

La experiencia con los ligantes modificados en España

Experience with modified binders in Spain

AURELIO RUIZ (*)
BARTOLOME SANCHEZ (**)
AMADOR GOMEZ (***)

RESUMEN. Se pasa revista a la experiencia española en este campo, ya importante como la prueba el aumento del consumo experimentado en nuestro país: de 10.000 t de ligantes modificados en el año 85 se ha pasado a 40.000 t en el 92. Se realiza una clasificación de los principales modificadores utilizados, centrándose esencialmente en los polímeros, que son los productos más utilizados en España. Estos compuestos, con los que se persigue mejorar la reología del ligante inicial, aumentar su viscosidad y modificar su susceptibilidad térmica, son objeto de una cuidadosa descripción y clasificación, destacándose los tres más utilizados en la actualidad. El SBS (copolímeros de butadieno estireno), el EVA (polímeros vinílicos) y el polietileno, de los que se cita sus propiedades, efectos mejoradores y los productos comerciales en los que se usan. Se realiza también una enumeración de las principales aplicaciones de ligantes modificados realizadas en España: mezclas drenantes ($20,10^6 \text{ m}^2$ construidos con un consumo del 50 % de la producción total), capas finas en caliente ($4,16^6 \text{ m}^2$ lo que representa el 35 % del consumo), capas de refuerzo (consumo relativo del 15 %), tratamientos superficiales y sistemas antirreflexión de grietas (aplicaciones escasas y esporádicas).

ABSTRACT. Spanish experience on modified binders is reviewed. This experience is important as can be seen from the production figures: from 10,000 tons in 1985 to 40,000 tons in 1992. A classification of modifiers is presented, referred mainly to polymers as the products more used in Spain. With these compounds, an increase in the viscosity, modification of thermal susceptibility and a improvement in the rheology of the binder is pursued. Three of them are outlined: SBS, EVA and polyethylene. Their properties, improvements and commercial products in which they are included are presented.

The figures of their main fields of application are given: Porous mixes ($20 \times 10^6 \text{ m}^2$ already constructed, with a consumption of 50 % of the total productions). Thin layers ($4 \times 10^6 \text{ m}^2$, with the 35 % of the total productions), thick layers for strengthening (15 %) surface treatments and anti-reflective cracking systems (very few applications).

1. INTRODUCCION

La razón del interés por los ligantes modificados es clara. Los ligantes bituminosos tradicionales tienen limitaciones en su respuesta ante cargas y sollicitaciones climáticas y su utilización en algunas situaciones presenta problemas importantes.

Además, la agresividad del tránsito de vehículos de carretera ha venido aumentando constantemente en el tiempo

y no hay razón para pensar que no lo hará en el futuro. En consecuencia, es necesario un esfuerzo continuo de búsqueda y desarrollo de materiales más resistentes, que alarguen el período de servicio y disminuyan los gastos de conservación.

Los ligantes modificados han demostrado su capacidad para mejorar el comportamiento de los tradicionales. Se puede pensar ya en un cambio

1. INTRODUCTION

The reason for interest in modified binders is clear. Traditional hydrocarbon binders are limited by their performance under load and in different climatic conditions and their use in certain situations causes considerable problems.

Furthermore, road traffic has become increasingly aggressive in nature and there is no reason to think that this trend will not

continue in the future. A continuous effort is therefore necessary to define and develop stronger materials which will lengthen the useful life of pavements and reduce maintenance costs.

Modified binders have demonstrated their ability to improve performance compared with traditional binders. The time has come to consider a change in the traditional system of pre-

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPT).

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

(***) Dr. en Ciencias Químicas. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPT).

en la filosofía tradicional de dosificar las mezclas adecuándose al ligante, ya que con ellos se pueden diseñar ligantes a la medida de cada problema específico.

Su éxito queda reflejado en el aumento del consumo en los últimos años. Aunque eran conocidos y utilizados esporádicamente desde el comienzo de los años setenta, su elevado precio relativo limitaba su aplicación. A mediados de los años ochenta la generalización de las mezclas drenantes y de las capas finas en carreteras de mucho tráfico, junto con el aumento del precio del betún, reabre el interés por estos materiales, que comienzan a emplearse de forma creciente, pasando de 10.000 t en el año 85 a 40.000 t en el 92.

Con los ligantes modificados se ha tratado de combatir todos los posibles frentes de deterioro de los materiales bituminosos: deformaciones permanentes, agrietamiento por fatiga, desplazamiento del ligante por el agua y envejecimiento en las mezclas bituminosas convencionales y además, la capacidad de evitar la reflexión de grietas en mezclas sobre capas tratadas con cemento y pérdida de partículas en mezclas drenantes y tratamiento superficiales. En todos estos tipos de deterioro el ligante bituminoso juega un papel importante y, por tanto, los modificadores pueden conseguir ventajas significativas. Como estos productos no mejoran simultáneamente todas las características, a veces se va a ligantes modificados con más de un componente. El mecanismo para evitar o reducir los deterioros dependen del modificador y se verá en los apartados posteriores.

2. TIPOS DE MODIFICADORES

Se dispone actualmente de numerosos productos con capacidad de mejorar el comportamiento de los materiales hidrocarbonados. La industria de aditivos para materiales de

construcción es muy dinámica y cada día aparecen nuevos modificadores.

En unos casos actúan directamente mejorando la reología del ligante y en otros modifican las características de la mezcla bituminosa sin que afecten a la reología del betún. Se suelen denominar ligantes modificados cuando el modificador se añade al ligante, en central o en la planta de fabricación de mezcla, y mezclas modificadas cuando el modificador se incorpora como un árido más o directamente al mezclador. Algunos productos clásicos, como los activantes, no se suelen incluir en el término de ligantes o mezclas modificadas.

La Tabla 1 presenta una clasificación general, ampliamente utilizada, de modificadores, incluyendo todos los tipos. Con los cuatro primeros se fabrican ligantes que responden a la definición de ligantes modificados. Los últimos son los que más se vienen utilizando en nuestro país, por lo que en lo que sigue nos centraremos en ellos.

Comparing mixes based on the binders as the with modified binders the mixes can be custom designed to deal with each specific problem.

Their success is reflected in their increased utilization in recent years. Although they were known and have been sporadically used since the beginning of the seventies, their application was limited by their relatively high price. During the middle of the eighties, the widespread use of porous asphalt and thin courses on roads experiencing heavy traffic, together with the increase in the price of bitumen, aroused fresh interest in these materials which began to be increasingly used in Spain, from 10,000 tons in 1985 to 40,000 tons in 1992.

By using modified binders, an attempt has been made to prevent all possible types of deterioration in bituminous material permanent distortions, fatigue cracks, displacement of the binder by water and the aging of conventional asphalt along with the ability to withstand reflection cracking in mixes laid

on cement treated layers and the loss of particles in porous asphalts and surface dressings. Hydrocarbon binders play an important role in all these types of deterioration and modifiers can therefore bring about considerable advantages. As these products do not improve all properties at the same time, on occasions binders are modified with more than one component. The mechanism for preventing or reducing the different types of deterioration depends on the modifier as will be seen in the following sections of this paper.

2. TYPES OF MODIFIERS

There are currently several products which are capable of improving the performance of hydrocarbon binders. The construction material additive industry is highly dynamic and new modifiers are appearing every day.

In some cases they act directly by improving the rheology of the binder and in other cases alter the properties of the as-

1. POLIMEROS 1. POLYMERS
1.1. Plásticos (Polioléfinas, EVA...) 1.1. Plastics (Poly-olefins, EVA...)
1.2. Elastómeros (SBS, SBR...) 1.2. Elastomers (SBS, SBR...)
2. CAUCHO RECICLADO (polvo de neumáticos) 2. RECYCLED RUBBER (tyre dust)
3. EXTENDEDORES (azufre, lignitos...) 3. EXTENDERS (sulphur, lignites...)
4. OXIDANTES O CATALIZADORES (manganeso...) 4. OXIDANTS AND CATALYSTS (manganese...)
5. ANTIOXIDANTES (cal hidratada, compuestos de plomo, carbón...) 5. ANTI-OXIDANTS (slaked lime, lead compounds, carbon...)
6. FIBRAS (polipropileno, poliéster...) 6. FIBRES (polypropylene, polyester...)
7. FILLERES (negro de carbón, cemento...) 7. FILLERS (carbon black, cement...)
8. MATERIALES HIDROCARBONADOS (Asfalto Trinidad, gilsonita, rejuvenecedores, aceites aromáticos...) 8. HYDROCARBON BASED MATERIALS (lake asphalt, gilsonite, rejuvenators, aromatic oils...)
9. ACTIVANTES (cal hidratada, aminas...) 9. ADHESION AGENTS (slaked lime, amines...)

TABLE 1. Tipos de agentes modificadores de ligantes hidrocarbonados.
TABLE 1. Types of modifiers used with hydrocarbon binders.

3. POLIMEROS

Los polímeros proceden de la petroquímica y son utilizados fundamentalmente en la industria del plástico. Son macromoléculas formadas por unidades que se repiten. Las cadenas constan generalmente de algunas decenas de miles de unidades.

Existen diversos criterios para clasificar los polímeros, siendo los principales los que los dividen en función de su estado de agregación (amorofo, cristalino o elastomérico), de su estructura (lineal, ramificada, entrecruzada) o según el sistema de polimerización (de condensación, radicales libres o solución).

En carreteras se ha tendido a clasificaciones simples, existiendo dos bastante generalizadas. En la primera se diferencia entre:

- Elastómeros que tienen una gran elasticidad y capacidad de deformación. Son polímeros amorfos lineales que, sometidos al proceso de vulcanización, adquieren una estructura débilmente reticulada, que les confiere sus propiedades elásticas. Resisten a las deformaciones plásticas, deformándose y recuperando rápidamente su forma inicial al desaparecer los esfuerzos, conservando únicamente una reducida deformación permanente. Añaden poca resistencia al betón hasta que comienza a deformarse, pero su resistencia a tracción aumenta con la elongación. Los más conocidos son el caucho natural, el monómero de etileno-propileno-dieno (EPDM) y el caucho de butadieno estireno (SBR).
- Polímeros termoplásticos, cuya denominación se deriva de que se reblandecen y fluyen por el efecto del calor, pero después de enfriados se pueden volver a moldear de nuevo, conservando sus propiedades iniciales. Cuando se añaden al betón lo rigidizan, haciéndolo muy resistente a la deformación.

Desarrollan una rápida resistencia bajo carga, pero son rígidos y se fracturan cuando se ven sometidos a un nivel elevado de deformaciones. Son generalmente polímeros lineales o ligeramente ramificados, siendo los principales representantes las poliolefinas (polietileno, polipropileno), los vinílicos (EVA, PVC) y los poliestirenos.

- Elastómeros termoplásticos, con características intermedias entre los elastómeros y los termoplásticos. Se trata, en general, de copolímeros en bloque dispuestos en forma radial, lineal o en bloques múltiples. Son muy elásticos y a la vez dotan al betón de una cierta rigidez. Los más utilizados dentro de este grupo son los copolímeros de butadieno estireno (SBS).
- Polímeros termoendurecibles, que son aquellos que sometidos a la acción del calor se endurecen de forma irreversible. Se trata de polímeros entrecruzados. Los principales representantes son las resinas epoxi. Se obtienen mezclando dos componentes, resina y endurecedor, que reaccionan químicamente y toman una fuerte estructura tridimensional. Tienen una gran resistencia al ataque de los disolventes y combinan altas resistencias mecánicas y flexibilidad. Requieren una elevada dotación (a veces hasta el 20 % en peso de betón) y esto les hace muy costosos, limitándose su aplicación a problemas muy específicos, como tableros de puentes metálicos, zonas con posibles vertidos de carburantes o tratamientos superficiales especiales.

La segunda clasificación, que es la que se está imponiendo, es todavía más sencilla, y divide a los polímeros en dos grupos:

- Elastómeros, de respuesta fundamentalmente elástica. Se suelen incluir en este grupo a los elastómeros y

phall without affecting the rheological properties of the bitumen. The term «modified binders» is used when the modifier is added to the binder either in the central mixing plant or the asphalt manufacturing plant and «modified mixes» when the modifier is added as an additional item to the aggregate or directly in the mixer. Some classical products such as the adhesion agents are not usually included under the heading of binders or modified mixes.

A widely used general classification of modifiers is illustrated in Table 1, which includes all types. By using the first four, binders are made which fall within the definition of modified binders. It is the polymers which have been mostly used in Spain and attention will therefore be centred on them.

3. POLYMERS

Polymers are derived from petrochemicals and are mainly used in the plastics industry. They consist of huge molecules formed as chains which normally contain tens of thousands of molecular units.

There are several criteria for classifying polymers, the main ones being those which categorize them depending on their state of aggregation (amorphous, crystalline or elastomer) and their structure (linear, branched, latticed) and the type of polymerization process involved (condensation, free radical and solution).

On roads, simple classifications have been adopted with two basic categories. In the first category a distinction is made between:

- Elastomers which have considerable elasticity and capacity for distortion. These are linear, amorphous polymers which, after being subjected to a vulcanization process, form a weakly cross-linked structure which gives them their elastic properties. They

are resistant to plastic deformation, rapidly recovering their initial shape after stresses are removed and only maintain a minute permanent deformation. They give little added strength to the bitumen until it begins to become deformed, but the resistance to stresses increases with elongation. The most well known are natural rubber, EPDM (monomeric ethyl-propyldiene) and SBR (styrene butadiene rubber).

- Thermoplastic polymers, so-called because when heated they soften and are fluid but on cooling they harden into a new shape and retain their initial properties. When added to bitumen, they harden it and make it highly resistant to deformation. They rapidly develop strength under load but are rigid and fracture when submitted to a high degree of deformation. They are generally linear or slightly branching polymers, the most representative examples of which are the poly-olefins (polyethylene and polypropylene), the vinyls (EVA, PVC) and the polystyrenes.

- Thermoplastic elastomers, which have intermediate properties between the elastomers and the thermoplastics. They are generally block copolymers arranged in a radial or linear shape or in multiple blocks. They are highly elastic and at the same time give the bitumen a certain rigidity. Within this group, the styrene butadiene co-polymers (SBS) are most commonly used.
- Thermosetting polymers, which are those which become irreversibly rigid when subjected to heat. These are lattice-type polymers. The principal representatives of this group are the epoxy resins. They are obtained by mixing two components, the resin and the hardening agent which react chemically and form a strong three dimensional

elastómeros termoplásticos. - Plastómetros, que rigidizan el betón, ofreciendo resistencia a cambio de sacrificar la posibilidad de deformarse elásticamente. Suelen incluirse en este grupo los termoplásticos.

Con la utilización de los polímeros se persigue fundamentalmente, aparte de los objetivos ya señalados de rigidizar y/o flexibilizar el betón, incrementar su viscosidad y modificar su susceptibilidad térmica. La consistencia del betón depende de la temperatura, con una variación continua dentro de las temperaturas de servicio. Los problemas se producen para temperaturas extremas dentro de los límites del rango. Se dan consistencias excesivamente bajas que pueden llevar a deformaciones plásticas, para temperaturas de 40-60 °C usuales en muchas de nuestras carreteras durante la época estival, y consistencias excesivamente altas para temperaturas inferiores a 5 °C, que pueden llevar a roturas por fragilidad. Al añadir polímeros a los ligantes se produce un incremento de la viscosidad para las temperaturas superiores a 5 °C, junto con una disminución de la sensibilidad térmica en el mismo rango de temperaturas, no habiendo cambios muy significativos para las temperaturas inferiores (en general disminuye la penetración un 10-20 % y aumenta la viscosidad absoluta un 200-500 %).

El aumento de la viscosidad lleva a utilizar betunes de partida un grado más blandos que los de proyecto. Con ello se consigue también mejorar el comportamiento en la forma señalada para las temperaturas medias-altas, mientras que se puede aprovechar la baja viscosidad del betón base para aumentar la resistencia a fisuración a bajas temperaturas.

Un efecto importante del incremento de la viscosidad a altas temperaturas es que se puede aumentar el contenido

de ligante en las mezclas sin riesgos de deformaciones plásticas, lo que redundará en una mejora de su comportamiento a fatiga, una mayor impermeabilidad y reducción del envejecimiento.

Un inconveniente del aumento de viscosidad es que llega a la temperatura de mezclado. Dependiendo del tipo y cantidad de modificador se pueden dar aumentos de hasta 20 °C. A veces son también necesarios mayores tiempos de mezclado. Esto significa, en general, que es necesario más combustible para el funcionamiento de la planta.

Un factor primordial para el comportamiento de un ligante modificado es la compatibilidad entre los asfaltenos, resinas y aceites del betón y las cadenas del polímero. Los principales tipos de polímeros utilizados en nuestro país son:

SBS

Los SBS están constituidos por cadenas lineales o ramificadas de elementos unitarios que se repiten. Contienen poliestireno en los elementos finales y caucho sintético (polibutadieno) en los intermedios. El polibutadieno forma un sistema muy flexible que une bloques de poliestireno de gran rigidez.

Variando el peso molecular, número de ramas, tipo de monómero en las unidades o bloques intermedios o ratio monómero final-intermedio puede conseguirse una gran diversidad de productos. Quizás sean los más versátiles del mercado.

Son sólidos a temperatura ambiente y requieren una alta velocidad de corte para mezclarse con el betón, siendo su incorporación más compleja que la de otros modificadores.

Cuando se incorporan al ligante, absorben los maltenos del betón, hinchándose y formando redes continuas o fragmentadas, dependiendo de su concentración. En estos ligantes, la proporción de SBS guarda una relación casi continua con el incremento en el punto de anillo y bola.

They are highly resistant to attack by solvents and combine high mechanical strength with flexibility. They need to be added in a high proportion (sometimes amounting to 20 % of the weight of the bitumen) and this makes them very expensive and their use is thus limited to specific problems such as the decking of metal bridges, areas of possible fuel spillage and special surface dressings.

The second categorization, which is becoming more prevalent, is even simpler and is broken down into two groups of polymers:

- Elastomers, with basically elastic properties. This group usually includes standard elastomers and thermoplastic elastomers.
- Plastomers, which stiffen the bitumen and provide strength at the cost of possible elastic deformation. The thermoplastics are usually included within this group.

The purpose of using polymers is, apart from the objectives already mentioned of stiffening and/or making the bitumen more flexible, basically that of increasing its viscosity and modifying its thermal behaviour. The consistency of the bitumen depends on temperature and varies continuously within the surface temperature range. The problems occur at temperature extremes within this range. Excessively low consistencies can occur which result in plastic deformation at temperatures of 40 to 60 °C, which are normal on many Spanish roads during the summer, and excessively high consistencies at temperatures below 5 °C, which can result in rupturing as a result of brittleness. By adding polymers to the binders, and increase in viscosity is produced at temperatures of over 5 °C along with a reduction in thermal sensitivity

in the same temperature range, with no significant change in behaviour at lower temperatures. In general, penetration is reduced by 10 to 20 % and absolute viscosity is increased by 200 to 500 %.

The increase in viscosity leads to bitumens initially being used which are a degree softer than those specified. By this method, an improvement is also brought about in performance as mentioned at medium to high temperatures whilst advantage is taken of the lower viscosity of the basic bitumen to increase resistance to cracking at lower temperatures.

An important effect of the increase in viscosity at high temperatures is that the content of binder can be increased in mixes without risk of plastic deformation, which results in improved fatigue properties, greater waterproofing and a reduction in aging.

One drawback of the increased viscosity is that it occurs at mixing temperature. Depending on the type and quality of modifier used, an increase of up to 20 °C may be required. On occasions, increased mixing times are also necessary. This means in general that more fuel is required to operate the plant.

One basic factor in the behaviour of a modified binder is compatibility between asphaltenes, resins and polymer chains. Main types of polymers used in Spain are:

SBS

SBS are made of repeated units forming linear or branched chains. In the final elements there is polystyrene and in the intermediate elements the polybutadiene bitumen oils form a really flexible system which combines highly rigid polystyrene blocks.

A wide variety of products can be obtained by varying the molecular weight, number of

Los principales suministradores de SBS para carreteras en nuestro país son las casas REPSOL, SHELL y FINA. Sin pretender hacer una lista exhaustiva por la continua aparición de nuevos productos, los ligantes comerciales que parece que utilizan (generalmente se trata de fórmulas guardadas, lógicamente, en secreto por las compañías) SBS o una mezcla de SBS y plastómeros son los B-65 y Telcolastic, de Composán (probablemente los ligantes modificados más utilizados en el país); PB (1,5), de Probisa; Lastum, de Proas; Colflex, de Trabit; Corviflex, de Corviam; el Modifalt, de Repsol, y algunos tipos de Novophalt. El ligante Styrelf sigue un proceso patentado, basado también en la incorporación de copolímeros en bloque, produciéndose luego un entrecruzamiento químico irreversible entre el polímero y el betún. Aparte de las características comunes a los SBS, tiene una gran adherencia a los áridos, por lo que en otros países se utilizan mucho en tratamiento superficial.

La principal característica de todos estos ligantes es la de dotar a la mezcla de una gran flexibilidad, a la vez que se mejora el comportamiento a altas y bajas temperaturas. Se suministran a granel, aunque existe al menos una planta móvil.

EVA

El EVA se fabrica por copolimerización de etileno y acetato de vinilo. El betún modificado es muy fácil de fabricar con mezclado de baja elzalla y elevadas temperaturas y tiene una buena compatibilidad con la mayor parte de los betunes. Son estables a las temperaturas usuales de trabajo, pero con almacenamientos estáticos prolongados tienden a separarse, por lo que es conveniente reciclarlos antes de utilizarlos. Las propiedades vienen controladas por el peso molecular y el contenido de acetato de vinilo.

El peso molecular decre-

ciente favorece la compatibilidad, facilidad de mezclado y una menor temperatura de compactación, pero reduce la mejora del punto de reblandecimiento, penetración y rigidez. Los contenidos crecientes de acetato de vinilo mejoran la flexibilidad a baja temperatura, pero reducen también la mejora del punto de reblandecimiento, penetración y rigidez.

Los más utilizados son los de las casas REPSOL, EXXON, MOBIL y DUPONT, y los ligantes comercializados en España con EVA como modificador principal son el Practiplast, de BP-Med; el Mobilplast, de Probisa y un Modifalt, de REPSOL, además de algún compuesto señalado ya en el apartado de los SBS.

Sus principales ventajas son que mejoran la resistencia a las deformaciones plásticas, aunque en algunos países subrayan también el poder extender mezclas a bajas temperaturas por su mejor trabajabilidad. Dependiendo del contenido de acetato de vinilo pueden tener más flexibilidad que otros plastómeros.

POLIETILENO

En España, el único aplicador es Novophalt, que utiliza polietileno, polipropileno o una mezcla de ambos, según un sistema patentado. Generalmente se utilizan productos recuperados de desechos. Este fabricante tiene una gama de productos en la que se combinan plastómeros, elastómeros y otros componentes en función de la aplicación. Es un ligante muy popular en el país, ocupando el segundo lugar en la lista de ventas.

Dada la baja compatibilidad del polímero con el ligante, requiere la fabricación en la misma planta de mezclado, a la que se incorpora un molino de alta velocidad de corte.

Los betunes modificados con polietileno elevan considerablemente el punto de reblandecimiento, son muy resistentes a las deformaciones

branches, type of monomer in the units or intermediate blocks and the final intermediate monomer ratio. They are perhaps the most versatile on the market.

They are solid at ambient temperatures and require a high shear speed for mixing with the bitumen making them more complicated than other modifiers to incorporate.

When incorporated into the binder, they absorb the bitumen malthenes, swell and form continuous or fragmented networks, depending on their concentration. With these binders the amount of SBS is in almost constant proportion to the increase in the ring and ball point.

The main suppliers of SBS for use on roads in Spain are REPSOL, SHELL and FINA. Without trying to provide a full list, because new products are continually appearing, the commercial binders which appear to use understandably, the formulas are normally kept secret by the companies concerned SBS or a mixture of SBS and plastomers are B-65 and Telcolastic from Composán (probably the modified binders most widely used in Spain), PB (1.5) from Probisa, Lastum from Proas, Colflex from Trabit, Corviflex from Corviam, Modifalt from Repsol and various types of Novophalt. The Styrelf binders uses a patented process, also based on the incorporation of block copolymers, which produces and irreversible chemical lattice structure between the polymer and the bitumen. Apart from the properties common to all SBS, it has a high degree of adhesion to the aggregate and therefore is employed to a large extent in other countries in surface dressings.

The main characteristic of all these binders is the flexibility they give to the mix whilst at the same time improving its behaviour at high and low temperatures. The binders are supplied ready mixed from the plant although there is at least one mobile mixing plant in operation.

The main characteristic of all these binders is the flexibility they give to the mix whilst at the same time improving its behaviour at high and low temperatures. The binders are supplied ready mixed from the plant al-

though there is at least one mobile mixing plant in operation.

EVA

EVA is manufactured by the copolymerization of ethylene and vinyl acetate. The modified bitumen is very easy to produce in a mixture with low shear strength and high temperatures and is very compatible with the majority of bitumens. It is stable at normal working temperatures but on prolonged static storage tends to separate and should therefore be recycled before use. Its properties are governed by the molecular weight and content of vinyl acetate.

Lower molecular weights lead to greater compatibility, ease of mixing and a lower compaction temperature but have less effect on improving the softening point, penetration and rigidity. With an increased content of vinyl acetate, flexibility at low temperature is improved but there is also less effect in improving the softening point, penetration and rigidity.

The most commonly used come from REPSOL, EXXON, MOBIL and DUPONT and the binders commercially available in Spain using EVA as the principal modifier are Practiplast from BP-Med, Mobilplast from Probisa, Modifalt from Repsol as well as the compounds mentioned in the section on SBS.

Their principal advantages are improved resistance to plastic deformation although in some countries they are also particularly used for their ability to spread mixes at low temperatures as they are more easy to work. They can provide more flexibility than other plastomers, depending on the vinyl acetate content.

POLYETHYLENE

In Spain, Novophalt is the only product which makes use of polyethylene, polypropylene or a mixture of the two, under a patented system. Recovered waste products are generally used. The manufacturer has a range

plásticas y proporcionan a las mezclas una gran capacidad de absorción de cargas. Con estos ligantes se puede ir a mezclas con contenidos muy elevados de ligante sin peligro de deformaciones plásticas, es decir, con un bajo contenido de huecos y películas espesas de ligante, lo que les confiere una gran durabilidad (menos oxidación, mayor impermeabilidad y resistencia al agua). Los mayores espesores de ligante proporcionan cierta flexibilidad a las mezclas.

El polietileno reduce el punto de fragilidad de Fraass con lo que se mejora el comportamiento a bajas temperaturas frente a los ligantes convencionales.

4. APLICACIONES

Las principales aplicaciones de los ligantes modificados son las mezclas drenantes, capas finas, capas gruesas de refuerzo, tratamientos superficiales y tratamientos anti-reflexión de fisuras. No se tratan aquí otras aplicaciones en fase experimental (mezclas de alto módulo, mejora de betunes o áridos marginales).

MEZCLAS DRENANTES

Constituyen, hoy por hoy, la principal aplicación en nuestro país de los betunes modificados. Consumen aproximadamente el 50 % de la producción total de estos ligantes. Existen actualmente en España unos 20×10^6 m² de mezclas drenantes.

Las mezclas drenantes son materiales bituminosos para capas de rodadura, con un contenido de huecos superior al 20 %, lo que les confiere una textura muy abierta y una gran capacidad de drenaje. Las ventajas fundamentales que aportan son la capacidad de absorción del ruido de rodadura, con una reducción del nivel sonoro de unos 3 dBA respecto a las mezclas tradicionales, y el aumento en la seguridad de la circulación de los vehículos al eliminar el agua de la superficie, evitando así el riesgo de desliza-

miento y la proyección de agua.

Los principales deterioros que pueden presentar las mezclas drenantes son la desintegración y la postcompactación por el tráfico. El primero puede deberse, a su vez, a problemas de oxidación prematura, falta de capacidad para absorber deformaciones o de retención de partículas o falta de resistencia a la acción del agua. Como puede comprenderse, el ligante juega un papel fundamental en el comportamiento de este tipo de mezclas.

Los beneficios de utilizar betunes modificados son los de poder disponer de espesores gruesos de película de ligante que aseguren la durabilidad junto con una gran capacidad de retención de partículas en cualquier condición, sin que los elevados contenidos de ligante produzcan escurrimientos en la fase de construcción, ni riesgo de postcompactaciones.

La vía de modificación de la mezcla más utilizada hasta ahora, con gran diferencia, es la de los ligantes ligeramente modificados (aproximadamente, el 3 % sobre betún) con polímeros, tipos EVA, SBS o una combinación de ambos. Se cuenta ya con una experiencia de más de diez años con estos ligantes y se han obtenido unos resultados excelentes incluso en situaciones con tráficos muy agresivos.

Otro tipo de modificación es el de ligantes con fibras, para añadir un espesor más grueso de película de betún sin que se produzcan escurrimientos. Esta técnica se ha utilizado en nuestro país con polietileno para compensar la rigidez del ligante con un mayor espesor de película de betún. Frente al 4,5 % de betún en el caso de ligantes SBS se va aquí a porcentajes en torno al 5,5 %. En otros países se ha utilizado la técnica de las fibras con betunes puros, también con buenos resultados.

CAPAS FINAS

El empleo de betunes modifi-

of products in which plastomers, elastomers and other components are combined, depending on the application. It is a very popular binder in Spain, in second place in terms of sales.

In view of the poor compatibility of the polymer with the binder, it needs to be prepared in the same mixing plant, which is equipped with a mill with a high shear speed.

Bitumens modified with polyethylene raise the softening point considerably, are highly resistant to plastic deformation and provide mixes with a high capacity to absorb loads. With these binders mixes can be obtained with a very high binder content without risk of plastic strain, in other words with a low content of voids and thick films of binder, which makes them very long lasting (with less oxidation and a high resistance to water penetration). With higher proportions of binder, mixes acquire a certain flexibility.

The polyethylene reduces the Fraass brittleness point and thus improves behaviour at lower temperatures compared with conventional binders.

- The amine compounds behave as a surfactant and reduce surface tension thus enabling the aggregates to be more easily soaked.
- The aromatic oils obtained from coal distillation.

On the other hand, slaked lime and cement tend towards forming calcium salts which are highly water resistant.

4. APPLICATIONS

The main applications for modified binders are in porous asphalt, thin layers, thick strengthening layers, surface dressings and in treatments to protect against reflection cracks. These do not include other applications which are at the experimental state (high modulus mixes, improved marginal bitumens and marginal aggregates).

POROUS ASPHALT

This is the main every-day use in Spain for modified bitumens and accounts for approximately 50 % of total production of these binders. There is presently some 20 million m² of porous asphalt in use in Spain.

Porous asphalt consists of bituminous materials for wearing courses with a voids content of over 20 % which gives them a very open texture and a high capacity for drainage. The basic advantages they provide are a capacity for absorbing riding noise with a reduction in sound levels of some 3 dBA compared with traditional mixes and a increase in traffic safety by the removal of surface water, thus avoiding the risk of skidding and water projection.

The principal deterioration suffered by coated pervious macadam consists of its disintegration and postcompaction by traffic. The first of these is due to problems of premature oxidation, low capacity to absorb deformation, particle retention and inability to resist water action. It can therefore be understood that the binder plays a fundamental role in the behaviour of this type of mix.

The benefits of using modified bitumens are their ability to provide thick films of binder which ensure durability together with a powerful capacity for retaining particles under any conditions, without the high binder content producing binder drainage during the construction stage or the risk of postcompaction.

The most common method by far of modifying mixes to date is the use of binders slightly modified (approximately 3 % of the bitumen) with EVA or SBS type polymers or a combination of both. More than ten years experience has been gained in the use of these binders and excellent results have been obtained, even in highly aggressive traffic conditions.

Another method of modification is the use of binders with fi-

cados en capas finas en caliente supone un 35 % del consumo total. Se dispone de unos $4 \times 10^6 \text{ m}^3$ de este material.

Las capas finas de mezclas asfálticas (2-3 cm) se utilizan en la rehabilitación superficial o en la construcción de nuevos firmes para:

- Solucionar problemas de deslizamiento.
- Corregir pequeñas deformaciones superficiales.
- Rehabilitar firmes envejecidos o agrietados.
- Construir firmes sobre obras de fábrica.

Generalmente se buscan mezclas ricas en ligante con gran resistencia a la fatiga y a la desintegración, resistentes a las deformaciones plásticas y una adherencia rueda-pavimento adecuada.

Aunque también se utilizan mezclas tipo hormigones asfálticos, la solución más generalizada es la de mezclas discontinuas, tipo «stone-mastic-asphalt» con contenidos de ligante iguales y superiores al 5,5 %. La utilización de betunes puros en estas condiciones puede llevar a escurrimientos en la fabricación, transporte y extendido, exudaciones, deformaciones plásticas o roturas por falta de elasticidad. La modificación del ligante suele hacerse con SBS (aunque también se pueden utilizar otros elastómeros o plastómeros), con dotaciones medias (alrededor del 5-6 % sobre betún) y en algunos casos se utilizan fibras y betunes puros.

CAPAS DE REFUERZO

Las capas con una elevada estabilidad frente a las deformaciones plásticas y gran capacidad de absorción y reparto de esfuerzos son necesarias en nueva construcción, o en refuerzos en zonas con alta intensidad de tráfico, y/o altas temperaturas estivales, y/o tráfico lento y canalizados. La solución tradicional ha sido la de betunes duros, tipo 40/50 y bajas dotaciones, lo que ha llevado a envejeci-

mientos prematuros y fallos por fatiga.

En este campo han comenzado a utilizarse con éxito, desde el año 87, los hormigones asfálticos convencionales con betunes modificados con plastómeros (en nuestro país, fundamentalmente, polietileno), que proporcionan una gran resistencia a las deformaciones plásticas y permiten ir sin peligro a altas dotaciones de ligante, con la siguiente mejora en la resistencia al envejecimiento, fatiga, impermeabilidad y trabajabilidad de las mezclas bituminosas. El consumo relativo de esta aplicación es del 15 % sobre el total.

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Los tratamientos superficiales se utilizan, desgraciadamente, cada vez menos en nuestras carreteras, siendo su empleo prácticamente nulo en las de alta intensidad de tráfico. El objetivo del tratamiento es impermeabilizar superficies y/o aumentar la resistencia al deslizamiento. En su dosificación se tiende a colocar todo el ligante posible para que el agarre de las partículas sea satisfactorio, sin que se produzcan exudaciones.

Las ventajas de utilizar ligantes modificados son las de incrementar la viscosidad del betún, disminuyendo la posibilidad de exudaciones y desprendimiento, y de reducir la susceptibilidad térmica de forma que se minimicen los desprendimientos en épocas de bajas temperaturas.

Únicamente se conocen tratamientos esporádicos en carreteras de tráfico medio o bajo.

SISTEMAS ANTI-REFLEXION DE GRIETAS

En los firmes con capas de base tratadas con cemento, las grietas de retracción que inevitablemente se producen, se reflejan en superficie, más o menos rápidamente, en función del tráfico y del clima de la zona, y del espesor, tipo y

bres, to thicken the bitumen film without which binder drainage would occur. This technique has been used in Spain using polyethylene to compensate for the rigidity of the binder with a thicker bitumen film. As opposed to the 4.5 % bitumen content in the case of SBS binders, in this case the percentage is around 5.5 %. In other countries the fibre technique has been used with pure bitumens.

THIN LAYERS

The use of modified bitumens in hot applied thin layers accounts for 35 % of their total usage. Some 4 million m^2 of this material have been laid.

Thin layers of asphalt (2-3 cm) are used for surface rehabilitation or in the construction of new pavements for:

- Solving problems of skidding.
- To correct small surface deformations.
- To rehabilitate old or cracked pavements.
- To construct pavements over engineering structures.

Mixtures rich in binder are normally used, with a high resistance to fatigue, disintegration, plastic deformation and suitable wheel-pavement adhesion.

Although concrete asphalt type mixes are also used, the most common solution is to use stone-mastic-asphalt type discontinuous mixes with a binder content of 5.5 % or above. The use of pure bitumens in these conditions could lead to binder drainage in manufacture, transport and mixture, bleeding, plastic deformation and breaking up through lack of elasticity. The binder is normally modified with SBS (although other elastomers or plastomers may also be used) in medium proportions (around 5 to 6 % of the bitumen) and in some cases, fibres and pure bitumens are used.

STRENGTHENING LAYERS

Layers with a high stability in

terms of plastic deformation and a high capacity for absorbing and spreading stresses are needed in new road construction or in strengthening sections with high traffic density and/or high summer temperatures and/or slow channelized traffic. The traditional solution has been to use hard bitumens of type 40/50 in low proportions which has led to premature aging and failure through fatigue.

Since 1987, conventional asphalt concretes with binders modified with plastomers (mainly polyethylene in Spain) have begun to be used with success, providing a high degree of resistance to plastic deformation and enabling high proportions of binder to be used without risk, with the resulting improvement to asphalt in terms of resistance to aging, permeability and ease of working.

SURFACE DRESSINGS

Unfortunately, surface dressings are being used increasingly less on Spanish roads and hardly ever on roads with high traffic density. Their purpose is to waterproof the surface and/or increase skid resistance. As much binder as possible is used in their preparation in order for the particles to acquire satisfactory adherence without bleeding.

The advantage of using modified binders is that it increases the viscosity of the bitumen, thus reducing the possibility of bleeding and stripping and reducing sensitivity to temperature in order to keep stripping to a minimum during periods of low temperature.

Only occasional treatments are known of, on roads with medium or low traffic density.

ANTI-REFLECTION CRACK SYSTEMS

On pavements with cement bases, the shrinkage cracks which inevitably occur are reflected on the surface at a greater or lesser rate, depending on the traffic and the cli-

forma de ejecución de las capas de mezcla bituminosa.

El problema es especialmente grave con el hormigón compactado, y en algunas zonas de alto tráfico y clima desfavorable también con la gravitación. La necesidad de evitar la reflexión de fisuras se da en nueva construcción y en la reparación de firmes en los que ya se han reflejado las grietas.

En la actualidad se está trabajando intensamente en la busca de soluciones para este tipo de deterioro, habiéndose llevado a cabo en nuestro país varios estudios y tramos experimentales. Entre las soluciones más prometedoras se encuentran varias con ligantes modificados y especialmente las que se basan en membranas absorbedoras de tensiones (las que más éxito han tenido hasta ahora), intercapas de arena betún y capas intermedias con abundante dotación de ligante modificado. La tendencia en estos casos es la de utilizar ligantes muy modificados (6-8 % al menos de modificador) con ligantes tipo SBS y, en algunos casos, con plastómeros. Las aplicaciones son todavía muy escasas, aunque cabe destacar las experiencias de Sanchidrián, Villaverde-Seséña y la variante de Carabias.

5. CONSIDERACIONES FINALES

La técnica de ligantes modificados está en sus comienzos, y cabe esperar grandes avances en el futuro.

Por parte de la Administración se debe trabajar en dos frentes. El más importante es avanzar en el conocimiento de las relaciones entre las características de los ligantes y las propiedades de las mezclas. La técnica permite ya construir ligantes según el diseño que se desee, pero existen lagunas en los conocimientos de

cómo afectan las propiedades del betún modificado al comportamiento de las mezclas fabricadas con ellos, trabajándose hoy en día muchas veces en base a intuiciones que pueden resultar erróneas.

Por otro lado, debe adquirirse más experiencia en el comportamiento comparado, en carretera, de materiales con betunes convencionales y modificados, de manera que puedan definirse mejor los campos de aplicación. Actualmente la aplicación de estos productos suele basarse en el poder de convicción de los comerciales de las empresas o en la creencia de que un ligante modificado es siempre mejor que un ligante convencional. Quizá en este sentido sería de gran ayuda la elaboración de recomendaciones técnicas sobre cada producto específico y el desarrollo de las herramientas para poder realizar estudios coste/beneficio de los distintos modificadores, de manera que pueda estudiarse su inclusión desde la fase de proyecto.

En cualquier caso es importante señalar que los ligantes modificados no son productos milagrosos ni dispensan de adoptar las precauciones habituales. El éxito de su aplicación se basa en una selección cuidadosa del modificador, utilización de áridos adecuados y una ejecución esmerada. Por otro lado, no todos los modificadores del mercado mejoran significativamente el comportamiento del ligante base ni todas las aplicaciones exigen un ligante modificado. Aunque la utilización de betunes modificados de calidad permite utilizar mayores dotaciones de ligante y, por tanto, asegurar una mayor durabilidad en todas las situaciones, su campo de aplicación preferente son las carreteras con solicitaciones más extremas de tráfico o de clima.

mate en la zona, along with the thickness, type and of applying the asphalt layers.

The problem is particularly acute with compacted concrete and in some areas of high traffic density and unfavourable climate, also with gravel cement. The need to prevent reflection cracking arises in new road construction and when repairing pavements where cracks have already been reflected.

There is currently an intensive search under way for solutions to this type of deterioration and in Spain several studies and experimental sections have been undertaken. Amongst the most promising solutions are several involving the use of modified binders, and particularly those based on stress-absorbing membranes (which have had most success up until now), intermediate layers of sand asphalt and others with a high proportion of modified binder. The trend in these cases is to use highly modified binders (with at least 6 to 8 % of modifier) using SBS types and, in some cases, plastomers. Their use is still very infrequent, although mention should be made of the experience at Sanchidrián, the Villaverde to Seséña road and the Carabias bypass in the centre and northern Spain respectively.

5. FINAL CONSIDERATIONS

The technique of using modified binders is at an early stage and hopefully there will be considerable advances in the future.

As far as the authorities are concerned, they must work on two fronts. The most important is to increase knowledge of the relationship between the properties of binders and the properties of mixes. The techniques already available enable bind-

ers to be made according to individual specification but there are gaps in the knowledge of how the properties of the modified bitumen affect the behaviour of the mixes made with them and a high degree of intuition is often relied on, which can result in errors.

In addition, more experience is needed of the comparative behaviour on roads of conventional and modified bitumen materials, in order for their areas of application to be more adequately defined. The use of these products is normally based at the present time on the persuasive powers of salesmen or the belief that a modified binder is always better than a conventional one. Perhaps it would be of great assistance if technical recommendation in respect of each specific product were prepared along with the development of the tools required to carry out cost-benefit studies into the different modifiers so that their inclusion at the planning stage can be studied.

In any event, it is important to stress that modified binders are not miracle products and do not mean that the usual precautions can be dispensed with. The success of their use is based on a careful selection of the modifier, the use of suitable aggregates and painstakingly careful application. On the other hand, not all modifiers on the market lead to a significant improvement in the behaviour of the basic binder and not all applications require a modified binder. Although the use of high-quality modified bitumens enables a higher proportion of binder to be used and therefore ensures greater durability in all situations, their preferred area of application is on roads which withstand extremes in terms of traffic and climate.

CALIDAD NUESTRO MEJOR SERVICIO



Autovía del Norte



Túneles de Somosierra



Dragados
Calidad Total

P.º Alameda de Osuna, 50. 28042 MADRID. Tfno. 583 30 00. Fax 742 77 53

Beugnet-Viasfalto

Las fuerzas en común.

Con su incorporación
al grupo Beugnet,
1º constructor europeo de autopistas,
Viasfalto y sus filiales Tracsa y Dero han
adquirido una nueva dimensión.
Viasfalto está en condiciones de ofrecer
a la carretera española
su conocimiento del mercado nacional,
junto a un potente grupo eficaz y
cohesionado, bien conocido
por su dinamismo
y su capacidad innovadora.



VIASFALTO

Siempre nos entusiasma y glorifica.

c/ Castillejos, 352 bajos - 08025 BARCELONA
Tel. (93) 433.21.61 - Fax. (93) 455.21.04

Agustín de Bethencourt 25 5º - 28003 MADRID
Tel. (91) 533.45.84 - Fax. (91) 554.49.25

Calle Santa Fe 9 1º izquierda - 41011 SEVILLA
Tel. (95) 453.78.30 / 453.70.80 - Fax. (95) 442.52.63