

Real Decreto
sobre gestión de NFU

Aplicaciones de los Neumáticos Fuera de Uso

El Consejo de Ministros aprobó, el pasado mes de diciembre, el Real Decreto que tiene por objeto prevenir la generación de neumáticos fuera de uso (NFU) y establecer el régimen jurídico de su producción y gestión: por este orden, su reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización, con la finalidad de proteger el medio ambiente.

Uno de los residuos que más caracterizan a las sociedades desarrolladas modernas, tan dependientes del automóvil, son los neumáticos fuera de uso. Este tipo de residuos requiere un tratamiento jurídico-técnico específico que, aplicando los principios teóricos básicos de la gestión de residuos, permita reducir su generación y reciclar sus componentes. Aunque se trata de un residuo no peligroso, sus particulares características de no degradabilidad en la naturaleza (superior a 100 años) o su alta capacidad calorífica –que dificulta su extinción en caso de incendios– entre otras,

constituyen factores que aconsejan la adopción de una norma que los regule teniendo en cuenta esas características propias.:

De acuerdo con las estadísticas más recientes, en los últimos años se han generado, en la Europa de los Quince, unos 205 millones de unidades de NFU anuales, esto es, unas 3 millones de toneladas. En España, los últimos datos disponibles indican que en 2003 se generaron 297.000 t y en 2004, 305.000 t.

LA DIRECTIVA EUROPEA

En 1999, la Unión Europea adoptó la Directiva 1999/31/CE, en

En España, los últimos datos disponibles indican que en 2003 se generaron 297.000 t y en 2004, 305.000 t. de neumáticos fuera de uso.





El Real Decreto garantiza la prevención y la correcta gestión ambiental de un residuo de enorme significación social, del cual se generan más de 300.000 toneladas al año

la que prohibía la eliminación por depósito en vertedero de los neumáticos enteros a partir de 2003 y de los neumáticos troceados a partir de 2006. Esta Directiva se transpuso al derecho interno español a través del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre. Como consecuencia práctica directa de tales prohibiciones, se hace necesaria la búsqueda de nuevas posibilidades de reciclaje del material contenido en los NFU.

En el año 2001 y en aplicación de la Ley 10/1998, de Residuos, se aprobó el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2001-2006, en el que se preveía la elaboración y aprobación de un esquema económico para asegurar la correcta gestión ambiental de los NFU.

El Real Decreto recientemente aprobado constituye la culminación de este proceso tendente a optimizar la gestión de los NFU, estimulando las medidas de prevención (alargamiento de su vida útil, recauchutado), promoviendo su reciclaje e incorporando a nuestro ordenamiento interno el principio de responsabilidad del productor, uno de los más relevantes de cuantos figuran en la estrategia comunitaria sobre residuos.

Los contenidos básicos de este Real Decreto son los siguientes:

- ✿ Garantizar la recogida y correcta

Muchas pistas de tenis tienen como componente principal polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos.



gestión ambiental en el territorio español de los neumáticos puestos en el mercado nacional, con excepción de los neumáticos de bicicleta y aquellos cuyo diámetro exterior sea superior a 1.400 milímetros.

- ❖ 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.
- ❖ Fomentar la política preventiva mediante la obligación de que los productores elaboren planes empresariales de prevención que identifiquen los mecanismos de fabricación que prolonguen la vida útil de los neumáticos y faciliten la reutilización y el reciclado de los neumáticos al final de su vida útil.
- ❖ 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.
- ❖ Identificar la figura del “Generador del residuo” (por ejemplo los talleres de coches) estableciendo sus responsabilidades, entre las que destaca la de hacerse de los residuos de neumáticos 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, a un centro autorizado o gestor o gestionarlos por sí mismos.

- ❖ Cuantificar unos objetivos ecológicos mínimos de recuperación, reciclaje y otras formas de valorización de los NFU. Para ello el productor de neumáticos estará obligado a 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.

Los objetivos ecológicos hoy en vigor son:

- Recuperación y valorización del 100 por ciento de los NFU troceados generados antes de 2007, incluidos los ya almacenados en los vertederos o depósitos existentes.
- Prohibición de la eliminación (vertido o incineración sin recuperación energética) de los NFU enteros y de los troceados a partir del 1 de enero de 2006.
- Reducción en un 5 por 100 en peso de los NFU 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 NFU 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 NFU procedentes de camiones.
- ❖ Diseñar un esquema que permita la participación en las operaciones de recogida y gestión de NFU a todos los agentes económicos que intervienen en el ciclo de vida del neumático, incluidos los recicladores. En particular se abre la

posibilidad de poner en práctica Sistemas Integrados de Gestión de del mismo modo que se viene haciendo con otros tipos de residuos.

- ❖ Y establecer las modalidades de gestión que pueden ser utilizadas por los productores de los neumáticos. En este último sentido, los productores han apostado por el procedimiento de Sistema Integrado de Gestión (SIG) habiendo constituido ya una entidad sin ánimo de lucro denominada SIGNUS ECOVALOR, que de forma inmediata tramitará sus autorizaciones como SIG en las comunidades autónomas, para responsabilizarse de la correcta gestión ambiental de los neumáticos, una vez que éstos se convierten en residuos.

Por otro lado, el Ministerio de Medio Ambiente está promoviendo actuaciones de fomento del reciclado de NFU. Entre éstas destacan las medidas tendentes al impulso a la creación de un mercado de NFU. Así se están consensuando con el Ministerio de Fomento las condiciones para la utilización de este residuo en la producción de mezclas bituminosas para las autovías y carreteras promovidas por el Estado. Además, en la Memoria Ambiental del PEIT se incluyó una recomendación expresa según la cual las actuaciones de I+D+i de aquél deben incluir entre las líneas prioritarias el uso de residuos y materiales reciclados en la construcción de infraestructuras.

Pista polideportiva

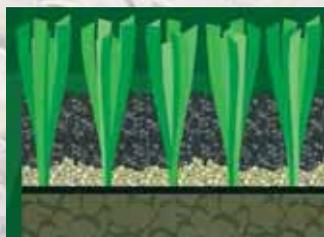


Se hace efectivo el principio de responsabilidad del productor, esto es, quien contamina, paga

Destino	1996	1998	2000	2002	2003
Reutilización/ Exportación	8%	11%	10%	10%	11%
Recauchutado	12%	11%	11%	11%	13%
Reciclado	11%	18%	19%	21%	25%
Recuperación energética	20%	20%	21%	23%	25%
Vertedero	49%	40%	39%	35%	26%

Destino de los NFU en España, año 2005

Destino	Toneladas /año	% sobre el Total de t /año
Reutilización/ Exportación	20.000	6,7
Recauchutado	30.000	10,0
Reciclado	50.000	16,7
Recuperación Energética	70.000	23,3
Vertedero	130.000	43,3



Hace unos cinco años apareció una nueva generación de alfombras de hierba artificial específicas para la práctica del fútbol que utilizan como material de relleno principalmente granulos de caucho suelto.

APLICACIONES DE LOS NEUMÁTICOS FUERA DE USO

El proceso de reciclado comienza con la recolección y clasificación de los neumáticos usados. De los neumáticos recogidos, una parte se revende para su reutilización (generalmente en otros países); otra parte, que afecta principalmente a los neumáticos de camión, se destina al recauchutado, aprovechándose las carcasas originales y cambiando la banda de rodadura. Las carcasas pueden llegar a reutilizarse de ésta manera hasta tres y cuatro veces alargando así su vida útil.

Los neumáticos restantes, se reciclan, o se utilizan como combustible. En este último uso se parte de neumáticos enteros o triturados, y la valorización energética se lleva a cabo en plantas industriales, principalmente en fábricas de cemento o de productos cerámicos.

El reciclado puede consistir en la reutilización del neumático entero o troceado. En el último caso se separan el caucho vulcanizado, el acero y las fibras mediante un proceso de trituración. El caucho vulcanizado en forma de partículas de distintos tamaños o en forma de polvo tiene su aplicación en múltiples usos bien como material suelto, aglomerado o combinado con otros materiales para su uso en distintas industrias.

El acero se aprovecha como materia prima en acerías y hasta la fecha no se ha encontrado utilidad para el textil.

Las distintas aplicaciones de los neumáticos fuera de uso en España se han subdividido en los grupos siguientes.

APLICACIONES YA IMPLEMENTADAS PAVIMENTOS DEPORTIVOS

Con la popularización de los deportes fueron necesarias instalaciones de uso intensivo, con pavimentos duraderos que permitieran su utilización sin excesivos costes de mantenimiento y que permitiera igualmente en instalaciones al aire libre. En consecuencia, han ido apareciendo pavimentos sintéticos adaptados en muchos casos a cada deporte en particular y donde las partículas de caucho procedentes de la trituración de neumáticos usados, utilizados bien sea aglomerados con un ligante elástico o bien como material suelto, juegan un papel importante como material básico con excelentes prestaciones.

PISTAS DE ATLETISMO

En los juegos olímpicos de Méjico en el año 1968 se empleó por primera vez un suelo sintético como pavimento para las pistas de atletismo resultando un éxito en cuanto a las marcas conseguidas por los atletas. Este hecho marcó un antes y un después en la historia del atletismo. Las enormes ventajas de los pavimentos sintéticos, llevaron a la renovación con estos nuevos revestimientos de la gran mayoría de las pistas realizadas hasta la fecha.

Los granulos de caucho procedentes de neumáticos usados son una materia prima básica en la composición de los distintos revestimientos sintéticos que aparecieron en el mercado siendo el primero y más conocido el Tartan marca ya desaparecida del mercado, pero que sigue teniendo continuidad como sistema constructivo bajo otras marcas comerciales.

PISTAS MULTIUSO

En España la mayoría de las pistas deportivas al aire libre son de hormigón, pero en otros países europeos es obligatorio utilizar pavimentos elásticos lo que ha dado lugar al consumo de grandes cantidades de granulos de caucho para éste fin.

Una pista polideportiva tiene una superficie de unos 1.200 m² por lo que serían necesarios 7.200 kg. de grá-

Césped artificial.



*Pavimentos de seguridad.
Se utilizan principalmente en
parques infantiles, guarderías y
residencias de ancianos.*



nulos de caucho para su construcción. Para obtener esta cantidad de caucho triturado es necesario reciclar 1700 neumáticos de turismo.

PISTAS DE TENIS

La práctica del tenis de alta competición es especialmente sensible al tipo de pavimento, siendo el sistema de superficie artificial más aceptado universalmente el realizado sobre una infraestructura flexible acabada con una pavimentación asfáltica sobre la que se aplican una serie de capas finas, parte de las cuales tienen como componente principal polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos y que utilizan como aglomerantes resinas acrílicas en emulsión.

La combinación de las capas con

contenido de caucho y las capas finas en color con un alto contenido en cargas minerales finas permiten realizar revestimientos cómodos para el jugador y donde el bote de la pelota se ajusta al gusto del practicante.

CAMPOS DE HIERBA ARTIFICIAL

El mantenimiento en buen estado de un terreno sea de hierba o en materiales sueltos es costoso. En invierno, en climas extremos de lluvia o hielo impide la práctica deportiva en condiciones razonables limitando las horas de uso de la instalación y por lo tanto afectando a la rentabilidad de la misma.

Los campos lastrados con arena, que en España se utilizaron con cierto éxito para el fútbol en categorías inferiores y en campos de entrenamiento, consisten básicamente en una moqueta cuyas fibras sintéticas imitan a la hierba natural. Esta moqueta, que se presenta en rollos, se coloca flotante sobre una infraestructura flexible acabada en aglomerado asfáltico preferentemente y se lastra con arena de sílice limpia, seca y calibrada hasta rellenar los 25 mm de altura de las fibras que la componen. Entre la base asfáltica y la moqueta se coloca una base elástica realizada in "situ" a base de gránulos de caucho aglomerados con un poliuretano de unos 20 a 30 mm de espesor para dotar a la superficie de una cierta elasticidad.

Hace unos cinco años apareció una nueva generación de alfombras de hierba artificial específicas para la práctica del fútbol. Las fibras son más largas y pasan de 25 mm a 50 mm, están lubricadas para evitar quemaduras y utilizan como material de relleno principalmente gránulos de caucho suelto combinados con arena que por su mayor peso específico se sitúa en el fondo sirviendo de lastre del sistema.

La capa elástica ya no es necesaria para dotar al sistema de elasticidad ya que las partículas de caucho sueltas proporcionan elasticidad suficiente aunque en algunos casos se sigue proponiendo como opción extra.

El resultado es sensiblemente mejor, consiguiéndose una imitación casi perfecta a la hierba natural en cuanto a prestaciones deportivas.

En España se están haciendo unos cien campos de fútbol de hierba artificial por año lo que supone un consumo de 10.000 t/año de gránulos de caucho procedente del reciclado de neumáticos usados.

Un solo campo de fútbol necesita para su relleno unas 90-100 toneladas de gránulos que para obtenerlos se requieren el reciclado de 25.000 neumáticos de turismo.

PAVIMENTOS DE SEGURIDAD

Se utilizan principalmente en parques infantiles, guarderías y residencias de ancianos.

Se presentan en forma de baldosas prefabricadas o se realizan in situ y su composición es a base de gránulos de caucho aglomerados con resinas de poliuretano.

Como pavimento de seguridad evita las posibles lesiones por caídas al resultar un pavimento elástico, siendo la alternativa la arena suelta principalmente para parques infantiles sistema que resulta menos limpio y caro por su mantenimiento.

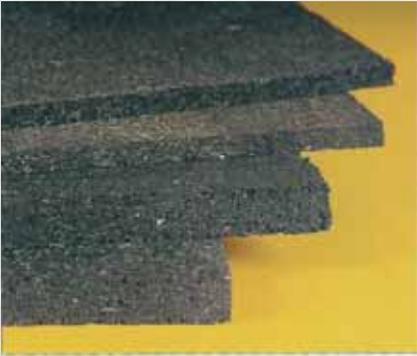
El consumo actual en España se estima en unos 100.000 m² año de baldosas de espesor medio de 4 cm. lo que supone una cifra anual de 2.400 t / año de gránulos de caucho de NFU.

En países como Francia y Alemania el uso de éste tipo de baldosas



Otra aplicación en alza es el protector de barreras flexibles de seguridad, que puede evitar lesiones por impacto en las caídas de motoristas y ciclistas.

Los NFU tienen ya numerosas aplicaciones: pavimentos deportivos, hierba artificial, pavimentos de seguridad, aislamiento acústico, industrias del caucho, etc



El CEDEX ha desarrollado para el Ministerio de Medio Ambiente un Manual para el empleo de polvo de caucho en mezclas bituminosas.

en zonas de recreo en colegios y guarderías es de obligado cumplimiento lo que ha fomentado su empleo enormemente.

AISLAMIENTO ACÚSTICO Y CONTRA RUIDO DE IMPACTO

El consumo en éste sector puede ser muy importante debido entre otras razones a la entrada en vigor de los códigos de edificación que permitirán el desarrollo de la nueva ley de edificación donde las exigencias en el aislamiento acústico de las viviendas se va a ver incrementado de forma notable.

El aislamiento al ruido se consigue por diversos métodos y con materiales de distintas naturalezas. Entre los más eficaces se sitúan los materiales compuestos por granulados de caucho, con una muy buena absorción acústica, que se colocan adheridos a las paredes entre los ladrillos o en el suelo por debajo del pavimento.

Por otro lado, el caucho también 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 granulado, aglomerado con resinas de poliuretano, se ha utilizado como capa de aislamiento en barreras acústicas prefabricadas.

INDUSTRIAS DEL CAUCHO

La industria del caucho es una potencial consumidora de polvo de caucho vulcanizado de NFU, ma-

APLICACIONES	TIPO DE PRODUCTO	CONSUMO ANUAL EN TN.
Campos de hierba artificial (bases elásticas)	1,5 – 5,0 mm.	4.000
Campos de hierba artificial (material suelto de relleno)	0,5 – 2,0 mm.	18.000
Pavimentos multiuso	1,5 – 4,0 mm.	400
Suelos de seguridad	1,5 – 4,0 mm.	3.400
Aislamientos acústicos y contra ruido de impacto	0,5 – 1,5 mm.	1.000
Pistas de atletismo	1,5 – 4,0 mm.	1.500
Industrias del caucho y asfaltos modificados	0,0 – 0,4 mm.	1.700
Total mercado		30.000

terial que utilizan como un componente más en sus mezclas siendo la cantidad introducida en las mismas variables en función del producto a fabricar.

Los productos de caucho que más polvo de NFU consumen son: Suelas de zapatos, alfombrillas para coches, pavimentos, ruedas macizas, cubos de basura, espuelas, etc.

Dentro del campo de la ingeniería civil se han utilizado productos reciclados en equipamientos viales prefabricados tales como bordillos, badenes, isletas, bandas sonoras, conos de señalización, barreras de seguridad, etc

En el campo de los equipamientos ferroviarios destaca la utilización de losetas flexibles en pasos a nivel. Se trata de una aplicación especialmente interesante para los ferrocarriles urbanos. Existen también algunas experiencias en la fabricación de traviesas compuestas.

PROTECTORES DE BARRERAS DE SEGURIDAD PARA LA CIRCULACIÓN

Otra aplicación en alza es el protector de barreras flexibles de seguridad, que puede evitar lesiones por impacto en las caídas de motoristas y ciclistas contra los soportes del guardarrail dada la naturaleza del material con que está fabricado.

APLICACIONES EN FASE DE DESARROLLO. MEZCLAS BITUMINOSAS MODIFICADAS

Ésta es sin lugar a dudas una de las aplicaciones más interesantes, ya que puede consumir grandes cantidades de neumáticos fuera de uso, beneficiando además a las carreteras. El polvo de caucho actúa como modificador de las propiedades de las mezclas bituminosas, mejorando su comportamiento mecánico y su durabilidad y reduciendo además el ruido de rodadura de los vehículos.

Existen múltiples experiencias especialmente en Estados Unidos, Canadá y Sudáfrica que avalan la calidad de las distintas mezclas obtenidas con “Betún – Caucho” de NFU. En el Estado de Arizona su empleo se realiza desde los años sesenta, con más de 4.000 kilómetros construidos de calzada y exce-

En el campo de los equipamientos ferroviarios destaca la utilización de losetas flexibles en pasos a nivel. Existen también algunas experiencias en la fabricación de traviesas compuestas.



El caucho también resulta adecuado para la fabricación de pantallas antirruído en carreteras.



lentes resultados.

En España se han venido construyendo tramos experimentales y ejecutando obras desde mediados de los años noventa, con resultados muy prometedores. Algunos de los tramos más destacados son:

- Carretera A- 373 entre El Bosque y Ubrique
- Autopista A7 en Valencia, sobre firme de hormigón
- En Cataluña, carretera B-140 Sabadell – Mollet.
- Numerosos tramos de ensayo en Valladolid, en carreteras del Ministerio de Fomento.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG-3 incluye entre sus especificaciones la prioridad al empleo de los neumáticos fuera de uso en mezclas bituminosas en las obras en las que su utilización sea técnica y económicamente viable. El CEDEX ha desarrollado para el Ministerio de Medio Ambiente un Manual para el empleo de polvo de caucho en mezclas bituminosas, en el que se definirán las mejores prácticas y las especificaciones para las unidades de obra correspondientes. En la actualidad el documento se está discutiendo en un grupo de expertos en el que participan el CEDEX, la Dirección General de Carreteras y la Dirección General de Calidad y Evaluación Medio Ambiental, junto con representantes de universidades, centros de investigación y empresas del sector.

OTRAS POSIBLES APLICACIONES EN

En fase de desarrollo se encuentran aplicaciones como las mezclas bituminosas modificadas, arrecifes artificiales o rellenos de terraplenes

INGENIERÍA CIVIL APLICACIONES DE NEUMÁTICOS TROCEADOS

Rellenos ligeros

Como relleno de terraplenes se utilizan fundamentalmente sobre cimientos compresibles o de baja capacidad portante (suelos orgánicos, limosos...), para limitar las cargas transmitidas al cimiento y los asentamientos totales. Mientras su baja densidad permite reducir las cargas totales, su deformabilidad permite un mejor reparto de las presiones transmitidas a las capas inferiores.

Los rellenos ligeros pueden utilizarse también 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. Resulta un material especialmente adecuado como relleno ligero en trasdós de muros (estribos de puentes, muros de sostenimien-

Talud.



Dique.



to...). Incluso su utilización en capas de espesor reducido interpuestas entre el muro y un relleno de tierras convencional permite limitar las presiones sobre la estructura. En esta aplicación se combinan las ventajas aportadas por la elevada drenabilidad del material, que permite disipar las presiones de origen hidráulico.

Drenaje

Capas drenante en vertederos

La implementación de la Directiva 1991/31/CE sobre eliminación de residuos mediante depósito en vertedero mediante el Real Decreto 1481/2001 de 27 de diciembre establece los requisitos técnicos exigibles a las instalaciones. Para todo tipo de vertederos se exige la instalación de sistemas de protección del suelo y de las aguas, así como de recolección y gestión de las aguas contaminadas y los lixiviados. La protección se consigue mediante la combinación de una barrera geológica (material suficientemente impermeable) y de un revestimiento artificial estanco (un geotextil) bajo la masa de residuos. Para la recogida de lixiviados se establece la instalación de una capa de drenaje de espesor superior a 0,5 m. Asimismo se establece que en los vertederos que reciban residuos biodegradables deben recogerse los gases originados en el vertedero. Finalmente la Directiva Europea establece también la utilización de una capa drenante, formando parte del sistema de sellado de vertederos, bajo la capa de coronación de tierras.

Si bien la Directiva no establece



los requisitos técnicos, la construcción de una capa drenante precisa de la utilización de un relleno de permeabilidad superior a 10-3 m/s. Los rellenos de NFU troceados presentan permeabilidades del orden de 10-2 a 10-1 m/s, y por lo tanto resultan un material muy adecuado para este uso.

La utilización de los rellenos drenantes de NFU troceado es también aplicable como parte de los sistemas de recolección de gases. El material es utilizado como relleno de las zanjas o pozos drenantes de recolección, protegido de la contaminación mediante una envuelta geotextil. Es habitual instalar tuberías perforadas recolectoras en el interior de las zanjas. En estos casos, la deformabilidad del relleno contribuye a proteger la tubería frente a las cargas exteriores.

Sistemas de drenaje en carreteras

Se han utilizado NFU troceados como material de relleno de capas y zanjas drenantes en carreteras. En estas aplicaciones el material debe estar confinado por una lámina de geotextil drenante que impida la colmatación del relleno. Al igual que en el caso de vertederos, si el dren incluye la instalación de una tubería perforada en su interior, las propiedades elásticas del relleno proporcionan una protección mecánica a la tubería.

Las propiedades aislantes del caucho hacen que sea un material de relleno idóneo en zonas sometidas a temperaturas bajas, ya que impide la congelación del agua contenida en él.

Arrecifes artificiales

La disponibilidad a bajo coste de los NFU ha popularizado su utilización para la construcción de arrecifes artificiales en programas de recuperación pesquera tanto en aguas marítimas como continentales. La misma forma geométrica abierta que tantos problemas plantea en el vertido terrestre del residuo, supone una ventaja fundamental para la creación de estructuras con numerosos huecos y gran superficie expuesta que favorecen la repoblación por organismos vivos. La construcción de arrecifes artificiales está especialmente extendida en la zona del Pacífico, aunque hay experiencias en Europa, Estados Unidos, Centro América y Australia.

Se utilizan estructuras que agrupan un gran número de neumáticos de forma modular, generalmente unidos por grapas o cables. Existen distintas formas, más o menos abiertas. Los módulos de la base se rellenan parcialmente de hormigón o se anclan a losas para garantizar su sumergibilidad y estabilidad.

Macizos de suelo reforzado

La utilización de 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 (procedimientos tipo Pneusol, desarrollado por el LCPC francés, y similares). Los neumáticos pueden o no estar ligados entre sí mediante cables o grapas, y presentar o no elementos de anclaje al terreno subyacente tales como barras metálicas verticales. Las es-

tructuras neumático-suelo presentan propiedades mecánicas superiores a los suelos de origen, y presentan distintas aplicaciones específicas:

- Muros de sostenimiento de tierras.
- Muros de estabilización en pie de taludes
- Muros antierosión en márgenes de cauces fluviales. En estos casos los macizos pueden recubrirse con un paramento de hormigón o fábrica

Rellenos ligeros en terraplenes (aplicaciones similares al neumático troceado)

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 × 150 cm × 135 cm. En origen la forma de la bala se asegura mediante alambres de atado, pero se ha comprobado que al cabo de cierto tiempo (dos años aproximadamente) los neumáticos comprimidos conservan su forma embalada incluso si se eliminan los alambres. Las balas de neumático no retienen agua en su interior, y presentan excelentes propiedades drenantes.

Las balas de neumáticos 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.