

MEZCLAS BITUMINOSAS FABRICADAS CON BETUNES DE ALTO CONTENIDO DE CAUCHO. APLICACION AL RECRECIMIENTO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO EN LA A-7

*ASPHALT MIXES USING HIGH RUBBER CONTENT BINDERS.
RESURFACING OF A RIGID PAVEMENT ON THE A-7 MOTORWAY*

JUAN GALLEGO MEDINA. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Profesor Titular de Universidad. U. P. M. tr10@caminos.upm.es

LUIS DE LOS SANTOS GRANADOS. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director General de ASFALTÓMEROS S.A. delossantos@infonegocio.com

RESUMEN: Los neumáticos fuera de uso han llegado a convertirse en un problema medioambiental en muchos países del mundo. La Unión Europea ha publicado recientemente legislación que impulsa al reciclado de estos residuos. España, por su parte, cuenta ya con el Plan Nacional de neumáticos fuera de uso, que prohíbe la admisión en vertedero de neumáticos a partir de enero de 2007. De acuerdo con estos condicionantes la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento ha enviado un Orden Circular animando al empleo de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas para pavimentación. Este artículo explica la tecnología de betunes modificados con alto contenido de caucho. Una tonelada de mezcla bituminosa incorpora aproximadamente tres neumáticos de coche (2% de la mezcla). El alto contenido de caucho confiere a la mezcla una resistencia mejorada a las fisuras reflejadas y una mayor vida a fatiga, que no pueden ser conseguidas con las tecnologías que incorporan en la mezcla bituminosa contenidos intermedios o bajos de caucho. Se explica también en la parte final del artículo un trabajo en la autopista A-7 (Tarragona-Valencia). Se describe tanto el excelente comportamiento estructural del recrecimiento sobre losas de hormigón como la disminución de ruido que se ha registrado tras la rehabilitación.

PALABRAS CLAVE: MEZCLAS BITUMINOSAS, NEUMÁTICOS, RECICLAJE, CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

ABSTRACT: Used tyres have become an environmental problem for most countries in the world. In response to this problem the European Union recently brought in legislation to encourage public authorities to recycle used tyres and in 2001 Spain approved a National Used Tyre Programme which will prohibit the dumping of used tyres at landfills as from January 2007. In accordance with the Programme, the Spanish Highway Department of the Ministry of Public Works has issued a circular encouraging the use of rubber from used tyres in asphalt paving mixes. This article explains the technology of high rubber content modified binders with. A ton of asphalt mix contains around three car tyres (2% of the mix) and the subsequent high rubber content provides the mix with improved strength against reflective cracking and assures a long life span that cannot be obtained by other methods using low or medium rubber contents. The article gives an example of this application on the A-7 Motorway in Spain and comments on the excellent structural performance of the overlay placed on the existing PPC pavement together with the noise reduction obtained after the resurfacing works.

KEYWORDS: ASPHALTMIXES, TYRES, RECYCLING, PAVEMENT MAINTENANCE

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas ha ido afianzándose la sensibilidad de la sociedad frente al deterioro progresivo que, de no ser objeto de esfuerzos específicos, podría sufrir nuestro medio ambiente como consecuencia del crecimiento e intensificación de la actividad humana.

1. INTRODUCTION

Over recent decades the public have become increasingly aware that unless specific measures are taken our environment will progressively deteriorate as a result of ever-increasing human activity.

Una de las consecuencias con mayor trascendencia ambiental es la generación de residuos que acompaña a casi todas las actividades: la agricultura, la minería, la industria y hasta la vida cotidiana de cualquier ciudadano. La adecuada gestión de los residuos ha sido y será uno de los buques insignia en la tarea de preservar el medio ambiente. Una tarea eminentemente técnica, en la que el Ingeniero de Caminos está llamado a tomar responsabilidades y desempeñar un importante papel.

A finales de los años noventa un residuo procedente del transporte por carretera, los neumáticos fuera de uso (NFU's), ha pasado a primera plana en la Unión Europea y en nuestro país. En efecto, se ha estimado que la UE genera cada año unos dos millones y medio de toneladas de neumáticos de desecho. En España la cifra se sitúa en torno a las trescientas mil toneladas. Las directivas europeas, la normativa española y la continua investigación han ido abordando desde distintos frentes la problemática de un residuo que crece con los progresivos niveles de motorización de un país.

Para comprender la envergadura de este problema debe considerarse que el neumático es un residuo difícilmente biodegradable; en realidad está diseñado para ello puesto que de otro modo podría resultar poco durable e incluso peligroso colocado en nuestros automóviles. Si a ello se añade su peculiar configuración, de forma tórica, y el material elástico que lo constituye, enseguida se comprenden las dificultades de compactación en vertedero y los grandes volúmenes que pueden llegar a ocupar acumulados año tras año.

Son conocidas las catástrofes ecológicas desencadenadas al arder accidentalmente acopios de NFU's. En Hagersville (Canadá) el incendio duró 17 días y la población tuvo que ser evacuada. En Seattle (Washington) ardieron durante tres meses más de un millón de neumáticos.

Aún sin llegar a estos extremos, el neumático en vertedero ofrece, por la oquedad que forma su cara interna en la que el agua de lluvia y lixiviados de otros productos quedan retenidos, un hábitat ideal para mosquitos, muchos de ellos transmisores de enfermedades. También ratas y otros roedores encuentran allí un buen cobijo: agua, temperatura adecuada y oscuridad.

La solución al problema que plantean los NFU's pasa necesariamente por la búsqueda de vías capaces de valorizar adecuadamente este residuo en condiciones económicas aceptables y en cantidades suficientes como para hacer frente al elevado número de toneladas que se generan anualmente.

El ingeniero de Caminos, a través de sus obras, puede jugar un papel importante en la resolución de este problema: las obras de carreteras pueden absorber y valorizar buena parte de los NFU's, incorporando su caucho en las

One of the main repercussions on the environment is the ensuing waste generated by almost all of these activities: agriculture, mining, industry and even domestic refuse. Suitable waste management has and will remain to be one of the mainstays for protecting the environment. This is an eminently technical duty and one in which the civil engineer must take responsibility and play an important role.

By the end of the 90's, waste from road transport and used tyres had become a primary concern in both the European Union and in Spain. In this regard, it has been estimated that the EU generates some two and half million tons of scrap tyres each year and that Spain alone is responsible for around three hundred thousand tons. At different levels, European Directives, Spanish legislation and ongoing research have all tackled the problem of waste generated by the increasing number of vehicles on the road today.

In an attempt to explain the scale of the problem, we should refer to the fact that tyres form non-biodegradable waste. Indeed, they have to be designed as such or they would not last any length of time and would be dangerous to use. If we also consider the inherent shape of a vehicle tyre and the elastic material composing the same, we may readily understand the problems involved in compacting the waste at a landfill and the mountains of used tyres which may accumulate year after year.

The ecological catastrophes arising from the accidental burning of used tyres piled up at landfills have been well reported. In Hagersville (Canada) a fire continued to burn for 17 days and the local population had to be evacuated, while in Seattle (Washington) over one million tyres burned over three months.

Even without these incidents, used tyres at landfills poses a health hazard due to their internal cavities which can fill with rain water and leached liquids from other products and provide a breeding ground for mosquitoes which frequently carry illnesses. This source of water together with warmth and darkness also provide perfect shelter to rats and other rodents.

All solutions to the problem raised by these waste tyres have to make an adequate appraisal of the waste and be both economically viable and wide-ranging in order to make any impact on the huge volumes of waste which are generated each year.

Civil engineers and their works can play an important role in solving this problem. Roadworks can reclaim and appreciate the value of a large proportion of waste tyres by employing the rubber in

mezclas asfálticas y mejorando así las propiedades de los firmes al dotarles de la elasticidad y resistencia que les confiere la presencia del polvo de caucho.

2. MARCO NORMATIVO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS NFU's

La problemática ambiental de los NFU's ha tenido su reflejo en la legislación tanto a nivel Europeo como Nacional. La primera referencia obligada es la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. Dicha ley consagra la prioridad de la reutilización o el reciclado frente a otras formas de valorización, cual puede ser la combustión con recuperación de energía (art. 1). Es el llamado *Principio de Jerarquía*, que afecta a todos los residuos, incluidos los NFU's.

Un año después, el 26 de abril de 1999 se publica la Directiva 1999/31/CE, relativa al vertido de residuos. Esta reglamentación, de obligado cumplimiento por los países miembros, sí menciona explícitamente los NFU's, estableciendo unas fechas límite a partir de las que se prohíbe su depósito en vertedero.

Consecuencia de esta Directiva han sido varias iniciativas autonómicas, y sobre todo el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2001-2006 de 5 de octubre de 2001, impulsado por el Ministerio de Medio Ambiente. Entre los objetivos ecológicos (punto 2.2) establece la prohibición de "la eliminación de los NFU's enteros a partir del 1 de enero de 2003", lo que permitiría depositarlos en vertederos previamente troceados, pero sólo como medida transitoria puesto que también establece la prohibición de "la eliminación de los NFU's troceados a partir del 1 de enero de 2007, incluidos los NFU's ya almacenados en los vertederos o depósitos existentes".

Es decir, tanto nuestro marco comunitario como el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso, derivado del primero, obligan a nuestro país a valorizar sus NFU's. Para conseguirlo es preciso disponer de vías capaces de valorizar esas trescientas mil toneladas que se generan cada año. Por ello el Plan establece una serie de líneas encaminadas al logro de sus objetivos (punto 2.3 del Plan). Entre ellas posiblemente la que más interesa al Ingeniero de Caminos es aquella en la que hace referencia a las Obras Públicas: "En las Obras Públicas en que su utilización sea técnica y económicamente viable se dará prioridad a los materiales procedentes del reciclaje de NFU's. En estos casos se exigirá la inclusión de este requisito en los correspondientes Pliegos de Prescripciones Técnicas".

La Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, consciente de estos condicionantes, dio curso hace unos meses a la Orden Circular 5/2002 bis, en la

ground powder form in asphalt mixes and, subsequently, improving the properties of the road pavings by providing greater elasticity and wear-resistance.

2. LEGISLATION ON THE RECLAIMING OF USED TYRES

The environmental problem posed by used tyres has been taken into consideration by legislation at both European and national levels. The first point of reference is the Waste Act 10/1998 of 21 April which gave priority to reclaiming or recycling over other forms of waste management such as incineration for energy purposes (art. 1). This is the so-called Leading Principle affecting all waste including used tyres.

One year later, on 26 April 1999, the EC Directive 1999/31/EC on the landfill of waste was published. This regulation, of obligatory enforcement in all member states, explicitly refers to used tyres and establishes the deadlines for the introduction of a prohibition on the dumping of used tyres at landfills.

Various regional initiatives have come into force as a result of this Directive and particularly the Spanish Plan for Used Tyres 2001-2006 issued by the Ministry for the Environment on 5 October 2001. The environmental objectives of this plan (point 2.2) include the prohibition of "the dumping of whole used tyres as from 1 January 2003". While this measure still allows shredded tyres to be dumped at landfills, this is only a transitory measure as the plan also establishes a ban on "the disposal of shredded tyres as from 1 January 2007, including those tyres already held at existing landfills or dumps".

This Community legislation and the ensuing Spanish Plan on Used Tyres, forces us to consider the reclaiming of used tyres in this country. In order to meet these objectives it is necessary to have the available means to reclaim these three hundred thousand tons of used tyres generated each year. In this regard, the Plan establishes a series of measures with the aim of meeting these objectives (point 2.3 of the Plan). Among these measures, the one which is possibly of more interest to civil engineers is that referring to Public Works: "Priority should be given to the use of materials proceeding from the recycling of used tyres in those public works where it is technically and economically viable to do so. In these cases this requirement shall be included in the corresponding Technical Specifications for the work".

In response to these conditions, the Spanish Highways Department of the Ministry of Development issued Official Circular 5/2002 in which they urged the use of crumb rubber modifier from used tyres in asphalt mixes when

que anima al empleo del caucho de NFU's en mezclas bituminosas cuando resulte técnica y económicamente rentable. La Orden Circular entró en vigor el 16 de noviembre de 2002 y entre sus disposiciones cabe citar textualmente los siguientes párrafos:

- "Primero- Modificar el apartado 540.2.1 del artículo 540 – Lechadas bituminosas, del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales Para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), incluido en la OC5/2001, en el sentido de añadir al final del mismo el siguiente párrafo: Según lo dispuesto en el apartado 2.3.f del Plan de neumáticos fuera de uso (...) *las emulsiones bituminosas a emplear podrán ser fabricadas con ligantes modificados por adición de polvo de neumáticos usados*"

- Segundo- Modificar los apartados 542.2.1 del artículo 542 – Mezclas bituminosas en caliente y 543.2.1 del artículo 543 – Mezclas bituminosas discontinuas en caliente para capas de rodadura, del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales Para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), incluidos ambos en la OC5/2001, añadiendo el siguiente párrafo: Según lo dispuesto en el apartado 2.3.f del Plan de neumáticos fuera de uso (...) *en las obras en las que la utilización del producto resultante de la trituración de los neumáticos usados sea técnica y económicamente viable se dará prioridad a estos materiales*"

- Tercero- Esta Orden Circular se aplicará a los siguientes tipos de proyectos, obras y actuaciones en general:

- Proyectos de carreteras de nueva construcción, de acondicionamiento, y de reconstrucción total (...)
- Otros tipos de proyectos y obras –incluso de rehabilitación estructural- (...)"

La experiencia española en el empleo de caucho reciclado en Obras Públicas es aún limitada, aunque ya comienza a tener cierto implante, no menor, desde luego, que en los países europeos de nuestro entorno (Francia, Alemania, etc.). La utilización del caucho de estos NFU's se ha dirigido en todos los casos a la fabricación de mezclas bituminosas para firmes de carreteras. En efecto, existen varias técnicas que permiten introducir el caucho en las mezclas bituminosas. En el siguiente apartado se explican brevemente los distintos procedimientos y se comentan brevemente sus ventajas e inconvenientes.

3. TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO EN LAS MEZCLAS BITUMINOSAS

Como sucede con otros aditivos, el caucho puede incorporarse en los materiales asfálticos mediante dos procedimientos:

technically and economically viable. This mandate, which came into force on 16 November 2002, includes the following stipulations:

- "First- Modify section 540.2.1. of article 540 – Asphalt slurry of the General Technical Specifications for Road and Bridge Works (PG-3), included in the OC5/2001, to incorporate the following paragraph at the end of the same: In accordance with that stipulated in section 2.3.f of the Used Tyre Plan (...) the asphalt emulsions employed shall be manufactured with modified binders using crumb rubber from used tyres"

- Second- Modify sections 542.2.1 of article 542 – Hot mix asphalts and 543.2.1 of article 543 – Discontinuous hot mix asphalt for road pavements of the General Technical Specification for Road and Bridge Works (PG-3), included in the OC5/2001, to incorporate the following paragraph: In accordance with that stipulated in section 2.3.f of the Used Tyre Plan (...) priority shall be given to the employment of products resulting from ground waste tyre rubber where this be technically and economically viable"

- Third- This Mandate shall apply to the following types of projects, works and operations:

- New roadworks, resurfacing and total reconstruction works (...)
- Other types of projects and works – including structural rebuilding works (...)"

Spanish experience in the use of recycled rubber in public works, while still limited, is beginning to take root and is on a par with that of neighbouring countries such as France and Germany.

The use of rubber from used tyres has, in all cases, been focused on the manufacture of asphalt mixes for road surfaces and there are currently several techniques available for introducing the rubber in the mix. The following section gives a brief explanation of the different procedures available today together with the advantages and disadvantages of each method.

3. TECHNIQUES AVAILABLE FOR THE INCORPORATION OF RUBBER IN ASPHALT MIXES

As with other additives, recycled rubber may be incorporated with bituminous materials by means of two processes:

- Wet Process: the asphalt binder is modified with rubber from used tyres as if it were any other polymer. The asphalt rubber may then be employed in spraying or

• *Vía húmeda*: el betún asfáltico se modifica con caucho de neumáticos, como si se tratase de cualquier otro polímero. El betún modificado con caucho (en adelante *betún-caucho*), puede emplearse en riegos, fabricación de mezclas asfálticas, etc. Se distinguen los dos casos siguientes:

• *Betunes de alto contenido de caucho*: Se trata de betunes con una modificación avanzada, fabricados en equipos industriales que se desplazan a la central de fabricación de mezclas bituminosas y suministran el betún caucho en tiempo real, a la demanda de la planta. Más del 2% del peso de la mezcla bituminosa está constituido por caucho.

• *Betunes de bajo contenido de caucho*: Son betunes similares a los que se modifican con polímeros vírgenes, tipo EVA o SBS, y se emplean equipos industriales similares a los empleados con aquéllos. Incorporan una cantidad de caucho que supone alrededor de un 0,5% del peso de la mezcla bituminosa, cuatro veces menos que el tipo anterior.

• *Vía seca*: Consiste en la mezcla directa del caucho con los áridos durante el proceso de fabricación de la mezcla, antes de incorporar el ligante al mezclador. Con respecto al peso de mezcla bituminosa se incorporan porcentajes de caucho entre el 1 y el 2%.

Al tratarse de tecnologías diferentes el consumo de caucho, la fiabilidad de los productos obtenidos y las prestaciones de las mezclas bituminosas que se consiguen en uno u otro caso son muy diferentes. La tabla 1 resume algunas características de los tres tipos de mezclas bituminosas descritos.

Tal y como se observa en la tabla 1, las tres tecnologías descritas dan lugar a mezclas bituminosas muy diferen-

in the manufacture of asphalt mixes, etc. The process may, in turn, be sub-divided into two different categories:

• High rubber content asphalt mixes: Highly modified asphalt binders manufactured by industrial equipment and delivered to asphalt mixing plants. The asphalt rubber is supplied in real time to suit the demands of the plant. The rubber forms over 2% of the weight of the mix.

• Low rubber content asphalt mixes: Similar to other polymer-modified asphalt binders such as EVA or SBS polymers, and requiring similar industrial equipment to that employed for the same. The rubber content forms around 0.5% of the mix, or around a quarter of that employed in the previous type.

• Dry Process: A rubber modified mix in which courser ground rubber is directly added to the aggregate before the asphalt cement is introduced and mixing occurs. The rubber forms between 1 and 2% of the weight of the mix.

As these are different processes, the reliability of the end products and the properties of the asphalt mixes obtained are different in each case. The following table summarizes some of the characteristics of the three types of asphalt mixes described.

As may be seen from table 1, the three methods give rise to very different asphalt mixes. Perhaps the characteristic which most distinguishes these methods is the binder and rubber content incorporated in each.

Mixes with a high rubber content incorporate between 8 and 10% binder (by aggregate weight). This is possible due to the high modification of the binder or asphalt cement which gives the asphalt mix excellent resistance against plastic deformation. As a result of this high binder content,

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS SEGÚN LA TECNOLOGÍA DE INCORPORACIÓN DE CAUCHO
 TABLE 1. CHARACTERISTICS OF ASPHALT MIXES ACCORDING TO RUBBER INCORPORATION PROCESS

	TECNOLOGÍA EMPLEADA/PROCESS		
	Betunes con alto contenido caucho rubber content asphalt mixes	Betunes con bajo contenido caucho Low rubber content asphalt mixes	Vía seca Dry Process
Granulometrías/Particle size	- Continuas/Continuous - Discontinuas/Discontinuous - Drenantes/Discontinuous or "gap grade"	- Continuas/Continuous - Discontinuas/Discontinuous - Drenantes/Discontinuous or "gap grade"	- Discontinuas Discontinuous
Ligante s/mezcla/Binder to mix (%)	8-10	4-6	5-6
Caucho s/mezcla/Rubber to mix (%)	2	0,5	1-2
Fiabilidad de la mezcla/Mix reliability	Alta/High	Alta/High	Media/Medium

tes. Quizás la característica que más distintas las hace es el contenido de ligante y caucho que pueden incorporar.

Las mezclas fabricadas con alto contenido de caucho incorporan entre el 8 y el 10% de ligante (sobre peso de los áridos). Ello es posible gracias al alto grado de modificación del ligante que le confiere a la mezcla bituminosa una resistencia excelente a las deformaciones plásticas. Y precisamente por este alto contenido de ligante, que no puede permitirse con los betunes de bajo contenido de caucho o con otros betunes modificados, la resistencia a fatiga de la mezcla bituminosa o su resistencia a la reflexión de fisuras es mayor que en las demás mezclas bituminosas.

Las mezclas bituminosas con betún de alto contenido de caucho se colocan en capas delgadas para rodadura, con granulometrías discontinuas o drenantes. Se trata de capas especialmente útiles cuando se esperan problemas de reflexión de fisuras, de fatiga o de envejecimiento. No se emplean granulometrías continuas dado que en general no se dispondría de suficientes huecos en árido para albergar todo el ligante con que se diseñan.

Como puede comprobarse en la tabla 1, el consumo de caucho (por tonelada de mezcla bituminosa puesta en obra) es cuatro veces superior en el caso de betunes de alto contenido de caucho que en el caso de betunes de bajo contenido de caucho. La vía seca también puede incorporar cantidades importantes de caucho, pero desgraciadamente ofrece una fiabilidad media, circunstancia derivada de una serie de parámetros que a veces pueden resultar difícilmente controlables en obra, por lo que de momento no puede competir con la vía húmeda, al menos en carreteras de tráfico elevado.

Los betunes de bajo contenido de caucho tienen, como los de alto contenido de caucho, una fiabilidad alta, pero para no perder su característica de almacenabilidad no pueden incorporar más allá del 0,5% de caucho en la composición de la mezcla bituminosa, lo que desde el punto de vista ambiental supone una limitación.

No obstante, y para concluir este apartado, debe aclararse que cada una de estas mezclas bituminosas ofrece unas prestaciones diferentes y por ello las aplicaciones a que se destinan deben ser también diferentes. Podría resumirse de la siguiente forma:

- a) Vía húmeda, betunes de alto contenido de caucho: Casos exigentes, en los que la fatiga o la reflexión de fisuras comprometan el resultado de la actuación a medio plazo: Recrecimiento asfáltico de pavimentos de hormigón o firmes semirígidos, capas bituminosas sobre materiales tratados con cemento, reciclados con cemento, etc. O en el otro extremo, explanadas deformables, que precisan mezclas bituminosas muy flexibles y resistentes al envejecimiento. Apto en carreteras de todo tipo, incluso en las de tráfico más elevados.

which cannot be permitted with low rubber content asphalt binders or other modified asphalt binders, the fatigue strength of the asphalt mix or crack reflection strength is greater than that of other bituminous mixes.

Hot mix asphalts with a high rubber content asphalt binders are placed in thin wearing courses with discontinuous or gap-grade particle sizes. These layers are particularly useful in the light of possible crack reflection, fatigue or aging. Continuous or dense particle sizes are not employed as they do not generally have sufficient gaps in the aggregate to accommodate all the design binder content.

From table 1 it may be seen that the rubber content (per ton of asphalt mix placed on site) is four times greater in the case of high rubber content asphalt binders than in those with lower rubber content. The dry process can also incorporate large amounts of rubber but, unfortunately, only offers medium reliability due to a number of factors which are sometimes very difficult to control on site. As such, this process cannot currently compete with the wet process in high traffic volume road pavings.

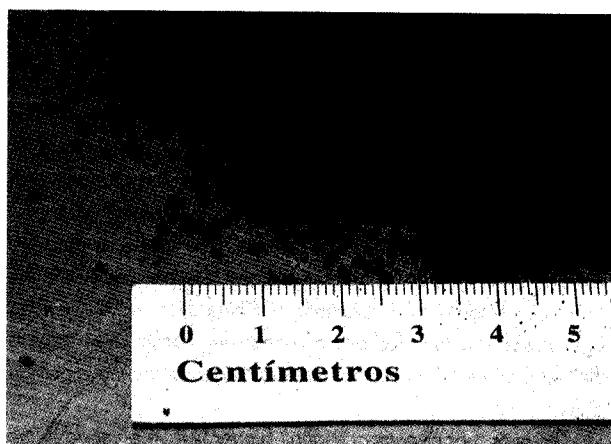
Low rubber content asphalt binders, like their high rubber content counterparts, are highly reliable, but in order to retain their storage characteristics no more than 0.5% rubber may be incorporated in the asphalt mix and this restricts its use from an environmental point of view.

By way of conclusion to this section, it should be indicated that each of these mixes has different properties and, subsequently, the applications of each also varies. This may be summarized in the following form:

- a) Wet process, high rubber content asphalt binders: Demanding cases, where fatigue or crack reflection compromise operational results in the medium term: Asphalt overlay to concrete pavements or semi-rigid road



Fotografía 1.
Sacas para el
suministro de
polvo de
caucho en
obra/
Photograph 1.
Superbags
employed to
supply ground
rubber to site.



Fotografía 2. Aspecto del caucho que se emplea en la fabricación de betunes de alto contenido de caucho/
Photograph 2. Rubber employed in the manufacture of high rubber content asphalt binders.
Fotografía 3. Unidad de fabricación de betún de alto contenido de caucho, estacionada en la planta de fabricación de mezclas/
Photograph 3. High rubber content asphalt mixing unit positioned at an asphalt mixing plant.

- b) Vía húmeda. Betunes de bajo contenido de caucho: Todo tipo de mezclas bituminosas, siempre que se desee una calidad mejorada sobre mezclas convencionales, sin modificar con polímeros. Apto para todo tipo de carreteras, incluso las de tráfico elevado.
- c) Vía seca: Adecuada sólo en carreteras de tráfico medio. Exige un control de calidad exhaustivo, dado que cualquier error podría conducir a un mal resultado.

4. LA TECNOLOGÍA DE BETUNES DE ALTO CONTENIDO DE CAUCHO

Se describirán a continuación la fabricación del ligante modificado con un alto contenido de caucho, sus características, la fabricación en obra de mezclas bituminosas y las propiedades más reseñables de éstas.

4.1. Fabricación y características del betún de alto contenido de caucho

Un betún de este tipo está compuesto de betún asfáltico y polvo de caucho. El betún se almacena en los propios tanques de la central de fabricación de mezclas bituminosas, mientras que el caucho se suele suministrar en sacas de unos 1.000 kg de peso. La fotografía 1 muestra el tipo de saca que habitualmente se utiliza. Este procedimiento permite un envasado rápido en la planta de trituración de neumáticos, un transporte eficaz y un almacenaje en obra que preserve al caucho de la lluvia.

El caucho que se emplea es un triturado de tamaño máximo no mayor de 2 mm. La fotografía 2 muestra el aspecto del caucho, procedente de la trituración de NFU's.

La unidad de mezclado, que está diseñada sobre un semiremolque, se ubica en la central de fabricación de mezclas bituminosas. Una vez estacionada, la cabeza tractora puede marcharse, quedando sólo el semiremolque con la unidad de mezclado. La fotografía 3 muestra una unidad de

bases; asphalt layers over cement treated materials or recycled materials and cement, etc. Or to the other extreme, deformable roadbeds which require very flexible and age resistant asphalt mixes. Suitable for all types of roads including those with high traffic volumes.

• b) Wet process, low rubber content asphalt binders: All types of asphalt mixes when improved quality is required over conventional mixes without polymer modification. Suitable for all types of roads including those with high traffic volumes.

• c) Dry process: Only suitable for roads with medium traffic volume. Requires thorough quality control as any error may lead to poor results.

4. TECHNIQUES FOR HIGH RUBBER CONTENT ASPHALT BINDERS

The manufacturing process for binder modified with a high rubber content is indicated below together with a description of its characteristics and the methods for making the asphalt mixes on site and the most important characteristics of the same.

4.1. Manufacture and characteristics of high rubber content asphalt binders

Asphalt mixes of this type are composed of a asphalt cement or binder and finely ground rubber. The cement is stored in tanks at the asphalt mixing plant while the ground recycled rubber is usually supplied in 1,000 kg superbags. Photograph 1 shows the type of bag commonly used. This procedure allows the rapid packaging at the tyre recycling plant, efficient transport and site storage which protects the rubber from rain.

The crumb rubber employed is ground to a particle size of no more than 2 mm. Photograph 2 shows the rubber produced from the grinding of scrap tyres.

mezclado sobre remolque, estacionada en la planta de fabricación.

Una vez que la unidad de mezclado se ha estacionado, se conecta el suministro de betún asfáltico desde los tanques de la planta de fabricación de mezclas bituminosas, se carga la tolva de caucho, y a través de una cinta transportadora incorporada dentro del equipo y dotada de un sistema automático de dosificación, se alimenta con caucho el mezclador-agitador. Finalmente el betún caucho recién fabricado pasa a un tanque de digestión-regulación cuya estructura interna, dividida en compartimentos concatenados, garantiza que se completará la digestión (figura 1).

Desde este tanque se sirve el betún de alto contenido de caucho a la planta de fabricación de mezclas, al ritmo que esta lo va demandando. Para ello la salida del tanque digestor-regulador se acopla a la tubería de betún que transporta habitualmente el ligante hasta el mezclador. La propia unidad de mezclado cuenta con una bomba que impulsa el ligante a través de dicha tubería, cuando se le demanda desde el puesto de control de la central de fabricación, todo ello con mecanismos automatizados.

4.2. Características del betún modificado con alto contenido de caucho

Previamente al comienzo de la obra se realiza un sencillo estudio de laboratorio para asegurarse de la compati-

The mixing unit is mounted on a semi-trailer set within the asphalt mixing plant. Once the trailer is in position the tractor truck can be removed to leave just the semi-trailer and mixing unit. Photograph 3 shows a trailer mounted mixing unit at an asphalt mixing plant.

Once the mixing unit is in position, connection is made with the asphalt cement supply from tanks set at the mixing plant and the hopper bins are loaded with rubber. The rubber is then fed into the mixer-agitator by a conveyor belt incorporated within the plant and fitted with an automatic batching system. The blended asphalt-rubber is then fed into a digester-regulating tank which is divided into interlinking compartments to guarantee the digestion of the rubber (fig. 1).

The high rubber content asphalt binder is then pumped to the asphalt mixing plant at a rate to suit production demand. The outlet of the digester-regulating tank is attached to the asphalt pipe which normally carries the binder to the mixer and the asphalt rubber binder is automatically pumped to the asphalt mixing plant in response to plant demand.

4.2. Characteristics of high rubber modified asphalt cement

A simple laboratory study is carried out prior to the work to ensure the compatibility between the asphalt cement and rubber. This study establishes the ideal rubber content (always between 18 and 23%), operation temperature, etc.

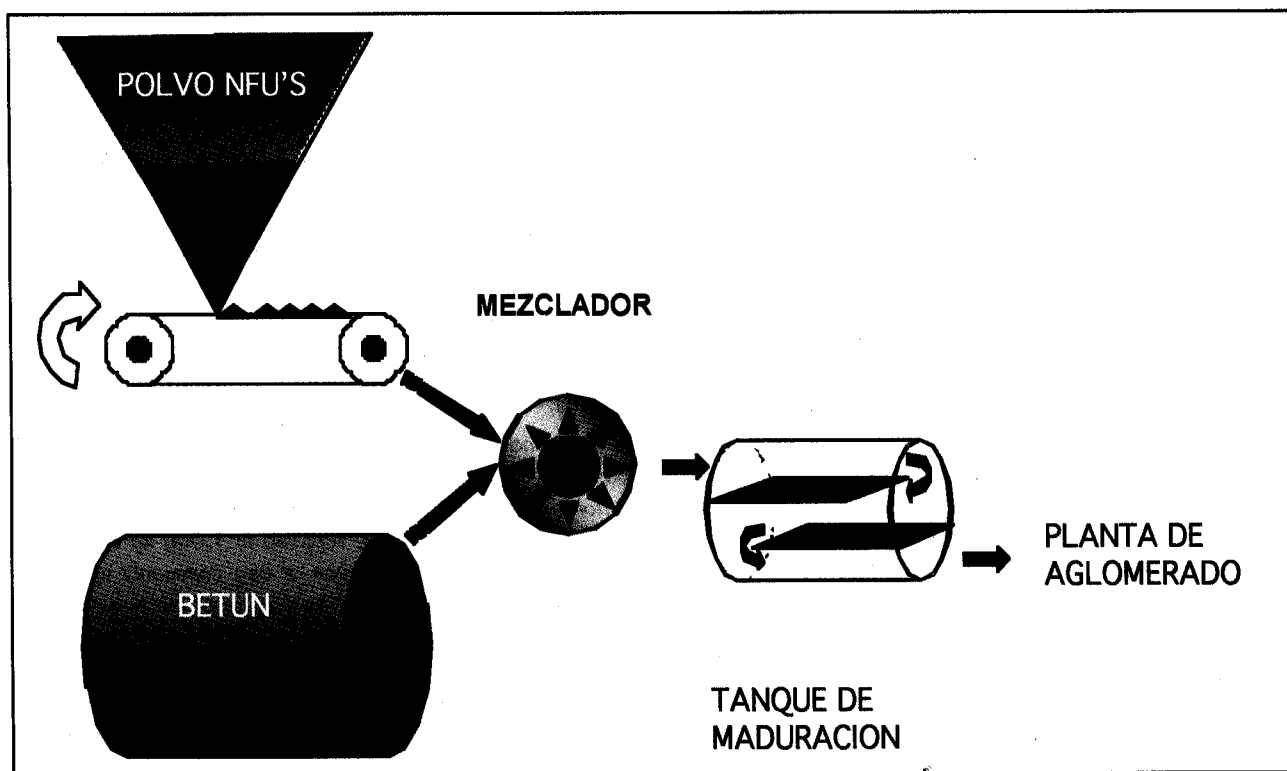


Figura 1.
Esquema de
fabricación
del betún de
alto contenido
de
caucho/ Fig. 1.
Production
process for
high rubber
content
asphalt
binder.

dad caucho-betún. Con este estudio se determina el contenido de caucho más idóneo (siempre entre el 18 y el 23%), temperatura de operación, etc.

Quizás por un insuficiente conocimiento de ésta técnica, a veces se ha mencionado como principal limitación la exigencia de consumir el ligante inmediatamente a su fabricación, puesto que de otro modo perdería sus propiedades. En realidad esto no es cierto. El estudio de compatibilidad en laboratorio permite garantizar que sus propiedades se conservarán durante horas; y en casos extremos, como detenciones de la obra debidas a una meteorología adversa, a averías de los equipos, etc., es suficiente disminuir la temperatura del tanque regulador para lo que el sistema está equipado con los dispositivos correspondientes de modo que la cinética de la interacción caucho-betún prácticamente se detiene, y las propiedades del ligante se pueden conservar durante varios días.

El betún modificado con alto contenido de caucho se caracteriza por una mínima susceptibilidad térmica, con un punto de reblandecimiento y una viscosidad elevados. Como ejemplo de las características de este tipo de ligantes, la tabla 2 muestra los resultados de los ensayos practicados a un betún de alto contenido de caucho empleado en un recrecimiento sobre losas de hormigón en la autopista A-7, obra que se comenta al final de este artículo.

Es precisamente el alto contenido de caucho y su adecuada digestión lo que le confiere estas características y permite que este ligante modificado con caucho de neumáticos pueda incorporarse en la mezcla bituminosa en contenidos que llegan al 10% sobre el peso de los áridos.

El siguiente apartado describe con detalle las características de estas mezclas bituminosas, así como su fabricación en central y su puesta en obra.

4.3. Fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas con betunes de alto contenido de caucho

La primera operación es el estacionamiento del equipo móvil de fabricación betún-caucho junto a la central de fabricación de mezclas bituminosas. Se alimenta del betún asfáltico (sin modificar) de uno de los tanques de la central. A la vez es alimentado con triturado de caucho, en una tolva reguladora que incorpora el caucho al mezclador a través de una cinta transportadora de velocidad regulable.

El betún así fabricado se suministra a la central de fabricación de mezclas bituminosas, que funciona normalmente, con la única diferencia de que toma el ligante del tanque regulador de la unidad de fabricación de betún-caucho, en lugar de hacerlo de uno de los tanques de la planta. La figura 2 aclara la configuración de los distintos equipos durante la fabricación de mezclas bituminosas.

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL LIGANTE EMPLEADO EN LA AUTOPISTA A-7
 TABLE 2. CHARACTERISTICS OF THE BINDER EMPLOYED IN THE A-7 MOTORWAY

ENSAYO / TEST	Unidad / Unit	NLT	RESULTADO / RESULT
Penetración Penetration	10 mm	124	30
Punto de reblandecimiento Softening point	°C	125	83
Retorno elástico por torsión Torsional recovery	%	329	21
Viscosidad a 175°C Viscosity at 175°C	cP	375	3.250

It has been indicated that the main limitation of this binder is that it has to be used immediately after mixing or it will lose its properties. This idea can well be put down to insufficient knowledge of the technique as it is simply not the case. The laboratory compatibility study makes it possible to guarantee that the binder's properties are conserved for hours or even for several days. In this latter instance and in extreme cases such as work stoppages due to adverse weather conditions or the failure of equipment, etc., it is only necessary to reduce the regulating tank temperature by means of the corresponding controls to ensure that the interaction kinetics of the asphalt rubber be detained in order to conserve the binder properties of several days.

The high rubber content modified asphalt cement is characterized by minimum thermal susceptibility, with a high softening point and viscosity. By way of example, the following table shows the test results on samples taken from high rubber content asphalt binder employed in overlay on concrete road bases in the A-7 motorway in Spain. A fuller description of these works being given at the end of this article.

These properties are the result of the high rubber content and its suitable digestion and allow tyre rubber modified binders to be employed in the asphalt mix in quantities of up to 10% the aggregate weight.

The following section gives a detailed description of the characteristics of these asphalt mixes together with details of the plant process and laying.

4.3. Manufacture and laying of asphalt mixes with high rubber content asphalt binders

The first operation is to position the portable asphalt-rubber mixing unit within the area of the asphalt mixing plant. The unmodified asphalt cement is fed from one of the plants holding tanks while the crumb rubber modifier is fed into the mixer in batches from the hopper bin by means of an adjustable speed conveyor belt.

The asphalt rubber binder is supplied to the asphalt mixing plant and the process continues according to standard mix procedure, with the sole difference that the

El resto de la operación de fabricación y puesta en obra es idéntico al de mezclas bituminosas convencionales. Tan sólo referir que la compactación ha de realizarse con rodillos de llanta lisa, debiendo evitar los rodillos de neumáticos. El motivo estriba en que la incorporación de caucho en la mezcla bituminosa incrementa notablemente su adhesividad, también a los neumáticos del rodillo, por lo que son preferibles los rodillos de llanta metálica.

4.4. Características de las mezclas bituminosas con betún de alto contenido de caucho

Como es sabido, la dosificación de cualquier mezcla bituminosa consiste en determinar la proporción de cada uno de sus componentes de modo que la mezcla resultante tenga el mejor comportamiento posible.

En principio técnicamente serían deseables mezclas bituminosas resistentes a la fatiga, al envejecimiento o a la reflexión de fisuras, propiedades éstas que mejoran al aumentar

binder is taken from the regulating tanks of the asphalt rubber mixing unit rather than from the plant's own tanks. Figure 2 shows the layout of the equipment involved in the manufacture of asphalt mixes.

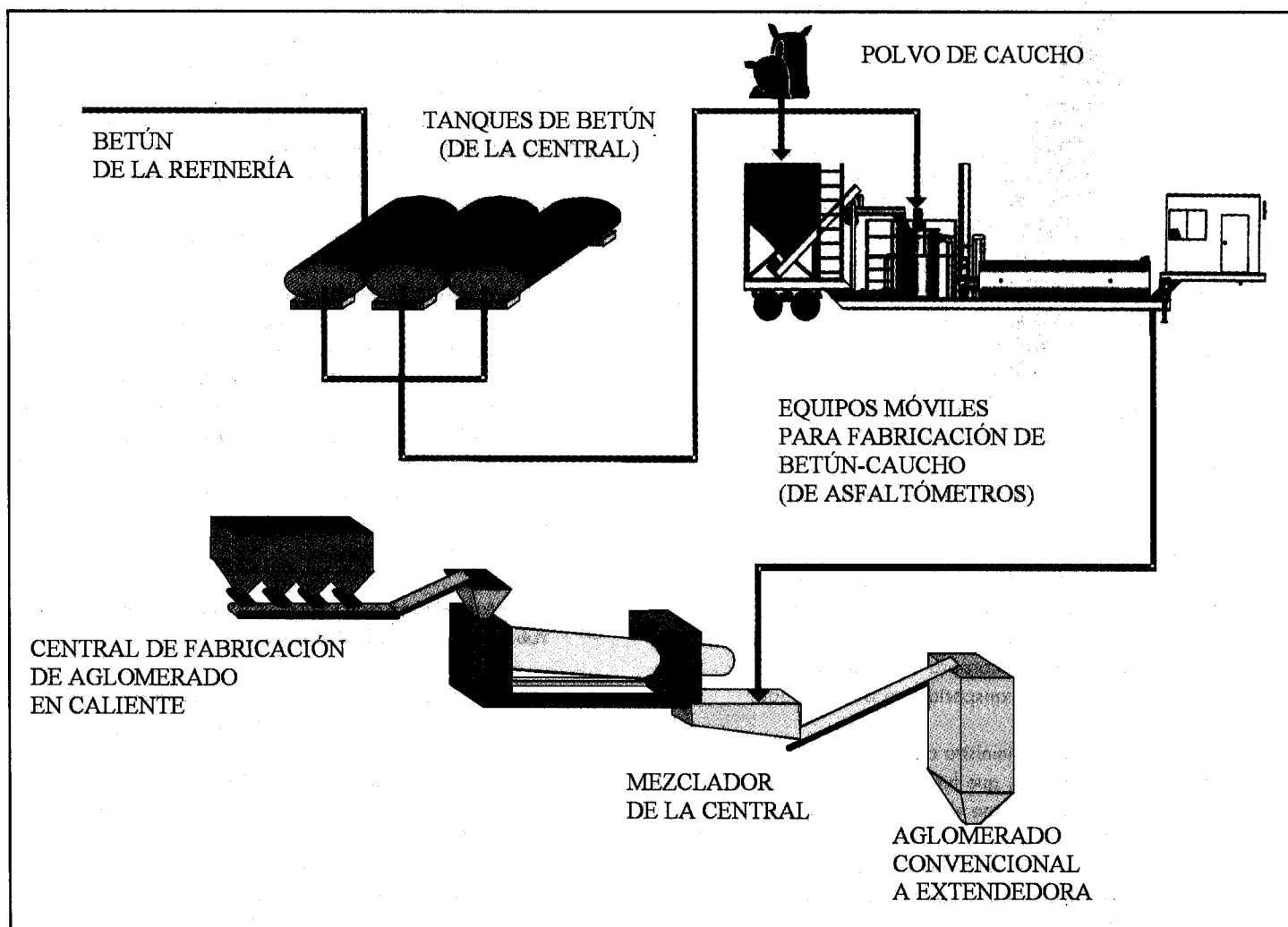
The remaining manufacturing and laying processes are identical to that of conventional asphalt mixes. However, compaction should be carried out by steel-wheel rollers. Pneumatic rollers should not be used, as the rubber-modified binder is far more adhesive and can pick up on the pneumatic wheels.

4.4. Characteristics of asphalt mixes with high rubber content binders

As is well known, the mix proportioning of any asphalt mix consists of establishing the ideal ratio of all the components to ensure the best possible behaviour of the resultant mix.

At the outset, asphalt mixes resistant to fatigue, aging or crack reflection are to be desired and these properties are all

Figura 2.
Esquema de conexión entre la unidad de mezclado de betún con alto contenido de caucho y la central de fabricación de mezclas/
Figure 2.
Connection arrangement between the asphalt rubber binder mixing unit and the main mixing plant.



el contenido de ligante. Sin embargo, con este aumento también se incrementa el riesgo de deformaciones plásticas. Esta contradicción se resuelve mediante una solución de compromiso: un contenido de ligante suficientemente alto para conferir a la mezcla bituminosa una buena resistencia a la fatiga, pero no tan alto que provoque deformaciones plásticas, es decir, roderas en el pavimento.

Esta "solución de compromiso" suele situar el contenido de ligante en mezclas de granulometría discontinua entre el 5 y el 6% sobre peso de los áridos cuando se utilizan betunes convencionales o modificados con polímeros. Pues bien, y aquí está lo importante, estas cantidades están entre el 9 y el 10% cuando el ligante utilizado es un betún de alto contenido de caucho.

Las consecuencias inmediatas de este incremento en el contenido de ligante de la mezcla bituminosa es una mayor resistencia a la fatiga, al envejecimiento o a la reflexión de fisuras desde capas inferiores, respecto a las mezclas bituminosas que utilizan betunes asfálticos o modificados con polímeros.

Se comentarán a continuación los datos concretos de la mezcla colocada en la autopista A-7. La mezcla, de granulometría discontinua, se dosificó mediante el ensayo Marshall (NLT-159). También se realizaron los ensayos de inmersión-compresión (NLT-162) y pista de laboratorio (NLT-175).

Los resultados del ensayo Marshall fueron, para un contenido de ligante del 9% sobre peso de los áridos, los siguientes:

Densidad:	2,271
Huecos en mezcla:	5,1%
Huecos en áridos:	25,2%
Estabilidad:	8,32 kN
Deformación:	2,3 mm

Es llamativo el elevado contenido de huecos en áridos junto a un contenido moderado de huecos en mezcla. Esta situación es posible gracias al alto contenido de ligante, que rellena la mayor parte de los huecos en áridos.

Por otro lado la estabilidad es superior a los 7,5 kN especificados para mezclas discontinuas en el art. 543 del PG-3, cuya última redacción corresponde a la Orden Circular 5/2001.

El ensayo de inmersión compresión se realizó sobre mezclas que contenían un 9% de ligante sobre peso de los áridos. Se obtuvo una resistencia a compresión de 31 kp/cm² en el ensayo en seco y de 28,3 kp/cm² en el ensayo tras inmersión, lo que supone una resistencia conservada del 91,4%.

Dado que el PG-3 considera suficientes resistencias conservadas superiores al 75%, puede decirse que la mezcla mostró un comportamiento excelente frente a los problemas de desmenuamiento de los áridos y desintegración de la mezcla.

TABLA 3. RESULTADOS DE PISTA DE LABORATORIO.
 MEZCLA COLOCADA EN LA A-7
 TABLE 3. SKID-RESISTANCE TESTS. MIX LAID ON THE A-7 MOTORWAY

Granulometría Particle size	Betón-caucho (%) Asphalt-rubber	V ₁₀₀₋₁₂₀ (10 ³ mm/min)
Curva propuesta Proposed curve	10	1,3
Curva con exceso de finos Curve with excess fines	10	1,3
Curva con fuerte desviación Sharp curve	11	2

improved on increasing the binder content. However, this added proportion of binder also increases the risk of plastic deformation. This conundrum is solved by a compromise in which a sufficiently high binder content is employed to provide the mix with good fatigue resistance, but one that is not so high as to cause plastic deformations or rutting of the road surface.

This compromise situation usually establishes the binder content in gap-grade mixes at between 5 and 6% the aggregate weight when using conventional asphalt binders or polymer modified binders. However, in the case of high rubber content asphalt binders these quantities rise to between 9 and 10%.

The immediate effects of the increased binder content in the asphalt mix is greater resistance to fatigue, aging or crack reflection between lower layers than that of asphalt mixes using conventional asphalt cement or polymer modified binders.

There now follows specific details regarding the mix placed on the A-7 motorway. The gap-grade mix was proportioned by the Marshall test (National Transport Laboratory Test - NLT 169). Immersion-compression (NLT-162) and TRL pendulum friction or skid resistance tests (NLT-175).

The following Marshall test results were obtained for mixes with 9% binder content by aggregate weight:

Density:	2.271
Voids in mix:	5.1%
Voids in aggregate:	25.2%
Stability:	8.32 kN
Deformation:	2.3 mm

These results show a high void content in the aggregates and a moderate void content in the mix. This arises due to the high binder content which manages to fill the majority of the voids in the aggregate.

The stability given by these results is greater than the 7.5 kN specified for gap-grade mixes in art. 543 of the Spanish Specifications for Road and Bridge Works (PG-3), included in the OC5/2001.

The immersion-compression test was carried on mixes with 9% binder content by aggregate weight. A compressive

Naturalmente, un elevado contenido de ligante aumenta el riesgo de roderas, lo que convirtió en crítica esta parte del estudio: se realizaron varios ensayos de pista de laboratorio, de modo que quedasen controladas variables con tanta influencia en el riesgo de deformaciones plásticas como la granulometría y el contenido de ligante de la mezcla. La tabla 3 presenta los resultados obtenidos:

Para interpretar estos resultados considérese que la última redacción del artículo 543 del PG-3 (OC 5/2001) permite como máximo, para el caso de tráfico T0 y zona térmica estival media, situaciones en las que se encuentra el tramo de la autopista A-7 recrecido con esta mezcla, velocidades de deformación $V_{105-120}$ de hasta 12×10^3 mm/min. Es decir, las mezclas estudiadas están muy del lado de la seguridad en lo referente al riesgo de aparición de roderas.

5. RECRECIMIENTO DE UN PAVIMENTO DE HORMIGÓN EN LA AUTOPISTA A-7

Con la tecnología hasta aquí descrita, la de las mezclas con betunes de alto contenido de caucho, se han rehabilitado varios tramos de la autopista A-7 Tarragona-Valencia. La obra se realizó en noviembre de 2002 y en este apartado se comentan algunos de sus aspectos.

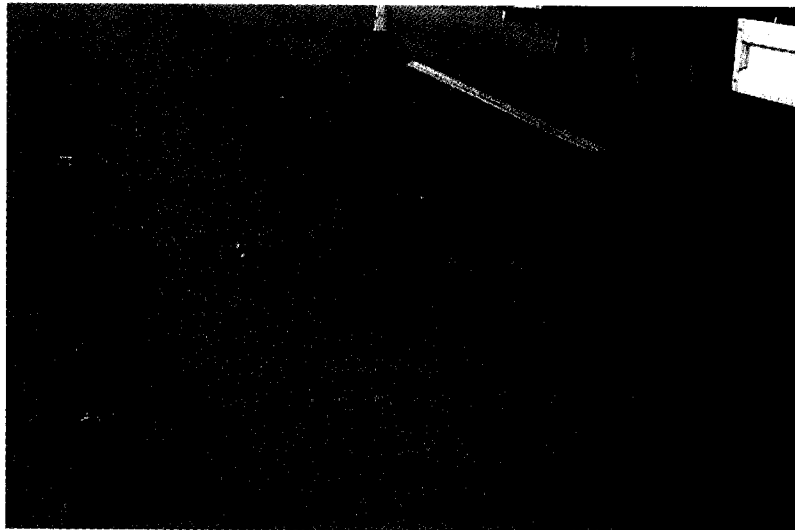
5.1. Descripción del pavimento existente y de la solución adoptada

La autopista A-7, que transcurre entre Tarragona y Valencia, soporta un tráfico de vehículos pesados T0 a T00, según los tramos, y un crecimiento anual del mismo que ronda el 5%.

Cuenta en toda su longitud con firmes de distintas tipologías estructurales. Concretamente los tramos cuya rehabilitación se planteaba estaban constituidos por losas de hormigón de 25 cm de espesor, sin pasadores, sobre una capa de gravacemento de 20 cm de espesor. La longitud de las losas es variable, predominando la cadencia 3,8 – 5,8 – 4,0 – 5,0 metros. La sección transversal es de 2 carriles con una anchura total de 7,5 metros, más un arcén exterior de 2,5 metros y uno interior, junto a la mediana, de 1 metro de ancho.

El estado del pavimento en los tramos que se estudiaron podría caracterizarse por la existencia de movimiento entre losas consecutivas, debido a la erosión en el apoyo de las mismas y, esporádicamente, por la aparición de losas fisuradas. La fotografía 4 muestra una imagen de estos deterioros.

Autopistas AUMAR, sociedad concesionaria de la Autopista, solicitó una solución con betunes de alto contenido de caucho a la empresa ASFALTÓMEROS, especializada en este material. Se requería en la petición que la solución adoptada fuese durable, con una buena adherencia al pavimento de hormigón o a pavimentos asfálticos. Así mismo se solicitaba



Fotografía 4. Deterioros en el pavimento de hormigón/
Photograph 4. Deterioration of the existing concrete pavement.

strength of 31 kp/cm² was given in the dry test and one of 28.3 kp/cm² in testing after immersion and, as such, the mix retained 91.4% of its dry compressive strength.

As the Spanish specifications (PG-3) demand retained strengths of over 75%, the tested mix may be said to show excellent behaviour in response to the problems of aggregate loosening and mix disintegration.

A high binder content naturally increases the risk of rutting and this part of the study was subsequently considered to be critical to the end results. Various skid resistance tests were carried out in order to control those variables having greater bearing on the risk of plastic deformation, such as particle size and the binder content in the mix. Table 3 shows the results of these tests.

When interpreting these results, reference should be made to the latest draft of article 543 of the PG-3 Spanish road specifications (OC 5/2001) which for T00 traffic (over 4,000 heavy vehicles per day) and for mid-summer thermal zone applicable to the section of the A-7 motorway with the mix overlay, deformation rates at $V_{105-120}$ should be no more than 12×10^3 mm/min. The tested mixes may then be seen to be very much on the safe side with regards to the possibility of rutting.

5. CONCRETE PAVEMENT OVERLAY ON THE A-7 MOTORWAY

The high rubber content asphalt mixes described above have been used in rehabilitation works carried out in November 2002 on several stretches of the A-7 motorway between Tarragona and Valencia.

5.1. Description of the existing pavement and the adopted solution

The A-7 motorway, running between Tarragona and Valencia, has a daily heavy vehicle traffic of between 2000

que el coeficiente de rozamiento transversal fuese adecuado a una infraestructura de este tipo y una buena resistencia a las roderas, dado el elevado nivel de tráfico que se registra. Pero quizás el punto principal que debería quedar resuelto era el de las fisuras reflejadas que suelen producirse desde las juntas y fisuras de las losas hasta la capa o capas de recrecimiento a colocar sobre un pavimento de hormigón.

Actualmente las soluciones más frecuentes sobre ese tipo de patología de firmes suelen consistir en sistemas de arena betún o geotextiles impregnados. Suele requerirse una primera capa de regularización seguida del tratamiento propiamente dicho –arenas betún o geotextiles– y una última capa de rodadura. AUMAR suele, además, hacer un tratamiento previo de las losas mediante inyección de lechada de cemento con el objeto de recalzar y estabilizar las losas.

Pues bien, la solución adoptada con mezcla bituminosa con betún de alto contenido de caucho tras la inyección de las losas para su estabilización consistió en un riego de adherencia directamente sobre las losas y sobre el riego una capa única de mezcla con betún de alto contenido de caucho. El espesor de mezcla fluctuó entre 4 y 6 centímetros, según las características de cada tramo. La figura 3 muestra un esquema del sistema constructivo, por comparación con otros sistemas.

and 4000 + vehicles (Spanish categories T0 to T00) according to stretches and an annual traffic growth of around 5%.

Different types of road base have been employed throughout this section of the motorway and in the areas subject to resurfacing the roads were formed of 25 cm thick concrete slab sub-bases without connectors, set on 20 cm thick gravel-cements sub-grade. The slab length was variable with predominantly 3.8 – 5.8 – 4.0 – 5.0 m cycles. The road section was 2 lanes wide with a total width of 7.5 metres together with a 2.5 m wide outer hard shoulder and a 1 metre wide central reservation.

The pavement in the stretches subject to rehabilitation showed signs of movement between abutting slabs due to erosion of the base material which, in some instances, was accompanied by the cracking of the slab. Photograph 4 shows the deterioration of the concrete pavement.

ASFALTÓMEROS, specialists in high rubber content asphalt mixes, were requested by the motorway concessionary company, Autopistas AUMAR, to employ a solution using this type of material. It was requested that the adopted solution be durable and with good adherence to the concrete or HMA pavement. AUMAR also requested that the transverse friction

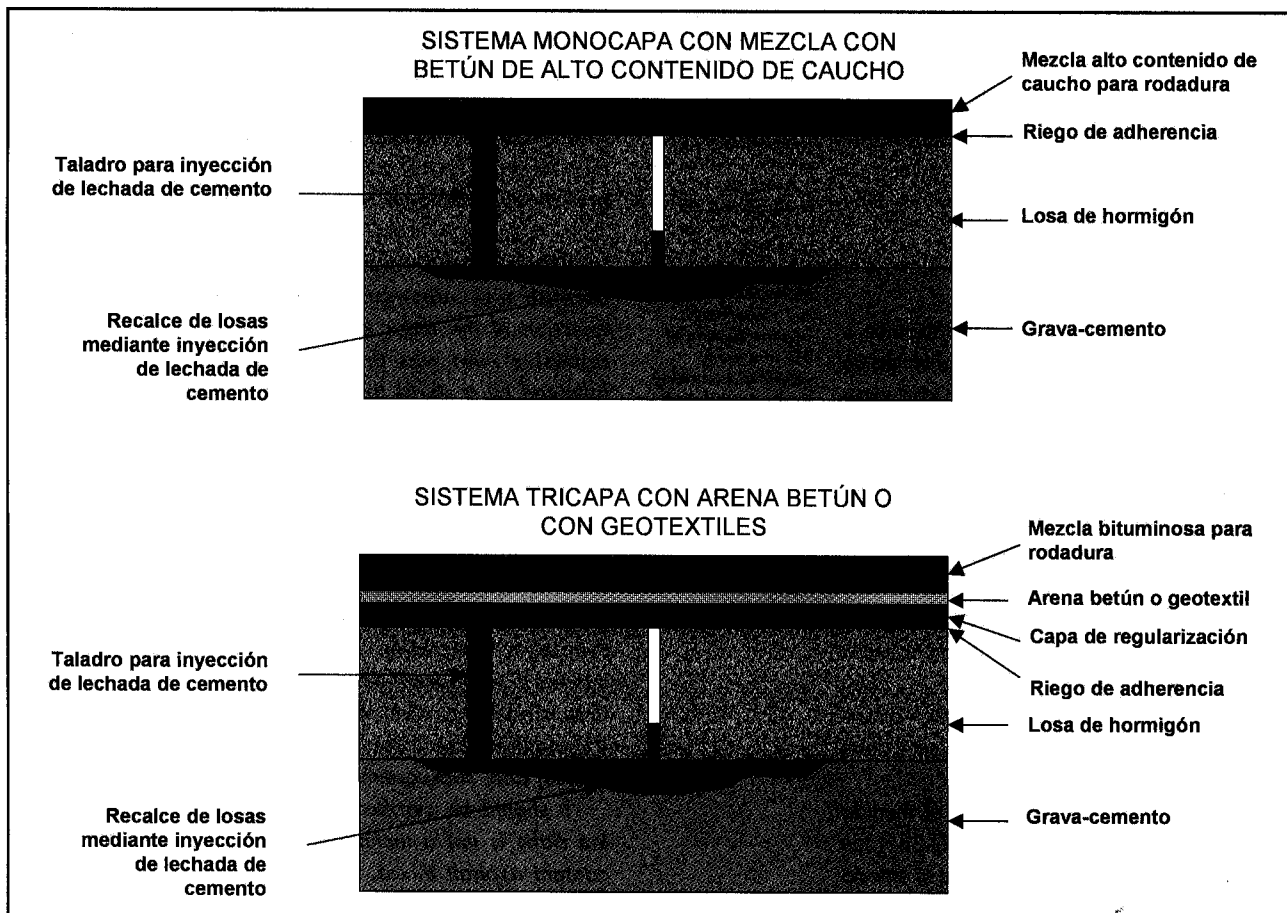
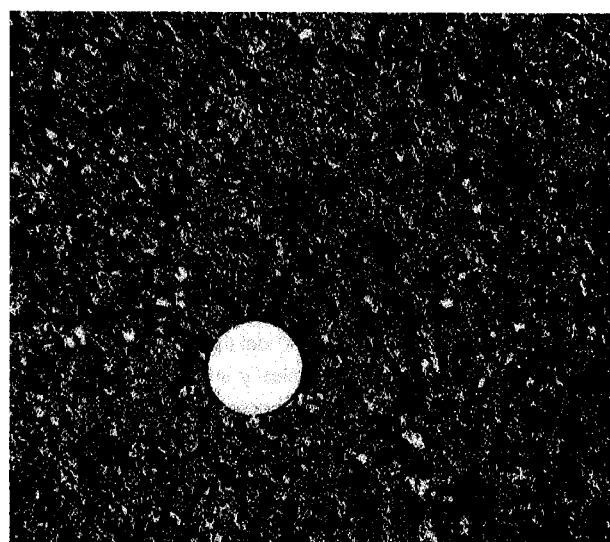


Figura 3. Simplicidad constructiva de los recrecimientos con mezclas con betún de alto contenido de caucho en la A-7/ Fig. 3. Construction diagram of high rubber content asphalt mix overlays on the A-7 motorway.



Fotografía 5. Puesta en obra de la mezcla con betún de alto contenido en caucho. Es similar a la de cualquier mezcla/Photograph 5. Paving process of high rubber content asphalt mix identical to that of conventional mixes. **Fotografía 6.** Macrotextura conseguida en la autopista A-7. Se obtuvo un valor de 1,7 mm de profundidad del círculo de arena (NLT-335)/Photograph 6. Macrotexture of the A.7 motorway. Texture depths of 1.7 mm were obtained according to sand patch test (NLT - 335).



Las ventajas constructivas de esta solución se derivan del hecho de que la propia capa de rodadura que se coloca sobre las losas de hormigón constituye un tratamiento antirreflexión de fisuras, pero con la particularidad de que es un sistema monocapa, en contra de los otros sistemas referidos —el de arena betún o el de geotextil impregnado—, que son sistemas multicapa (capa de regularización + tratamiento antifisuras + capa de rodadura) y por ello más costosos de poner en obra (figura 3).

Debe aclararse que la inyección previa de las losas no es una técnica asociada al betún de alto contenido de caucho, sino una técnica que AUMAR realiza habitualmente en sus pavimentos rígidos.

5.2. Ejecución de la obra

La ejecución de la obra no presentó ningún incidente a causa del empleo de la mezcla con betún de alto contenido de caucho, a pesar de que el constructor no contaba con experiencia en este tipo de mezcla bituminosa.

La planta de fabricación de mezclas era del tipo discontinuo; la unidad de fabricación de betún de alto contenido de caucho no tuvo ningún problema para acoplarse con ella y los mecanismos automáticos fueron perfectamente compatibles.

En la extensión (fotografía 5) de la capa de mezcla bituminosa se procuró que la junta longitudinal no coincidiese con la junta longitudinal de las losas de hormigón. En el arcén exterior se extendió una mezcla bituminosa convencional.

La compactación se realizó con rodillo liso, primero con vibración y después sin ella. La apertura al tráfico se realizó unas horas después.

La macrotextura superficial lograda (fotografía 6) medida a través de la profundidad del círculo de arena (NLT-335) fue de 1,7 mm, muy superior al 1,1 mm que se exige en el artículo 543 del PG-3 para microaglomerados tipo F.

coefficient be suitable for an infrastructure of this type and offer good resistance against rutting given the high traffic volume recorded on this section of the motorway. However, perhaps the main problem which had to be solved was that of reflective cracking which tended to occur from the joints and the cracking of the slabs up to the overlay placed on the concrete pavement.

The most common solution for this type of road tends to consist of sand asphalt or impregnated geotextile systems. These normally require a primary regulating layer followed by the asphalt or geotextile treatment itself and a final wearing course overlay. AUMAR normally demand a preliminary treatment of the slabs in the form of cement slurry injection in order to support and stabilize the slabs.

The adopted solution using high rubber content asphalt mix subsequently required the preliminary injection of the slabs in order to stabilize the same. An adhesive coat was then placed directly on the slabs followed by a single layer of high rubber content asphalt mix. The asphalt mix thickness varied from 4 to 6 cm depending on the characteristics of each section. Figure 3 shows a comparison of the construction system with other systems.

The advantages of this solution lie in the fact that the wearing course, placed over the concrete sub base, serves as anti-crack reflection treatment while at the same time forming a monolayer system as opposed to the other systems indicated above —that of asphalt sand or impregnated geotextile— which are multi-layer systems (regulating base layer + anticrack treatment + wearing course) and, subsequently, more expensive to lay (fig. 3)

It should be clarified that the preliminary injection of the slabs is not a technique associated with high rubber content asphalt mixes, but one which AUMAR normally apply to their rigid pavements.

5.3. Comportamiento del recrecimiento.

Características acústicas

Hasta la fecha el comportamiento de la capa de mezcla con alto contenido de caucho ha sido excelente. Se continúa realizando un estrecho seguimiento para conocer en tiempo real su evolución.

Una característica interesante de este tipo de mezclas, sobre todo para viales urbanos y semiurbanos, es su baja sonoridad. Se ha comentado en el apartado anterior la elevada macrotextura superficial que se consiguió. Es sabido que al incrementarse la macrotextura –lo que favorece la seguridad de la circulación– también se incrementa el ruido de rodadura de los vehículos. Pues bien, se hizo un estudio de ruido para conocer las características acústicas de la mezcla (fotografía 7) y a pesar de su elevada macrotextura se midieron en el borde externo del arcén reducciones de ruido muy importantes respecto al antiguo pavimento de hormigón. La tabla 4 presenta algunos valores representativos.

6. CONCLUSIONES

De todo lo expuesto hasta aquí cabe resaltar algunas ideas y conclusiones:

- Los neumáticos fuera de uso constituyen un problema para el medio ambiente, dado que son difícilmente biodegradables y tienden a acumularse en vertederos, controlados o incontrolados.
- La Unión Europea, en su Directiva 1999/31/CE establece que después del 1 de enero de 2007 no podrán admitirse en vertedero neumáticos fuera de uso. En España el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso (PNNFU's) 2001-2006 del Ministerio de Medio Ambiente ha previsto el mismo calendario para dicha prohibición.
- Es necesario emplear el caucho de los neumáticos en aplicaciones que lo valoricen de acuerdo con las políticas generales de gestión de residuos. De otro modo no podrá darse cumplimiento a la Directiva Europea ni al PNNFU's español.
- El empleo de mezclas bituminosas fabricadas con betunes de alto contenido de caucho de neumáticos, que incorporan unos 20 kg de caucho (tres neumáticos de automóvil) en cada tonelada de mezcla, supone una vía muy interesante de valorización de estos residuos.
- Se ha revelado a través de dos décadas de experiencia en Estados Unidos que estas mezclas tienen un comportamiento excelente frente a los problemas de fatiga, envejecimiento o reflexión de fisuras. Por consiguiente no se trata de convertir la carretera en vertedero, sino de sacar importantes ventajas para el pavimento a la vez que se resuelve un problema medioambiental.

TABLA 4. REDUCCIÓN DEL RUIDO DE LOS VEHÍCULOS EN MEZCLAS CON BETUN DE ALTO CONTENIDO DE CAUCHO MEDIDAS EN BORDE DE ARCÉN
 TABLE 4. REDUCTION OF VEHICLE NOISE LEVELS IN HIGH RUBBER CONTENT ASPHALT

	Pavimento de hormigón Concrete pavement dB (A)	Recrecido con caucho Rubberized asphalt dB (A)	Reducción de presión acústica Sound pressure reduction (%)
Turismos/Cars	101,4	96,7	-42
Furgonetas/Vans	103,6	98,4	-45
Camiones/Trucks	109,9	100,6	-66

5.2. Paving process

The paving process using the high rubber content asphalt mix did not present any particular problems in spite of the fact that the contractor did not have any experience of this type of mix.

The asphalt mix was batch produced from the plant and there were no problems in connecting the high rubber content asphalt binder plant to the plant itself and all automated mechanisms were seen to be perfectly compatible.

When spreading the asphalt mix layer (photograph 5), special care was taken to ensure that the longitudinal joint did not coincide with that of the slabs. The overlay to the verge or hard shoulder was formed in conventional asphalt mix.

The overlay was first compacted with a vibrating flat roller and then rolled without vibration. The road was opened to traffic just several hours after compaction.

The surface macrotexture (photograph 6) was measured by means of the sand patch test (Spanish Test NLT-335 equivalent to ASTM E 965) and a texture depth of 1.7 mm was obtained which is far higher than the 1.1 mm stipulated by article 543 of the Spanish PG-3 specification for type F microagglomerates.

5.3. Overlay performance. Acoustic characteristics

The performance of the high rubber content asphalt mix has been excellent to date. The newly laid area continues to undergo constant monitoring to ascertain its real time evolution.

One interesting characteristic of this type of mix and particularly for urban or semi-urban roads, is that of reduced noise levels. We have already referred to the high surface macrotexture obtained by the mix and it is well known that on increasing the macrotexture, in addition to making the road safer, this also increases the noise levels generated by passing traffic. As such, a study was carried out of the noise levels in order to ascertain the acoustic characteristics of the mix (photograph 7) and, in spite of the high macrotexture, sizeable noise reductions were recorded at the outer edge of the hard shoulder with regards to the old concrete pavement. Table 4 shows some of the more representative values.

Fotografía 7.
Medidas del
ruido de los
vehículos en la
autopista A-7.
Se produjeron
importantes
descensos al
recrecer con
caucho/
Photograph 7.
Vehicle noise
recordings on
the A-7
motorway.
Sizeable
reductions in
noise level
obtained with
the asphalt
rubber
overlay.



- La rehabilitación de varios tramos con mezclas bituminosas en la Autopista A-7 (Tarragona-Valencia) ha ofrecido un comportamiento excelente a pesar de la poca experiencia que en España existía con este material.
- Un factor añadido lo constituye la baja sonoridad de estos pavimentos. Mediciones realizadas en la Autopista A-7 han puesto de manifiesto la disminución de ruido que introduce este tipo de pavimentos.

En definitiva, el Ingeniero de Caminos encuentra en las mezclas bituminosas con betunes de alto contenido de caucho un material que le permite compaginar dos objetivos a veces difíciles de conciliar: crear y mantener las mejores infraestructuras de transporte a la vez que se preserva el medio ambiente. ■

6. CONCLUSIONS

The following proposals and conclusions may be drawn from the article.

- Used tyres pose an environmental hazard as they are not biodegradable and tend to be deposited in both authorized landfills and illegal dumping grounds.
- The European Union Landfill Directive EC/1999/31 bans the dumping of used tyres at landfills as from 1 January 2007. The Spanish Ministry of the Environment's Plan for Used Tyres 2001-2006 establishes the same periods for the introduction of the ban.
- It is necessary to employ recycled waste tyre rubber in applications considered in general waste management policies. A failure to employ recycled tyre rubber will go against the dictates of the European Union and those of the Spanish Plan for Used Tyres.
- The use of rubberized asphalts made from binders with high rubber content incorporating some 20 kg of rubber (three tyres) per ton of mix, serve as a very useful means of recycling waste tyres.
- The United States has two decades' experience in the use of these mixes and they have been seen to have excellent qualities in terms of fatigue, aging and crack reflection resistance. The aim is not to convert the road into a landfill or dumping ground, but to obtain notable advantages for the road pavement while, at the same time, solving an environmental problem.
- The rehabilitation of various sections of the A-7 motorway (between Tarragona and Valencia) has shown excellent performance in spite of the little experience in Spain with this type of material.
- An added factor of this type of road surfacing is the low noise levels. Recordings carried out on the A.7 motorway have shown that rubberized asphalts can reduce traffic noise.

To summarize, asphalt mixes with high rubber content may serve two purposes which are not always readily compatible; that of creating and maintaining improved transport infrastructures while protecting the environment at the same time. ■

REFERENCIAS/REFERENCES

- CONSEJO DE EUROPA. (1999) *Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.*
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2001). *Plan Nacional de Neumáticos Fuera*

de Uso (PNNFU) 2001-2006. Resolución de 8 de octubre de 2001.

- MINISTERIO DE FOMENTO (2002). *Orden Circular 5/2002bis de la Dirección General de Carreteras, relativa al empleo de polvo de neumáticos en materiales bituminosos.*

– AURELIO HERNÁNDEZ MUÑOZ (2003). *Medición sonora en la Autopista A-7 en el pk 436,300 y el pk 436,800. Informe del trabajo realizado en el Departamento de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Madrid.*