

SISTEMA REJUVENESCEDOR POR CÁPSULAS PARA A REGENERAÇÃO DUM LIGANTE ENVELHECIDO

Lucía Miranda¹, Francisco José Lucas², Raquel Casado³, Carlos Martín-Portugués⁴, Emilio Moreno⁵, Hélio Nunes⁶

¹ Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.. Méndez Álvaro, 44, 28045, Madrid, Espanha

² Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.. Méndez Álvaro, 44, 28045, Madrid, Espanha

³ ACCIONA. C/ Valportillo II, 8, 28108, Alcobendas (Madrid), Espanha

⁴ ACCIONA. C/ Valportillo II, 8, 28108, Alcobendas (Madrid), Espanha

⁵ Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A., Repsol Technology Lab, A-5 km 18. 28931 Móstoles, Espanha

⁶ Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A., Av. José Malhoa, 16 B – 8º, 1099-091 LISBOA, Portugal

Resumo:

Quando o piso já se encontra com defeitos evidentes, o desenvolvimento de acções preventivas que permitam minimizar as actuações de renovação do piso, e contribuir na etapa de vida de serviço de um pavimento, dentro do ciclo de Economia Circular.

Com o objectivo de procurar soluções eficientes para a reabilitação de pavimentos, dentro do projecto REPARA 2.0, está-se a trabalhar no desenvolvimento de um sistema de regeneração do ligante envelhecido com a incorporação, dentro da mistura betuminosa, de uma série de cápsulas que contêm um ligante rejuvenescedor que permite recuperar as propriedades originais do betume na mistura.

Palavras chave: rejuvenescedor; regeneração; envelhecido; cápsulas

1. INTRODUÇÃO

A passagem do tempo afecta todos os materiais produzindo o seu envelhecimento e com ele a perda das suas propriedades, tendo que intervir de alguma forma, ou para eliminá-lo e substituí-lo por outro novo, ou aplicando alguma acção que permita recuperar as propriedades perdidas.

Em função do tipo de material, o envelhecimento pode ser provocado por diferentes tipos de acções, por exemplo no caso de uma engrenagem, o seu desgaste é devido à fricção contínua das peças, ou outro exemplo é numa mistura betuminosa, caso que nos ocupa nesta comunicação, onde o desgaste se deve à acção do tráfego assim como pelas condições ambientais às quais se encontra submetida.

Em qualquer caso e tendo em conta os exemplos, antes de proceder à eliminação da peça ou do material desgastado/envelhecido, está-se a investigar na procura de maneiras para recuperá-lo ou forma para prolongar a sua vida útil.

No caso das misturas betuminosas, desde já há muito tempo que se está a trabalhar em proporcionar uma maior durabilidade aos pavimentos mediante o estudo das propriedades tanto dos ligantes como das dosificações que sejam mais adequadas para uma mistura betuminosa, tentando actuar sobre os fenómenos adversos aos quais são submetidos.

As acções mais relevantes que se levaram a cabo basearam-se na incorporação de materiais mais avançados, como é o caso do uso de betumes modificados ou misturas às quais se adicionam uma série de aditivos que melhoram o seu desempenho.

Não obstante, de entre todos os avanços que se dispõem e dos que se pode aceder na bibliografia, o mais disruptivo e avançado são os estudos baseados na auto-regeneração de um pavimento promovido pelos componentes da mistura, fazendo ênfase no rejuvenescimento do ligante, que é em definitivo o componente que mais sofre a degradação pela perda da sua propriedade aglutinante na mistura betuminosa [1, 2, 3]

Tendo em conta as possíveis degradações de uma mistura betuminosa, é a rigidez que o ligante vai adquirindo, tornando-se mais frágil com o decorrer do tempo, aquela que mais afecta um pavimento, aumentando esta enquanto diminui a sua capacidade de relaxação provocando pela acção do tráfego, a aparição de microfissuras que com o tempo avançam produzindo uma maior fissuração e o soltar da interface entre o agregado e o ligante.

Para além da acção do tráfego, o ligante é propenso a tornar-se frágil e rígido devido à exposição ao calor, oxigénio e raios ultravioleta durante as etapas de mistura, transporte e espalhamento, e também durante a vida em serviço, resultado da oxidação dos compostos hidrocarbonados contidos no betume.

As fissuras que inicialmente aparecem na mistura betuminosa têm uma dimensão micrométrica, mas podem crescer muito rápido devido à acção do tráfego e às condições ambientais, repercutindo, em função do grau de deterioração, num aumento do custo em intervenções de renovação e conservação de pavimentos betuminosos. Para diminuir este custo, uma das acções é a implantação de tratamentos de manutenção preventiva que contribua para o prolongar da vida dos pavimentos betuminosos.

Pela sua composição o betume tem a capacidade inerente de recuperar-se de um defeito, assim pois pode-se considerar que o ligante em si é um material auto-reparador. No entanto, o processo de auto-recuperação é muito lento à temperatura ambiente e só funciona em períodos de descanso quando não há solicitações do tráfego.

Este efeito de auto-reparação deve-se ao comportamento visco-elástico do betume, e dentro dele a sua composição química distribuída em duas fases: uma mais “líquida”, formada por maltenos, e outra “sólida” composta por asfaltenos. Os estudos demonstraram que quando uma microfissura aparece é possível que se auto-repare pela própria acção do ligante mas de uma forma lenta, se bem que este processo se pode produzir de uma maneira mais rápida se a “parte líquida” do betume aumenta.

Este incremento do “comportamento líquido” do betume pode fazer-se fundamentalmente por dois mecanismos, tanto pela possibilidade de aumentar o conteúdo de “maltenos”, como por aquecimento do betume [4].

Nesta comunicação descreve-se um destes processos de rejuvenescimento abordado dentro do projecto REPARA 2.0, através do desenvolvimento de mecanismos nos quais se possa aumentar a fase “líquida” de um ligante, de uma maneira lenta e ao longo do tempo, actuando sobre as microfissuras à medida que estas aparecem, contribuindo desta forma ao prolongar da sua vida de serviço.

Esta melhoria das características do ligante pode-se realizar com a incorporação numa mistura betuminosa, de um agente rejuvenescedor encapsulado com o objectivo de que o seu efeito se produza lentamente com o tempo.

Seguidamente descrevem-se as características deste material encapsulado que contém o agente rejuvenescedor assim como o processo de difusão que se produz.

2. USO DE AGENTES REJUVENESCEDORES EM MISTURAS BETUMINOSAS

Denominam-se de rejuvenescedores aqueles materiais formulados para conseguir recuperar as características originais aos ligantes envelhecidos e actuar para repor a composição química perdida promovendo a melhoria da adesividade de maneira que se restaure a proporção original de asfaltenos e maltenos [5].

Este processo de intervenção para aumentar o conteúdo de maltenos emprega-se actualmente sobretudo em intervenções onde se incorpora material fresado, comumente conhecido como RAP, pelas suas siglas em inglês *Reclaimed Asphalt Pavement*, na fabricação de novas misturas betuminosas conseguindo melhorar as propriedades originais do ligante envelhecido e recuperado de misturas betuminosas da estrada [6,7]. Este processo realiza-se directamente incorporando o aditivo no processo de fabricação das misturas, onde o seu efeito principal é conseguir um ligante cujas propriedades se aproximem das características iniciais que se requerem quando não se incorpora um material envelhecido. Este agente rejuvenescedor actua apenas inicialmente de maneira que o ligante seguirá o seu processo de envelhecimento com o passar do tempo da mesma maneira como se não fosse adicionado.

Dadas as propriedades do agente rejuvenescedor, procura-se a possibilidade de que a sua incorporação se possa produzir nos momentos iniciais, senão que a sua interacção se realize de uma maneira mais controlada e quando na realidade o ligante tenha ido perdendo as suas propriedades aglutinantes. Neste caso para que o agente rejuvenescedor cumpra a sua função de reparação, deve penetrar no seio do betume constitui o componente orgânico da matriz da mistura betuminosa.

Para conseguir a adição do agente rejuvenescedor na mistura trabalhou-se na formulação de um sistema que permita a sua incorporação dentro do processo de fabricação de uma forma simples e cómoda para o fabricante. Por isso desenvolveu-se um sistema de incorporação formado por um material granular poroso que actua de suporte do agente rejuvenescedor e que, com o tempo, permita a sua libertação e incorporação na matriz do ligante da mistura. Este agente rejuvenescedor modificará a composição química do ligante actuando neste caso na regeneração das microfissuras, retardando desta forma a evolução da anomalia e aumentando a durabilidade do pavimento.

Para analisar o efeito deste agente rejuvenescedor, é fundamental definir as suas características e analisar o processo de difusão dentro da matriz da mistura assegurando desta forma o seu maior rendimento e grau de actuação.

3. METODOLOGIA E MATERIAIS UTILIZADOS NA INVESTIGAÇÃO

Um dos métodos mais efectivos para a regeneração de um ligante envelhecido é a incorporação de um material que permita regenerar o betume. Este material pode-se adicionar directamente, o que equivaleria à utilização de um ligante com umas determinadas propriedades, ou então dispor de um produto no qual incorporando o agente rejuvenescedor, permita a sua expulsão no seio mistura betuminosa e que possa actuar pouco a pouco contribuindo para melhorar as propriedades que o ligante da mistura vá perdendo ao longo da vida de serviço da estrada. Esta possibilidade pode-se realizar através do encapsulamento do agente rejuvenescedor.

Na valoração do desenvolvimento destes produtos tomou-se como referência as vantagens que este formato apresenta na industria farmacêutica e cosmética onde é possível uma libertação controlada da substância que a contém, permitindo desta forma espaçar no tempo a dosificação.

O desenvolvimento foi, por tanto, baseado na procura dum substrato que permita incorporar o agente rejuvenescedor e que este por sua vez apresente as melhores características.

Dentro deste sistema é fundamental analisar a capacidade de difusão desde o substrato até ao ligante da mistura betuminosa sobre a qual se pretende actuar.

O estudo foi dividido nas seguintes etapas:

- Definir o tipo de agente rejuvenescedor e suas características
- Definir o tipo de substrato e suas características
- Desenvolver o processo de encapsulamento
- Avaliar o grau de difusão do rejuvenescedor a partir do substrato

3.1 Agente rejuvenescedor

Para poder definir que propriedades deve ter o agente rejuvenescedor é importante conhecer as características e componentes do betume envelhecido. Para tal, utiliza-se como método a análise por cromatografia em coluna.

Um betume é um material cuja composição é muito complexa, mas experiência e o conhecimento do seu comportamento, permitiu definir uma estrutura baseada fundamentalmente e quatro grupos de componentes: asfaltenos, polares, naftenos e saturados (Tabela 1). Cada grupo está formado por uma diversidade de compostos químicos e comporta-se de uma forma previsível. Para manter a estrutura físico-química do betume é importante que cada um dos quatro grupos esteja presente numa relação muito estreita, o que assegurará o seu bom comportamento na estrada:

Tabela 1. Componentes dum betume

Componentes do betume. Fracção	Descrição	Reactividade Química	Função principal	Grupo a que pertence
Asfaltenos	Produtos de condensação. Apresentam o maior Peso Molecular	Baixa	Agente de estrutura	Asfaltenos
Polares	Componentes nitrogenados dos maltenos.	Alta	Peptizante	Maltenos
Naftenos	Hidrocarbonetos Nafteno Aromáticos	Baixa	Dissolvente	Maltenos
Saturados	Hidrocarbonetos saturados ou Parafinas	Baixa	Gelificante	Maltenos

A partir da caracterização realizada ao ligante original e ao envelhecido extraído dum material fresado, comprova-se que, tanto pelas suas propriedades mecânicas como químicas, com o tempo envelhece com isso a relação entre os quatro grupos de componentes favorecendo em geral o aumento de asfaltenos e reduzindo a proporção de maltenos desestabilizando o equilíbrio. A adição dum agente rejuvenescedor permite conseguir restabelecer a relação entre os componentes.

Neste estudo procedeu-se à formulação de vários tipos de agentes rejuvenescedores em diferentes formatos, em estado puro e em forma de emulsão. No estudo foi comprovado que é importante, no momento do encapsulamento, o tipo de formato em que se encontra o agente rejuvenescedor. Comprova-se que em forma de emulsão se favorece o efeito de impregnação das cápsulas face à forma de estado puro.

3.2. Substratos porosos

No que concerne ao material a utilizar para encapsular o agente rejuvenescedor, foram analisados diferentes substratos onde uma das qualidades é que deve ser poroso. Também foram procurados materiais com uma granulometria variável e uma dimensão máxima de 4 mm (Tabela 2). Em diante far-se-á referência a eles como substrato 1, substrato 2, e assim sucessivamente até substrato 4, seguindo a ordem na qual são apresentados na figura 1 da esquerda para a direita. Alguns dos agregados apresentam como particularidade uma baixa densidade que pode chegar a ser de até 90-155 kg/cm³.

O desenvolvimento em encontrar um substrato adequado foi centrado em avaliar, por um lado a maior percentagem de rejuvenescedor absorvido, de entre os substratos eleitos, e sua libertação posterior na matriz da mistura betuminosa procurando que este processo se realize lentamente e de forma controlada. Desta forma pretende-se conseguir uma recuperação do pavimento prolongando no tempo o seu envelhecimento e com ele diminuir a sua rigidez.



Fig 1. Tipos de substratos empregues

Tabela 2. Granulometrias dos substratos utilizados na investigação

	Substrato 1	Substrato 2	Substrato 3	Substrato 4
Peneiros (mm)	% Passada	% Passada	% Passada	% Passada
16	100	100	100	100
11,2	100	100	100	100
8	100	100	100	100
5,6	100	100	100	100
4	78,6	85,5	88,7	97,9
2	17,9	22,4	25,5	3,7
1	5,8	10,5	9,1	0
0,5	0,1	4,8	3,8	0
0,25	0	0,8	1,9	0
0,125	0	0,3	0,6	0
0,063	0	0,1	0,2	0

Os materiais granulares analisados apresentavam granulometrias e porosidades diferentes, compatível com o material granular que forma parte das misturas betuminosas, aportando igualmente uma determinada resistência mecânica. É por isso que a utilização deste material como agente encapsulante, apresenta as propriedades adequadas para o objectivo de auto-reparação pelo que este desenvolvimento constitui uma notável inovação.

4. PROCESSO DE ENCAPSULAMENTO

O processo de encapsulamento desenvolvido nos trabalhos de investigação consiste numa impregnação em vazio. Trata-se de um processo relativamente simples, no qual se submetem os substratos porosos a submersão no agente rejuvenescedor em vazio para conseguir que os poros do substrato granular fiquem preenchidos. o processo completa-se com a secagem das cápsulas. Na Figura 2, apresenta-se um esquema do processo:

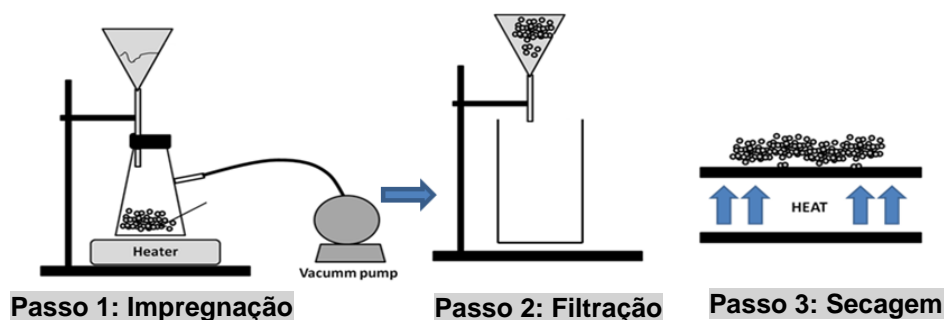


Fig 2. Esquema do processo de encapsulamento

A modo de exemplo na Figura 3 pode-se ver o aspecto final do agente rejuvenescedor já encapsulado.



Fig 3. Detalhe das cápsulas desenvolvidas

O processo de impregnação foi efectuado para os quatro substratos objecto da investigação, utilizando como agente auto-reparador tanto o rejuvenescedor puro como em emulsão.

Uma vez desenvolvidas as cápsulas avaliou-se a percentagem de rejuvenescedor absorvido nos poros submetendo as cápsulas a um ensaio térmico a velocidade controlada. O objectivo deste ensaio é avaliar o rendimento do processo de encapsulamento e a quantidade de material rejuvenescedor foi encapsulado. Os resultados deste ensaio são apresentados nas Figura 4 e Figura 5.

Após conhecer os conteúdos de agente rejuvenescedor nos diferentes substratos, o passo seguinte consiste em seleccionar qual é o formato e a formulação mais adequada com o objectivo de usar o que apresente o maior poder de absorção de agente rejuvenescedor e por sua vez que a sua difusão se realize na maior quantidade possível.

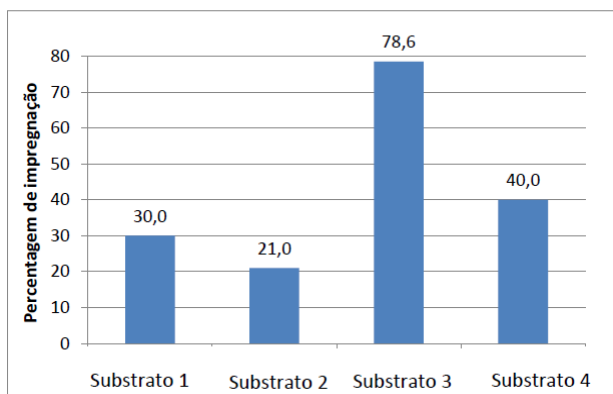


Fig 4. % Rejuvenescedor puro absorvido

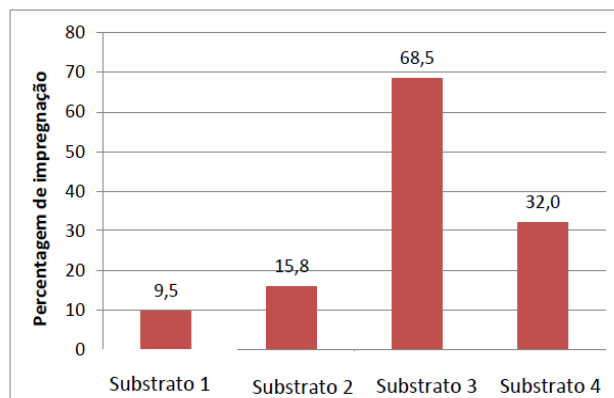


Fig 5. % de Rejuvenescedor em emulsão

Das figuras 4 e 5 pode-se verificar que dois dos substratos, números 3 e 4, apresentam uma capacidade de absorção superior aos outros dois, sendo este efeito mais notório quando se usa rejuvenescedor puro como agente auto-reparador. Para além disso, não existe dúvida relativamente ao excelente poder de absorção do substrato 3, que apresenta valores de impregnação maiores que os restantes substratos investigados.

Não obstante, apesar de à priori parecer mais atractivo o uso de rejuvenescedores puros, deve-se avaliar se esta perda no poder de absorção se vê compensada pela facilidade que o uso de rejuvenescedores em emulsão acarreta no processo de impregnação, assim como pela difusão do rejuvenescedor desde o substrato até à matriz de betume.

5. ESTUDOS DE DIFUSÃO

Uma vez formuladas as cápsulas procedeu-se à avaliação do grau de difusão do agente rejuvenescedor absorvido nas cápsulas, colocando estas em contacto com um ligante na superfície. Neste trabalho utilizou-se a técnica de espectroscopia de infravermelhos com transformada de Fourier, com reflexão total atenuada (FTIR-ATR), onde se acoplou um módulo que incorpora uma placa calorifugável.

A técnica de espectroscopia de infravermelhos permite a identificação dos grupos funcionais de uma substância. O espectrómetro de IR com transformada de Fourier permite, para além da obtenção de espectros de forma rápida, uma avaliação precisa e com relações sinal/ruído elevadas. Este método de análise descrito na bibliografia por Robert Karlsson e Ulf Isacson [8,] o que se utiliza um acessório ATR horizontal com vidro de Selénio de Zinco (SeZn) de vários ressaltos. Uma camada de betume de espessura conhecida é colocada sobre o vidro de SeZn e sobre esta coloca-se um filme de rejuvenescedor da mesma espessura, mantendo-se a temperatura constante durante todo o processo de difusão. Conforme o rejuvenescedor vai atingindo o vidro do ATR, vai-se observando a modificação do espectro infravermelho do betume até à difusão total, que ocorre quando o espectro IR da dissolução betume-rejuvenescedor não varia mais. A difusão calcula-se com a fórmula proposta por Wu-Jang Huang [9], com uma banda ou com a média de várias bandas se o rejuvenescedor for uma mistura de vários componentes e não difundem à vez.

Esta metodologia que se executa directamente entre os dois produtos (betume-rejuvenescedor) foi adaptada para analisar a difusão entre o substrato sólido em contacto com o betume. Desta forma comprova-se o grau de recobrimento do substrato após a amostra ser submetida ao método de ensaio. Nas fotografias anexas, é verificável como nalguns dos substratos a difusão não se produz ao comprovar que a cápsula se encontra com o mesmo aspecto depois do ensaio, ao não impregnar-se no ligante, não se produzindo a absorção como se observa na Figura 6 (esq). Noutros substratos, no entanto, observa-se o efeito de difusão que se realiza de forma completa como na Figura 6 (dta), onde a cápsula se encontra totalmente embebida no betume.



Fig 6. Fotografia do aspecto do grau de difusão antes (esq) e depois do ensaio (dta)

Dos diferentes substratos analisados observam-se diferenças significativas no grau de difusão e que se representam graficamente por curvas como as mostradas na Figura 7 (absorção/tempo em horas).

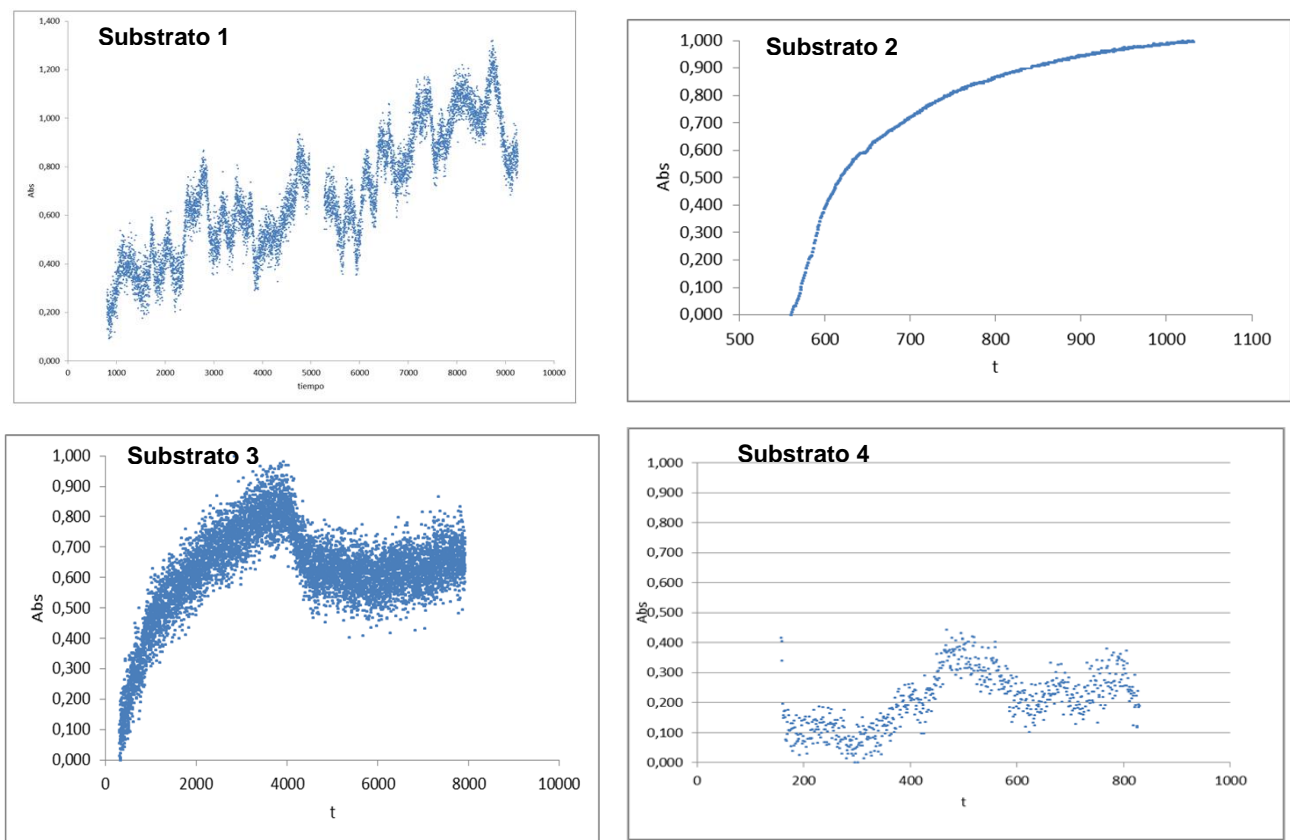


Fig 7. Representação do grau de difusão com o tempo para diferentes substratos

No caso mais claro detecta-se para o substrato 2, onde no gráfico se observa que a experiência parece ir bastante rápida, observando-se uma subida rápida das absorções. Nos resultados do substrato 3 observa-se uma variação significativa das intensidades dos distintos grupos funcionais com o tempo, constituindo isto uma medida indicadora da boa interacção substrato-betume. No entanto, as medidas de difusão do substrato 1 indicam que não há uma tendência clara na variação dos distintos traçados, o que pode associar-se a que não se esteja produzindo qualquer processo de difusão do rejuvenescedor no betume. De facto, no final do ensaio se comprova-se como o betume não embebe as cápsulas, pelo que o processo de difusão resulta dificultado. Algo similar, mas em menor medida, ocorre no caso do substrato 4.

6. ESTUDO DO EFEITO DAS CÁPSULAS COM REJUVENESCEDOR EM MISTURAS BETUMINOSAS

Uma vez disponíveis as cápsulas impregnadas de agente rejuvenescedor procedeu-se à comprovação do seu comportamento nas misturas betuminosas. Para isso, fabricaram-se provetes de mástique com cápsulas utilizando como

ligante um sintético pigmentável, com objectivo de facilitar a inspecção visual do estado das cápsulas no interior da matriz de ligante e agregado para desta forma poder avaliar a possível rotura não desejada das cápsulas durante o processo de fabricação e compactação dos provetes em laboratório. A formulação da mistura é composta por 95% de areia calcária 0/6 e 5 % de ligante sintético, para além das cápsulas.

Sobre os provetes, fabricados por compactação de impacto, foi determinada a resistência à deformação permanente mediante a execução do ensaio de compressão cíclica com confinamento sob a aplicação repetida de uma carga a uma temperatura de 60 °C segundo a norma UNE EN 12697-25. Na Figura 8 representam-se as curvas de microdeformações por número de ciclos de carga para os provetes ensaiados, incluindo um provete padrão (sem cápsulas) para efeitos de comparação. Os resultados que se apresentam correspondem às médias de dois provetes por substrato.

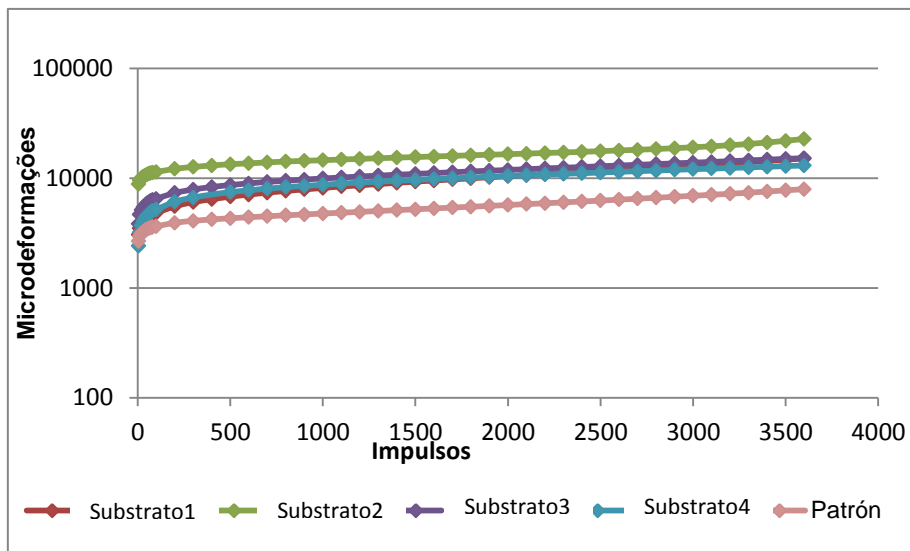


Fig 8. Resultados do ensaio de compressão cíclica

Segundo o gráfico da Figura 8 não se observam desvíos importantes nas curvas de fluência para os materiais ensaiados.

Como ensaios complementares e aproximar-nos mais ao que podia ocorrer em condições reais, fabricaram-se misturas do tipo BBTM 11B usando um betume modificado tipo PMB 45/80-65 numa percentagem de 5% s/m e sobre elas realizaram-se medições de sensibilidade à água (UNE EN 12697-12) e de módulo (UNE EN 12697-26, Anexo C) antes e depois de serem submetidas a um processo de envelhecimento que consiste em:

- Acondicionamento da mistura desagregada a 135 °C durante 4 horas.
- Compactação posterior dos provetes e acondicionamento durante 120 horas, a 85 °C

Com o objectivo de avaliar os valores de características, comparou-se com uma mistura convencional como padrão, sem a adição de cápsulas. Como exemplo apresentam-se os resultados dos provetes fabricados com as cápsulas do substrato 4, cujos resultados se apresentam nas Figura 9 e 10.

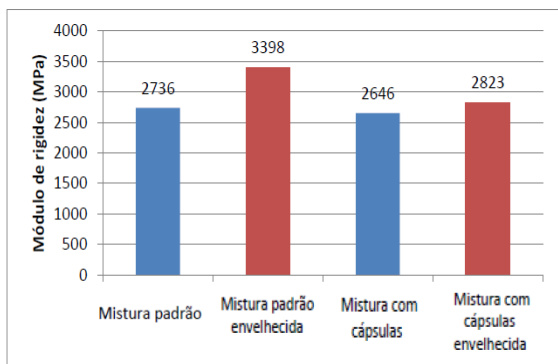


Fig 9. Resultados ensaio sensibilidade à água

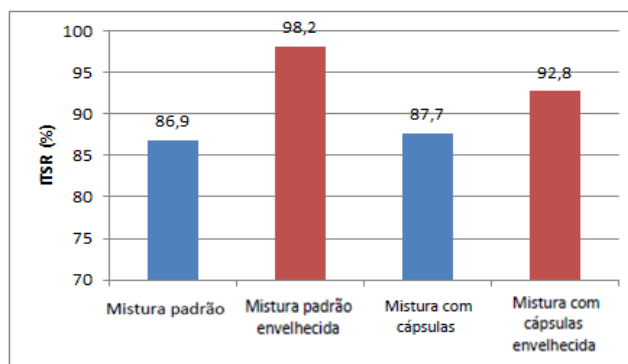


Figura 10. Resultados ensaio de módulos

Com base nos resultados dos gráficos anteriores podem-se extrair as seguintes conclusões:

- É possível a fabricação de provetes por impacto com a mistura que tem incorporadas as cápsulas, não apresentando problemas no processo de compactação.
- As misturas BBTM11B costumam apresentar um módulo a 20 °C em torno dos 3000 MPa [10], que são da ordem dos valores mostrados na Figura 10.
- Ao comparar os resultados de módulo observa-se como depois do envelhecimento, a amostra com as cápsulas apresenta um menor valor de módulo assim como um melhor valor de sensibilidade à água. Isto pode indicar que a acção do agente rejuvenescedor teve efeito.

7. CONCLUSÕES

As conclusões do estudo são apresentadas em seguida:

- A tecnologia desenvolvida resulta como uma técnica prometedora para a regeneração de um ligante envelhecido, reduzindo assim o surgimento de fissuras na estrada, sendo em definitivo uma medida para aumentar a durabilidade dos pavimentos.
- Seleccionaram-se dois tipos de rejuvenescedores, um puro e outro em emulsão, que têm a capacidade de restaurar a composição química dos betumes envelhecidos.
- O método de encapsulamento escolhido destaca-se tanto pela sua simplicidade de processo de síntese como pela sua viabilidade económica. Como meio de suporte seleccionaram-se agregados porosos que, pelo seu alto conteúdo em vazios, resultam para a função prevista.
- A capacidade de impregnação do rejuvenescedor no interior dos poros dos agregados investigados foi satisfatória, destacando o poder de absorção que oferecem dois dos substratos.
- O conhecimento e controlo de processos e os mecanismos de difusão entre rejuvenescedor e betume são uma boa aproximação para otimizar o processo de libertação do rejuvenescedor embebido no substrato poroso, afinando o processo de reabilitação preventiva de pavimentos. Para isso utilizou-se a espectroscopia de infravermelhos com transformada de Fourier com reflexão total atenuada (FTIR-ATR) para o cálculo do coeficiente de difusão entre o substrato poroso com rejuvenescedor e o betume.
- Os ensaios de difusão do rejuvenescedor no seio do betume demonstram que o rejuvenescedor se liberta, em maior ou menor quantidade dependendo do substrato a longo do tempo. A extrapolação para quantificar o tempo que se necessita para a libertação do rejuvenescedor quando as cápsulas estão expostas em condições reais é o ponto onde se está a trabalhar actualmente.
- É possível a fabricação de provetes por impacto com a mistura que contém as cápsulas incorporadas, não apresentando problemas no processo de compactação.
- Os resultados obtidos do ensaio de compressão realizado à mistura betuminosa fabricada com ligante sintético e com cápsulas, mostram que aparentemente não há rotura das cápsulas no seio da mesma.
- O protocolo de envelhecimento proposto neste ensaio é uma boa medida para avaliar o comportamento das cápsulas dentro da matriz betuminosa com o tempo.
- Segundo os resultados de sensibilidade à água e dos módulos dos provetes fabricados observa-se que depois do envelhecimento, a amostra com as cápsulas apresenta um menor valor de módulo assim como um melhor valor de sensibilidade à água. Isto parece indicar que a acção do agente rejuvenescedor teve efeito.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao “Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial” (CDTI) por ter financiado este projecto na sua convocatória do programa CIEN.

9. REFERÊNCIAS

1. Ayar, P., Moreno-Navarro, F., Rubio-Gómez, MC (2015). *The healing capability of asphalt pavements: a state of the art review*. Journal of Cleaner Production 113 (2016) 28-40.
2. Schlangen, E., Sangadji, S. (2013). *Addressing Infrastructure Durability and Sustainability by Self Healing Mechanisms - Recent Advances in Self Healing Concrete and Asphalt*. Procedia Engineering. Volume 54, Pages 39-57.
3. Van der Zwaag, S. (2007). *Self Healing Materials, an Alternative Approach to 20 Centuries of Materials Science*. Springer Series in Materials Science, Ed. Sybrand van der Zwaag, ISBN 978-1-4020-6249-0.
4. García, A., Schlangen, E., et al. (2010). *Two ways of closing crack son asphalt concrete pavements: microcapsules and induction heating*. Key Engineering Materials Vols. 417-418 (2010) pp 573-576.
5. Brownridge, J. (2010). *The role of an asphalt rejuvenator in pavement preservation: Use and need for asphalt rejuvenation*. First international conference on pavement preservation. Chapter 5. Paper 47. p. 351-364. Newport Beach CA, United States.
6. Zaumanis, M., Mallick, R.B., et al. (2014). *Influence of six rejuvenators on the performance properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) binder and 100% recycled asphalt mixtures*. Construction and Materials Buildings. Volume 71, p. 538-550.
7. Radenberg, M., Boetcher, S., et al. (2016). *Effect and efficiency of rejuvenators on aged asphalt binder – German experiences*. E&E Congress 2016. 6th Euroasphalt & Eurobitume Congress, 1-3 Junio 2016, Praga. República Checa.
8. Isacsson, U., Karlsson, R., (2003). *Application of FTIR-ATR to Characterization of Bitumen Rejuvenator Difusion*. Journal of Materials in Civil Engineering March/April 2003:157-165.
9. Huang, W., Lee, C., et al. (2010). *Morphology and Mobility Studies On Municipal Solid Waste Incineration Baghouse Ashes*. Journal of Environmental Engineering and Management, 20(2): 127-131.
10. Direcció General d'Obres Públiques, Comunitat Valenciana. (2009),. *Norma de secciones de firme de la Comunitat Valenciana*. Conselleria d'Infraestructures i Transport, Valencia.