

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE LIGANTES MODIFICADOS EM MISTURAS ANTI-FISSURAS

Teresa Carvalho, Ignacio Perez Barreno² e Vicente Perez Mena³

¹CEPSA Portuguesa, Asfaltos, Av. Columbano Bordalo Pinheiro 108 – 3º andar, 1070-067 Lisboa, Portugal

email: teresa.carvalho@cepsa.com <http://www.cepsa.pt>

²CEPSA, Asfaltos, Alcalá de Henares, Espanha

³CEPSA, Asfaltos, Alcalá de Henares, Espanha

Sumário

A fissuração é uma das patologias mais habituais presentes nos pavimentos de betão ou em misturas betuminosas muito envelhecidas. Nos pavimentos flexíveis o aparecimento deste tipo de deterioração vem associada, normalmente, à rotura por fadiga de alguma camada inferior do pavimento, devido a flexões repetidas pela passagem de tráfego.

No presente trabalho é exposta uma solução utilizando um betume modificado com polímeros de elevado desempenho e respetivos ensaios comparativos com outros ligantes, demonstrando ser uma via de sucesso no tratamento de pavimentos fissurados.

Palavras-chave: Tecnologia; Desenvolvimento; Inovação

1 INTRODUÇÃO

A fissuração é uma das patologias mais habituais nos pavimentos de betão ou em misturas betuminosas muito envelhecidas ou com bases de ligantes hidráulicos.

Nos pavimentos flexíveis, o aparecimento deste tipo de patologia vem associada, normalmente, à rotura por fadiga de alguma camada inferior do pavimento, devido às flexões repetidas pela passagem de veículos pesados. Esta rotura traduz-se no aparecimento de fissuras nas camadas inferiores do pavimento, que se transmitem à superfície, aumentando em abertura e extensão com o passar do tempo.

No caso dos pavimentos executados com ligantes hidráulicos, sejam estes rígidos ou semirrígidos, o aparecimento desta deterioração deve-se à fissuração por retração térmica, impossível de evitar, embora se consiga controlar mediante a utilização de técnicas de pré fissuração que permitam o aparecimento de fissuras mais estreitas, retilíneas e regularmente espaçadas, que os tornam menos passíveis de degradação.

O aparecimento deste tipo de deterioração, geralmente, dá lugar a uma degradação da camada de desgaste, devido ao aumento dos esforços que se vão produzindo nos limites da fissura e que conduzem a uma perda de segurança e conforto para o condutor.

Com o tempo, e adicionalmente, produz-se uma perda da estanquicidade do pavimento, com a inerente entrada de água, que poderá conduzir à degradação tanto da camada de desgaste como das camadas inferiores, diminuindo a vida útil do pavimento.

O desenvolvimento de betumes modificados de elevado desempenho, com propriedades muito superiores às dos betumes modificados habituais, permitiu o desenvolvimento de soluções que apresentam apenas uma camada com funções de antirreflexão de fissuras e de desgaste.

Os primeiros ensaios com este tipo de ligantes foram realizados no ano de 2004, na autoestrada A7 (em Espanha), que no presente apresenta um excelente aspeto. Foram aplicados 6 cm de mistura betuminosa com um conteúdo em ligante de 6,2%, mistura essa que provou ser uma boa solução, uma vez que, ao dia de hoje, se

apresenta um excelente comportamento. Posteriormente têm vindo a ser realizadas mais obras nas quais se foi reduzindo a espessura da camada, até 5 cm, sem se notar nenhuma alteração no comportamento da mistura.



Fig.1. Pavimento fissurado antes e depois do tratamento com betumes modificados de elevado desempenho

No presente trabalho são expostos os resultados do estudo sobre o comportamento face à fadiga realizado sobre ligantes distintos (um betume modificado com polímeros de elevado desempenho, um PMB 45/80-65 e um betume de borracha de alta viscosidade BBAV) e em misturas deste tipo, analisando o comportamento face à fadiga de ligantes e misturas através do ensaio EBADE, assim como a resistência à fissuração das misturas através do ensaio Fénix.

2 METODOLOGIA DE ENSAIO

Para analisar o comportamento dos materiais analisados (betumes e misturas) foram utilizados três tipos de ensaios: EBADE (nas versões adaptadas a betumes e misturas betuminosas) e o ensaio Fénix para misturas.

O EBADE é um ensaio uniaxial de tração compressão no qual se submete o provete a uma amplitude de deformação que aumenta a cada 5.000 ciclos. Por razões óbvias os níveis de deformação aplicados a betumes e misturas são diferentes. Nos betumes, durante os primeiros 5.000 ciclos aplica-se uma amplitude de deformação de 760×10^{-6} e cada 5.000 ciclos a deformação aumenta no mesmo valor.

A modalidade de ensaio em misturas segue o mesmo procedimento a cada 5.000 ciclos é de 25×10^{-6} . Ambos são realizados a uma frequência de 10 Hz.

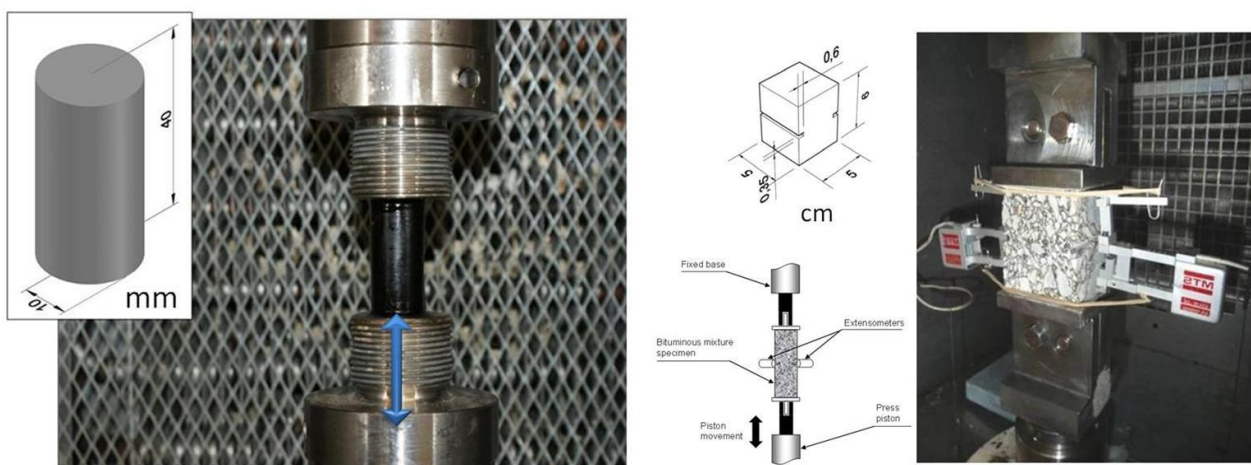


Fig.2. Montagem experimental do ensaio EBADE em betumes e misturas

Do ensaio são obtidas as curvas de evolução da amplitude da tensão, o módulo complexo e a densidade de energia dissipada (área do ciclo de histerese que se forma no plano tensão-deformação). A partir destas curvas obtém-se o módulo complexo inicial, que indica a rigidez do material e a deformação de falha, que mostra que deformação pode alcançar o material antes de colapsar por completo. Este último parâmetro fornece-nos uma medida da ductilidade. Estes dois aspetos dos materiais betuminosos têm tendências opostas, quando um aumenta o outro diminui, e na formulação destes materiais, os técnicos devem tentar maximizar ambos, encontrando um equilíbrio entre eles. Desta forma, a representação do módulo inicial face à deformação de falha proporciona uma visão geral do comportamento do material.

O ensaio Fénix é um ensaio de fratura à tração direta que permite obter vários parâmetros.

- Índice de Rigidez à Tração (IRT): Consiste no declive na primeira metade da subida da curva tensão/deslocamento e dá-nos a medida da rigidez do material.
- Energia de Fratura (GF): Trata-se da área abaixo da curva tensão/deslocamento e quantifica a energia dissipada no processo de rotura total do material.
- Índice de tenacidade (IT): calcula-se multiplicando a área abaixo da curva tensão/deslocamento a partir do pico de carga pela distância em mm desde o pico até que a carga tenha decrescido 50% do máximo. Este parâmetro dá-nos uma medida quantitativa da ductilidade do material.

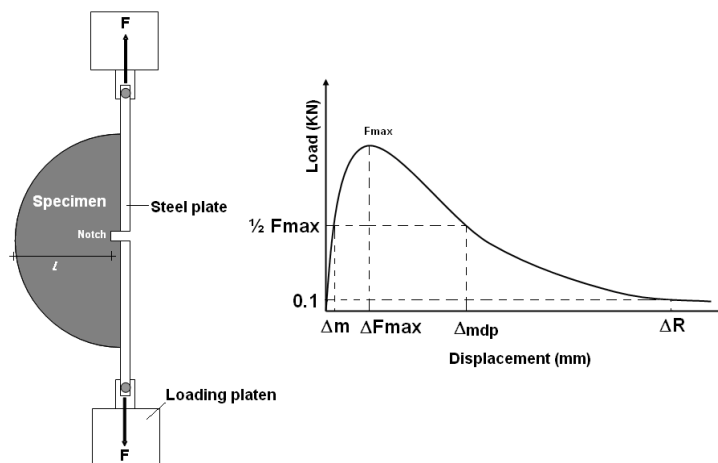


Fig.3. Esquema e exemplo da curva resultado do ensaio Fénix

Tal como no ensaio EBADE, a representação do IRT face à GT e ao IT concede uma visão geral das características da mistura e pode servir para comparar o comportamento entre diferentes misturas com diferentes propriedades.

3 ESTUDO DE BETUMES

O estudo foi realizado com três betumes diferentes, cujas propriedades são expostas no Quadro 1.

- Betume modificado com polímeros de elevadas prestações, PMB 45/80-75
- Betume modificado com polímeros convencional, PMB 45/80-65
- Betume de borracha de alta viscosidade, BBAV

Quadro 1. Propriedades dos betumes utilizados no estudo

CARATERÍSTICA	Norma	Unidade	PMB 45/80-75	PMB 45/80-65	BBAV
Penetração (25 °C; 100 g; 5s)	EN 1426	0,1 mm	55	54	37
Temperatura de amolecimento	EN 1427	°C	85,2	67,2	76,9
Recuperação elástica a 25 °C	EN 13398	%	98	88	84

Sobre estes ligantes foram realizados ensaios EBADE (10 Hz e 10, 3 e -5 °C) à razão de três provetes por ligante e por temperatura de ensaio. Para os três provetes ensaiados foram obtidos três tipos de curvas: evolução da amplitude da tensão, do módulo e da densidade da energia dissipada. Dos resultados obtidos para os três provetes obteve-se a curva média que representa o comportamento do ligante à temperatura de ensaio dada.

A partir destes resultados são obtidos dois parâmetros que serão os mais importantes na hora de caracterizar o comportamento face à fadiga dos ligantes: módulo inicial e deformação de falha.

O módulo inicial determina-se como média dos módulos calculados em cada ciclo do primeiro escalão de deformação. A deformação de falha define-se como a amplitude de deformação à qual se experimenta uma descida súbita desta variável.

Quadro 2. Valores numéricos obtidos nos ensaios EBADE em betumes

Ligante	Temperatura (°C)	Módulo inicial (MPa)	Deformação de falha
PMB 45/80-75	10	67	1.60E-02
	3	108	1.60E-02
	-5	258	1.60E-02
PMB 45/80-65	10	92	1.60E-02
	3	177	1.52E-02
	-5	361	1.37E-02
BBAV	10	96	1.60E-02
	3	157	1.60E-02
	-5	306	1.60E-02

Utilizando este procedimento, foi elaborado o Quadro 2. Dois dos ligantes, o PMB 45/80-75 e o BBAV, apresentaram ductilidades tão elevadas que foi impossível determinar a sua deformação de falha nos ensaios EBADE, inclusivamente a -5 °C. Por conseguinte, os valores de deformação de falha que são apresentados no Quadro 2 e a figura 4 são inferiores aos valores reais.

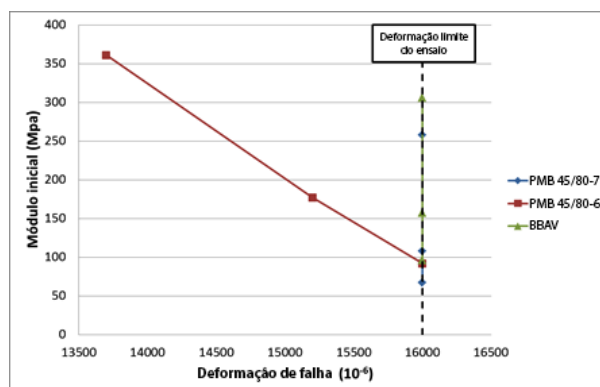


Fig.4. Deformação de falha vs módulo inicial para ligantes de alto módulo

Este tipo de gráfico permite comparar o comportamento de vários ligantes a diferentes temperaturas tendo em conta tanto a sua ductilidade como a sua rigidez.

O ligante PMB 45/80-65 foi o único que experimentou uma maior rigidez, uma vez que foi o que maior aumento do módulo apresentou ao baixar a temperatura de ensaio. Isto implica que, dos três ligantes estudados, o PMB 45/80-65 foi o mais suscetível à temperatura. Ao contrário, o PMB 45/80-75 foi o que apresentou um menor módulo às três temperaturas, o que demonstra a sua maior ductilidade e menor sensibilidade à descida da temperatura. À priori, isto indicaria que é o ligante mais adequado para minimizar e/ou retardar o aparecimento de fissuras na camada superior do pavimento, seja por retração térmica ou por reflexão das fissuras existentes na camada inferior.

4 ESTUDO DAS MISTURAS

Uma vez analisado o comportamento face à fadiga dos ligantes, fabricaram-se misturas com estes três ligantes. Estudou-se o comportamento à fadiga destas misturas através do ensaio EBADE (10 Hz e 10, 3 e -5 °C) na sua versão adaptada a misturas e a sua resistência à fissuração através do ensaio Fénix.

O objetivo era corroborar o fato dos ligantes obtidos em betumes é replicado nas misturas betuminosas com estes fabricadas, e que estas mesmas misturas não só apresentam um bom comportamento face à fadiga como também são resistentes à fissuração.

Para o estudo do comportamento em misturas utilizou-se uma granulometria do tipo “anti fissuras rugoso”, utilizado habitualmente para este tipo de soluções com um conteúdo de ligantes de 6,2 %.

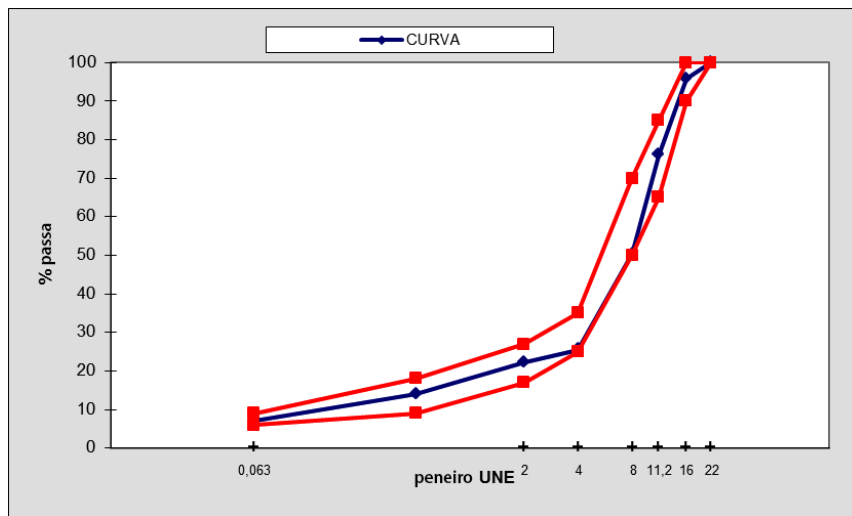


Fig.5. Granulometria utilizada

As densidades e os vazios médios dos provetes fabricados mediante compactação por impacto a 75 golpes por face com os três betumes foram muito similares, de forma que qualquer diferença no comportamento das misturas foi devida às propriedades do betume que a compunha. Os valores são apresentados no quadro seguinte:

Quadro 3. Densidades e vazios dos provetes ensaiados

	Baridade relativa aparente (gr/cm ³)	Baridade geométrica (gr/cm ³)	Vazios teóricos (%)
PMB 45/80-75	2,360	2,247	4,2
PMB 45/80-65	2,359	2,235	4,2
BBAV	2,332	2,234	5,4

4.1 Ensaio EBADE

Enquanto que para os ensaios EBADE nos betumes os módulos do PMB 45/80-65 e do BBAV foram semelhantes a 10 °C, as misturas fabricadas com estes mostram resultados diferentes. O módulo da mistura fabricada com o BBAV foi 19% superior ao da mistura fabricada com o PMB 45/80-65, esta diferença foi menor a 3 °C, e a -5 °C foi a mistura fabricada com o PMB 45/80-65 a que obteve um módulo ligeiramente superior. Porém, onde se notou uma maior diferença da tendência do comportamento foi na deformação de falha. A mistura com o ligante BBAV obteve deformações de falha muito inferiores às obtidas pelo resto das misturas, tanto a 10 como a 3 °C. A -5 °C as diferenças foram menores.

Quadro 4. Parâmetros obtidos nos ensaios EBADE

Misturas	Temperatura (°C)	Módulo inicial (MPa)	Deformação de falha (µm/m)
PMB 45/80-65	10	6619	525
	3	8737	375
	-5	13103	325
PMB 45/80-75	10	5492	625
	3	7044	375
	-5	12107	325
BBAV	10	8171	225
	3	9307	225
	-5	11438	225

A Figura 6 mostra como claramente a mistura fabricada com o ligante PMB 45/80-75 apresenta uma maior ductilidade a 10 °C. No entanto, as deformações de falha da mistura fabricada com o PMB 45/80-65 tanto a 3 como a -5 °C são iguais, sendo o módulo inicial da mistura PMB 45/80-65 ligeiramente superior. Mesmo que as deformações de falha das duas misturas sejam semelhantes, o maior módulo da mistura PMB 45/80-65 indica que esta apresenta uma rigidez maior. Isto repercutir-se-ia negativamente na capacidade desta mistura evitar a propagação de fissuras, referente à mistura fabricada com o PMB 45/80-75. Relativamente à mistura fabricada com o ligante BBAV não variou a sua deformação com a temperatura e foi, claramente, inferior ao resto das misturas a todas as temperaturas.

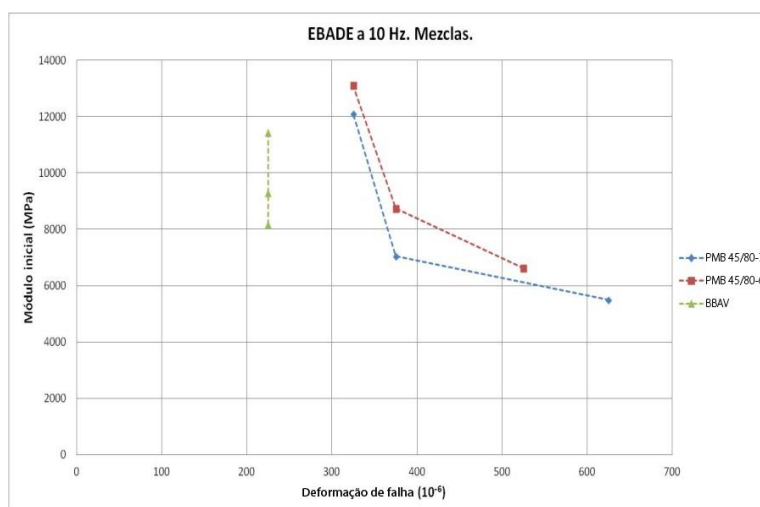


Fig.6. Representação gráfica dos parâmetros obtidos nos ensaios EBADE nas misturas

4.2 Ensaio Fénix

Na Figura 7 mostra-se, claramente, o que se observou nos resultados obtidos nos ensaios EBADE. A mistura fabricada com o PMB 45/80-75 é a mais dúctil das três misturas, enquanto que a mistura fabricada com o PMB 45/80-65 apresenta uma resistência à tração maior, mantendo uma ductilidade elevada. Relativamente à mistura fabricada com o ligante BBAV, adquiriu uma rigidez muito elevada como mostra a sua baixa energia de fratura (GF) e o seu baixo índice de tenacidade (IT) em comparação com as outras duas misturas.

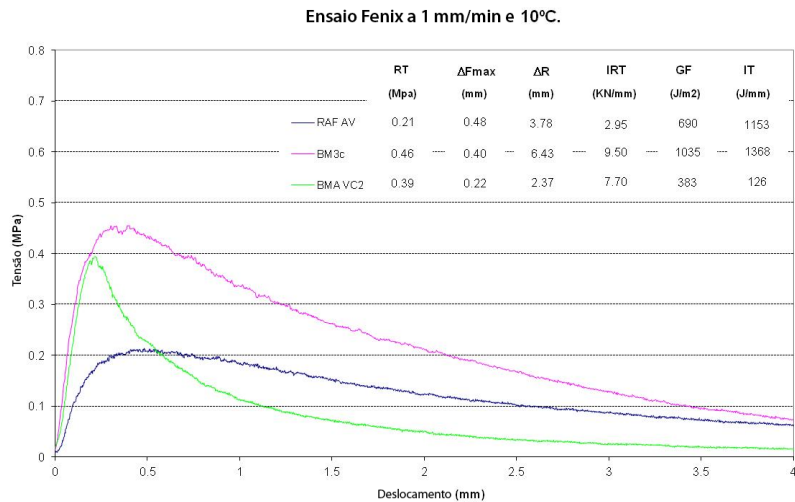


Fig.7. Curvas tensão/deslocamento obtidas nos ensaios Fénix a 10 °C

Quadro 5. Parâmetros obtidos nos ensaios Fénix

	Temperatura (°C)	IRT (KN/mm)	GF (J/m ²)	IT (mN)
PMB 45/80-65	20	4	751	1461
	10	9	1017	1383
	-5	16	1050	293
PMB 45/80-75	20	3	311	599
	10	9	492	594
	-5	14	803	307
BBAV	20	6	244	150
	10	8	372	112
	-5	15	796	72

Dos parâmetros obtidos nos ensaios Fénix observa-se a mesma tendência obtida nos ensaios EBADE, Quadro 5. A mistura fabricada com o PMB 45/80-75 é a que apresenta uma maior ductilidade e a mistura fabricada com o ligante BBAV foi a que adquiriu uma maior rigidez. A mistura fabricada com o ligante PMB 45/80-65, ao apresentar uma ductilidade similar à da mistura PMB 45/80-75 e ao ter um maior módulo, obteve resultados melhores nos ensaios Fénix de fissuração. Porém, a mistura fabricada com o PMB 45/80-75 foi a que apresentou uma menor variação dos seus parâmetros com a temperatura, sendo a que maior ductilidade mostrou à temperatura mais baixa.

5 CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos retiveram-se as seguintes conclusões:

- No que se refere aos ensaios realizados nos ligantes, o PMB 45/80-75 foi o único que apresentou um decréscimo da deformação de falha com a temperatura, medido através do ensaio EBADE. Para além disso, o seu incremento de módulo com a diminuição da temperatura foi superior ao resto, indicando assim, uma maior sensibilidade à temperatura. Tanto o PMB 45/80-75 mantiveram a sua deformação de falha acima do limite de medição do ensaio EBADE a todas as temperaturas, no entanto o BBAV apresentou módulos significativamente superiores.
- Das misturas estudadas, a mais dúctil foi fabricada com o ligante PMB 45/80-75, que a posicionaria como a melhor opção para evitar a propagação de fissuras à camada superior do pavimento. A mistura

fabricada com o PMB 45/80-65 obteve resultados similares nos parâmetros que medem a ductilidade, no entanto os seus parâmetros de rigidez foram mais elevados, indicando que esta mistura é mais sensível face à alteração da temperatura.

· O procedimento de fabrico e/ou a interação do betume com os agregados afetou a ductilidade do ligante BBAV. Enquanto que nos ensaios efetuados em betumes se obteve valores similares aos do ligante PMB 45/80-75, a mistura fabricada com este ligante mostrou valores para a energia de fratura inferiores, menores índices de tenacidade e menores deformações de falha, o que indica que a sua ductilidade se viu reduzida drasticamente. Portanto, das três misturas estudadas, esta seria a menos adequada para ser utilizada como misturas anti fissuras.

6 REFERÊNCIAS

1. Perez, I.; A. García; J.A. Soto. *Técnicas de rehabilitación de pavimentos fisurados. IV Jornada Nacionales de Asefma, 2009.*
2. Perez-Jimenez, F.; Valdes, G.; Botella, R.; Miro, R. & Martinez, A. *EBADE procedure: A new method to asses fatigue behaviour of asphalt mixtures. Revista De La Construccion, 2011, 10, 55-65*
3. Botella, R.; Pérez-Jiménez, F. E. & Miro, R. *Application of a strain sweep test to assess fatigue behavior of asphalt binders Construction and Building Materials, 2012, 36, 906-912*
4. Perez Jiménez, F. E.; Valdés, G.; Miró, R.; Martínez, A. & Botella, R. *Fénix Test: Development of a New Test Procedure for Evaluating Cracking Resistance in Bituminous Mixtures Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2010, 2181, 36 - 43*