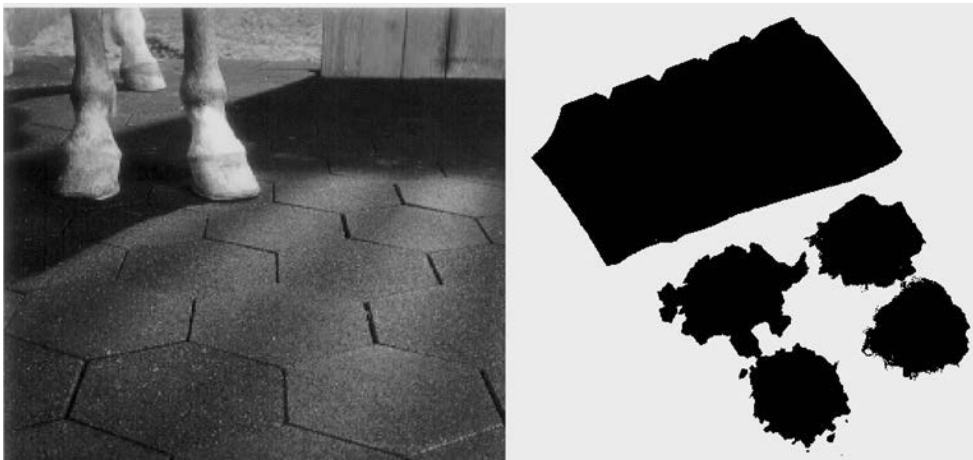


Figura 14.48. Materiales y usos de los granulados de NFU's.

- *Sólido negro*: residuo negro carbonoso (RNC) apto para el empleo como combustible o para la fabricación de «negro de humo».
- 2. Purificación del RNC: se busca obtener negro de humo de calidad suficiente para ser comercializado.
- 3. Aprovechamiento energético de la fase líquida: mediante un sistema de cogeneración en ciclo combinado.

En el DVD adjunto, en el punto 6, se muestra más información sobre valoración de neumáticos usados.

Otras posibles aplicaciones de los NFU son:

- Aglomerantes betún/caucho: Existen dos variedades principales. El residuo de neumático triturado muy fino (por debajo de 0,7 mm.) se añade a la fracción bituminosa. El resultado es un firme de carretera de excelente calidad. La otra variante consiste en triturar el residuo y añadirlo como si se tratara de sustituir al árido (llamada vía seca). Repsol-YPF ha desarrollado una tecnología que permite el uso de betún mejorado con polvo de neumáticos reciclados, una vez separado el acero, en la fabricación de asfaltos para pavimentos de carreteras (Dentro de la Operación Asfalto 2006, se han pavimentado diversas calles en Madrid).
- Usos varios: Los más importantes consisten en la fabricación de materiales para la construcción. Así el triturado de neumático aglomerado con polímeros sirve para la fabricación de losetas elásticas para uso en exteriores.
- Otras aplicaciones consisten en el uso de neumáticos para la construcción de arrecifes artificiales, bloques antivibratorios, taludes, elementos de protección, etc.
- Otro empleo es la mezcla con poliuretano para la fabricación de pavimentos de alta absorción.

En el DVD adjunto, en el punto 7, se aporta información sobre el reciclado de neumáticos como material de construcción.

5.3.1. Valorización del granulado de neumáticos usados

Los residuos de caucho provienen principalmente de los NFU, que actualmente en Cataluña se estima

en 35.000 t/año; también provienen de los polvos de caucho que genera la industria y de bandas de cintas transportadoras fuera de uso entre otros. El Centro Catalán del Reciclaje de la Agencia de Residuos de Cataluña propone las siguientes alternativas para la utilización de granulado de caucho proveniente de NFU:

- Losetas para zonas de alta montaña: más ligeras, con buena resistencia al impacto y a las resquebrajaduras causadas por los ciclos de hielo y deshielo.
- Bloques de construcción con propiedades aislantes acústicos.
- Losetas para revestimientos exteriores: más ligeras, aislantes acústicos y con apariencia atractiva.

En todos estos productos prefabricados con hormigón, parte del árido convencional ha sido reemplazado por granulado de caucho proveniente de los NFU. El porcentaje de granulado de caucho a utilizar dependerá del producto prefabricado, siendo razonable un contenido mínimo del 3% del peso de la pieza.

5.3.2. Trituración y molienda de los NFU's

Para cualquiera de las valorizaciones a que se pueden someter los neumáticos es preciso una trituración, para ser más conciso una trituración previa de unos 10-20 cm, antes de iniciar la trituración definitiva. Ésta se lleva a cabo en un triturador de cuchillas de tres ejes que gira a baja velocidad para favorecer la incorporación del propio neumático.

Existen dos sistemas de producir el granulado:

- *Trituración criogénica*. El neumático es un cuerpo elástico, pero si se somete a baja temperatura, operación que se efectúa con nitrógeno líquido y se logra una temperatura de trabajo por debajo de los -60°C , se torna quebradizo y se desintegra fácilmente en molinos de martillos convencionales. El inconveniente que tiene es el gran consumo de nitrógeno. La Figura 14.46 muestra el sistema que pone en contacto el líquido refrigerante con el neumático previamente troceado.
- *Trituración convencional*. Se trata de molinos clásicos, como el que esquematiza la Figura 14.47. El acero se separa por medio de separadores magnéticos y el textil por mesa densimétrica.

RECICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora

XAVIER ELIAS
(Editor)

2ª EDICIÓN



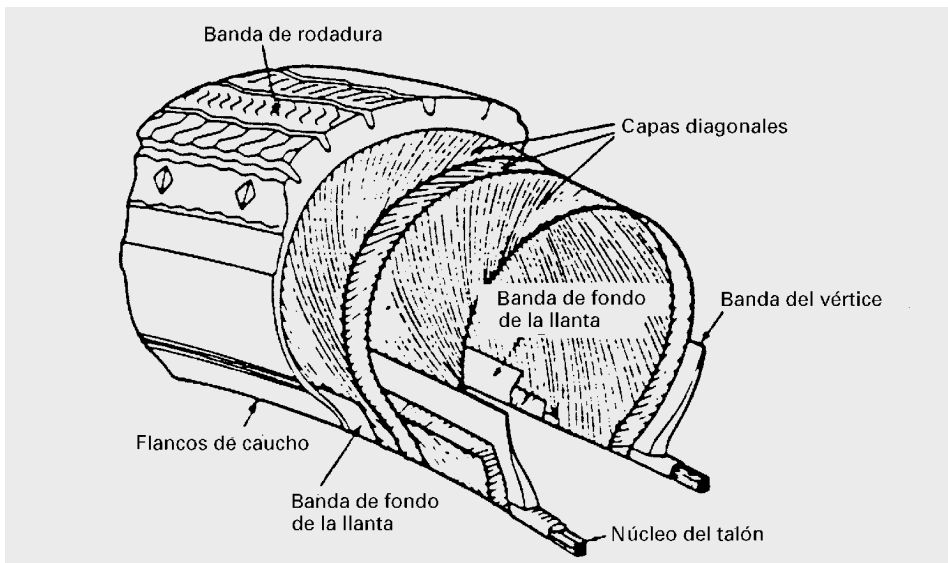


Figura 14.45. Estructura de un neumático.

Tabla 14.21. Composición de un neumático (componentes)

Componente	Automóviles % en peso	Camiones % en peso
Peso (medio) kg.	7-8	16-60
Carbono	70-75	68-72
Hidrógeno	6-7	5-6
Azufre	1-2	1-2
Inertes (rellenos)	3-4	2-3
Hierro	10-12	20-22

Para evitar confusiones se describen sintéticamente las principales definiciones empleadas para el aprovechamiento de los artículos de goma usados:

- **Utilización repetida:** Reutilización de una pieza o algún componente, eventualmente reparado (ejemplo: recauchutado del neumático).
- **Material reciclado:** Reutilización del material, ligeramente modificado, para la misma aplicación o similar (ejemplo: tubos de refrigeración fabricados con parte de residuo).
- **Material recuperado:** Utilización de materiales como modificadores, para la fabricación de artículos distintos. (ejemplo: modificación de asfalto con residuo molido).
- **Reciclado químico:** Transformación en monómeros u otros materiales de bajo peso molecular. (ejemplo: fabricación de gas de síntesis).
- **Reciclado energético:** Valorización energética. (ejemplo: combustible en hornos de cemento).
- **Varios:** Relleno de terraplenes, construcción de diques, taludes, etc.

Existen también numerosas aplicaciones directas de los neumáticos fuera de uso, bien para ser utilizados enteros o semienteros, empleando solamente sus flancos y banda de rodadura, por ejemplo en defensas de muelles o embarcaciones y en rompeolas; o en estructuras del tipo barrera antirruído, taludes de carretera, estabilización de zonas anegadas, pistas de canteras, retención del agua en aplicaciones agrícolas y control de la erosión principalmente. No obstante todas estas posibles aplicaciones tienen un potencial de empleo muy limitado debido a que no forman parte de los productos y servicios de empresas suministradoras de material de construcción y por tanto su utilización en muchos casos se restringe a proyectos de demostración aislados.

Respecto a la utilización del reciclado, existen múltiples aplicaciones del granulado de caucho obtenido por trituración del neumático, que se emplean en parques infantiles, pistas deportivas, planchas para revestimientos, alfombras de automoción, productos moldeados de bajas especificaciones técnicas, etc., que aunque importantes en cuanto a número, son relativamente minoritarias en cuanto al consumo dada la madurez de algunos mercados actuales.

Sin embargo, se debe mencionar el uso del triturado con granulometrías de 1,5 y 3,0 mm para su empleo como drenaje y amortiguamiento de fuerzas en rellenos de campos de deporte con césped artificial. Esta aplicación consume en España cerca del 50% del material procedente del neumático fuera de uso que se recicla; aunque es posible que este buen desempeño de la demanda actual sea una situación transitoria mientras se alcanza el punto de equilibrio del mercado.

Tabla 14.22. Estimaciones de generación y reciclado de NFU's en España (Fuente NEDES)

Año	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Generación (toneladas)	243.732	265.277	280.300	300.958	285.000	305.718
Material reciclado (toneladas)	3.500	4.000	4.000	23.500	27.143	42.500
% Reciclado	1,43	1,50	1,43	7,81	9,52	13,90

En cuanto a aplicaciones con buen potencial y que aún se deben desarrollar y que permitirán un consumo en grandes cantidades de NFU reciclado será el empleo de granulados de diámetro más bajo para la producción de mezclas asfálticas para carreteras. En general, las mejoras que se consiguen con el polvo de neumático son una mayor resistencia a las deformaciones plásticas (roderas) y la reducción del ruido de rodadura.

En el DVD adjunto, en el punto 5, se muestra información sobre reciclado de neumáticos, granulado y trituración.

Existen dos procedimientos para emplear el polvo de neumático para capa asfáltica:

- La «vía húmeda» que admite a su vez dos variantes y en la cual se modifican previamente el betún que sirve de ligante a la mezcla bituminosa.
- La «vía seca», en la que el polvo de neumático se añade directamente a la mezcla bituminosa como si fuese un filler de aportación.

En ambos procedimientos se han llegado a obtener mezclas asfálticas con buenas características mecánicas y reológicas, con resultados satisfactorios en la mayoría de las pruebas realizadas en tramos experimentales a lo largo de toda la geografía española.

5.2.1. El coste del reciclaje de neumáticos

El año 2006 la entidad sin fines de lucro Signus Ecovalor comenzó sus actividades de reciclaje de neumáticos en todo el territorio español en respuesta al nuevo marco jurídico vigente que establece el principio de responsabilidad del productor de neumáticos como garante de la gestión y valorización de los mismos cuando dejan de ser utilizables para circular. Es así que el consumidor a partir de la entrada en vigor de la nueva legislación ve reflejado en la factura de compra el precio de la gestión medioambiental del neumático.

La tarifa servirá para financiar el proceso completo de reciclaje y valorización desde la perspectiva de un empeño común en defensa del medio ambiente. La entidad Signus tiene previsto emplear en el año 2007 más de 50 millones de Euros en la recogida, transporte, almacenamiento y preparación de NFU para su posterior valorización, además de proyectos de fomento y búsqueda de nuevas soluciones de valorización.

5.3. VALORIZACIÓN DE NEUMÁTICOS USADOS

La posible solución a la acumulación y gestión de los NFU's mediante la valorización energética se convierte en una propuesta interesante por el valor de la energía que se puede obtener. La valorización completa elimina el principal inconveniente de la valorización energética, en instalaciones que no sean cementeras, que es la producción de un residuo sólido más contaminante que el neumático usado de partida.

La valorización completa permite:

- Obtener materias primas para su reutilización en la fabricación de neumáticos.
- Valorizar energéticamente los componentes volátiles del neumático.
- Resolver medioambientalmente el problema existente de la producción y acumulación de NFU.

La empresa Rianarco SL en colaboración con la Universidad de Alcalá de Henares y la Universidad Complutense de Madrid y con el apoyo tecnológico de Eratic-CIS de Valencia (España) ha diseñado una planta para la valorización completa de los NFU que se basa en los siguientes procesos:

1. Pirólisis de los NFU's: obteniéndose básicamente los siguientes componentes comercializables o valorizables:
 - Gases: CO, CO₂, CH₄, C₂H₄ e hidrocarburos livianos.
 - Líquidos: cetonas, ácido acético, compuestos aromáticos y fracciones no pesadas.