

# MISTURAS BETUMINOSAS ADAPTADAS ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Hélio Nunes<sup>1</sup>, Francisco Lucas<sup>2</sup> e Alberto Bardesi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Repsol Portuguesa, S.A., Lisboa, Portugal  
Email: hnunes@repsol.com <http://www.repsol.com>

<sup>2</sup>Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A., Madrid, Espanha  
Email: fjucaso@repsol.com <http://www.repsol.com>

<sup>3</sup>Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A., Madrid, Espanha  
Email: abardesio@repsol.com <http://www.repsol.com>

---

## Sumário

As alterações climáticas e as suas nefastas consequências obrigam a uma pronta acção no sentido de minimizar a sua ocorrência. Neste esforço a indústria da pavimentação introduziu novas técnicas que visam principalmente a produção de misturas betuminosas a temperaturas inferiores às tradicionais misturas betuminosas a quente, com inerentes ganhos ao nível da poupança energética e de recursos, bem como, a redução do nível de emissões gasosas para a atmosfera. No presente trabalho apresentam-se e descrevem-se as técnicas utilizadas, e comentam-se os resultados promissores que as permitem considerar como as soluções do futuro numa perspectiva ambiental.

---

**Palavras-Chave:** Misturas betuminosas; Meio ambiente; Energia; Eficiência

## 1. INTRODUÇÃO

Poucas vezes uma técnica relacionada com as misturas betuminosas despertou tanto interesse nos últimos anos como as Misturas a Baixas Temperaturas. A principal razão para tal é a consciencialização que se está a desenvolver no sentido de dar cumprimento ao Protocolo de Kyoto no que concerne à redução de emissões em todas as indústrias.

A problemática instalada a nível mundial sobre as Alterações Climáticas, as emissões de CO<sub>2</sub> e as energias alternativas face à possível diminuição das reservas de energias fósseis conduziu a que os fabricantes de misturas betuminosas, as Autoridades Rodoviárias e as empresas fabricantes de ligantes hidrocarbonados, a recomendar e desenvolver uma série de produtos e técnicas de fabricação com as quais seja possível trabalhar as misturas betuminosas a temperaturas mais baixas que as convencionais, o que seria impensável num passado relativamente recente.

Ao longo deste artigo poderá constatar-se no que consistem estas técnicas e os diferentes aditivos plausíveis de se utilizar para tornar possível trabalhar-se a cerca de 20°C a 30°C abaixo das temperaturas habituais para as misturas convencionais.

É cada vez maior o envolvimento das empresas em todos os temas relacionados com a poupança energética, diminuição de emissões, saúde no trabalho, etc., de tal forma que seja qual for o tipo de indústria se observa ao detalhe qualquer produto ou técnica para evitar efeitos nocivos sobre o meio ambiente e a segurança das pessoas.

Em virtude desta situação surgiu na tecnologia das misturas betuminosas um amplo leque de possibilidades para poder produzi-las em condições mais favoráveis relativamente à redução de consumo energético e emissões de gases que provocam o efeito de estufa. Referimo-nos à aparição de betumes aditivados que permitem reduzir a temperatura habitual até 40°C.

Será quantificada a poupança energética em função dos tipos de aditivos, e quais as misturas que reduzem mais as emissões gasosas ou aquelas que reduzem mais significativamente os riscos laborais. Está-se em presença de

um processo sem retorno mas ter-se-á que avaliar ao detalhe cada caso, não só do ponto de vista económico como também do ponto de vista ambiental. Serão as diferentes Autoridades Rodoviárias que deverão ser responsáveis por impulsionar estas técnicas com implementação de projectos que prescrevam a sua utilização.

## 2. SISTEMAS PARA REDUÇÃO DA TEMPERATURA DE FABRICAÇÃO E APLICAÇÃO DAS MISTURAS BETUMINOSAS EM OBRA.

A grande agitação e interesse que despertou a redução da temperatura de fabricação das misturas betuminosas, com a conseqüente poupança energética e a diminuição de emissões gasosas com influência negativa no denominado efeito de estufa, deu lugar a uma série de produtos, novas técnicas de fabricação e inclusivamente recuperação de outras antigas, como as misturas betuminosas com emulsão betuminosa, que pelo seu carácter “eco-eficiente” podem, num futuro próximo, recuperar parte de seu protagonismo em determinadas vias rodoviárias.

Esta diminuição do consumo energético e das emissões gasosas pode ser conseguida por diferentes vias:

- Adituação do betume;
- Espuma de betume;
- Incorporação de materiais específicos no processo de mistura;
- Modificação das técnicas de fabricação da mistura;
- Misturas com emulsão betuminosa em centrais a quente. Misturas temperadas;
- Misturas a frio;
- Reciclagem de pavimentos.

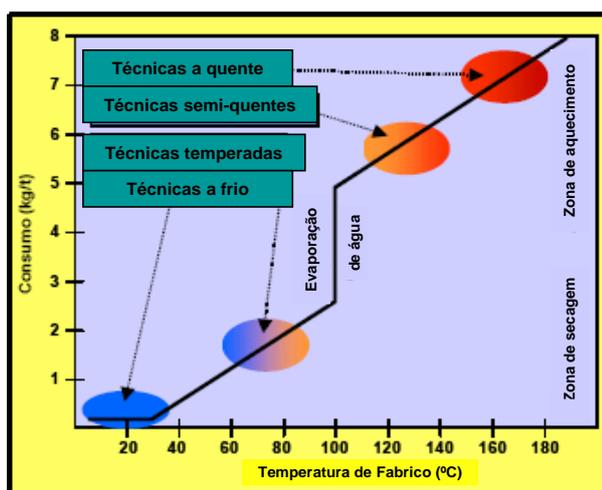


Figura 1 – Classificação das misturas betuminosas em função da temperatura de produção.

Fonte: “Mezclas Bituminosas a Baja Temperatura” Revista Carreteras, nº159, 2010

As misturas com as quais é possível diminuir o consumo energético e a taxa de emissões podem ser:

- Misturas Semi-quentes (100°C < T < 140°C)
- Misturas Temperadas (60°C < T < 100°C)
- Misturas a Frio (T = Temperatura ambiente)

Os objectivos que se pretendem atingir com o fabrico deste tipo de misturas são de índole:

### a) Ambiental:

- Poupança energética;
- Diminuição das emissões gasosas.

### b) Segurança e Higiene no Trabalho :

- Melhores condições de trabalho, segurança e saúde;
- Ausência/diminuição de partículas em suspensão.

### c) Qualidade:

- Misturas mais uniformes (menor segregação);
- Melhor trabalhabilidade (juntas, compactação, etc.);

- Menor envelhecimento dos ligantes.
- d) Económica:
- Menor gasto em conservação das instalações;
  - Ampliação do período de aplicação;
  - Aumento do tempo de armazenamento;
  - Redução do consumo de combustíveis.

### 3. MISTURAS SEMI-QUENTES

#### 3.1 Misturas semi-quentes mediante aditivação betume (secas, sem incorporação de água no sistema)

Eventualmente uma das formas mais fáceis de trabalhar para o produtor de misturas betuminosas é dispor de um betume, já preparado, com o qual possa fabricar este tipo de misturas sem necessidade de proceder a alterações na central. Actua-se apenas na diminuição da temperatura dos agregados entre 20°C e 50°C.

Existem diferentes tipos de aditivos, alguns sujeitos a patentes, que actuam sobre a viscosidade do betume ou na interface betume/agregado como:

- Aditivos químicos
- Ceras

Dentro dos aditivos químicos encontram-se produtos que, em pequenas proporções, 0,2 % - 0,3 % s/b, e sem modificar a viscosidade do betume nem as suas características empíricas (penetração,  $T_{A\&B}$ , etc.) e reológicas actuam na interface betume/agregado aumentando a fluidez da mistura. Em geral, a incorporação destes produtos no betume é fácil, conseguindo-se com uma pequena agitação ou, inclusivamente, diluindo em linha durante a carga de cisternas.

Há outros aditivos compostos por misturas de ceras parafínicas sintéticas, resinas de hidrocarbonetos, polímeros termoplásticos e inibidores de oxidação dos denominados químicos que modificam a viscosidade do betume, o que permite manusear este a menor temperatura, sendo exequível a compactação da mistura mesmo abaixo dos 100°C. Também é possível incorporar estes aditivos por via seca com recurso a um equipamento móvel de dosificação automática na central de betuminosos.

Outros produtos que permitem reduzir a viscosidade do betume são as ceras. Há diferentes tipos: naturais, parafínicas, não parafínicas 100 % sintéticas e não parafínicas parcialmente sintéticas, aminas de ácidos gordos, etc. Ao baixar-se a viscosidade do ligante consegue-se por inerência a redução das temperaturas durante os processos de mistura e de compactação em cerca de 20°C mantendo, no entanto, a viscosidade original à temperatura de serviço.

No gráfico da Figura 2 pode-se constatar a diminuição da viscosidade do betume com aditivo em comparação com um betume 50/70 convencional. Observa-se que a partir dos 90°C há uma alteração de tendência na curva de viscosidade, graças à qual se pode trabalhar a mistura a temperaturas mais baixas.

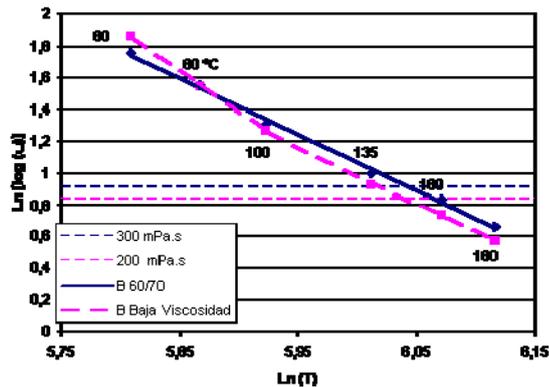


Figura 2 – Relação viscosidade/temperatura do betume convencional e betume com aditivo  
 Fonte: Dados Repsol

### 3.1.1 Vantagens ambientais das misturas semi-quentes

Dependendo do tipo de aditivo utilizado podem-se avançar alguns valores de diminuição de emissões gasosas, descritos seguidamente:

Quadro 1 - Emissões gasosas, mistura a quente vs. mistura semi-quente (Fonte: Dados Repsol)

|                                 | Mistura a Quente<br>160°C – 175°C | Mistura Semi-quente<br>100°C – 130°C | Diferença/Variação |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Temperatura dos gases (°C)      | 66,0                              | 50,0                                 | - 25 %             |
| CO <sub>2</sub>                 | 2,12                              | 1,59                                 | -20 % a -25 %      |
| NO <sub>x</sub>                 | 26,8                              | 21,5                                 | -15 % a -25 %      |
| CO                              | 217,0                             | 152,0                                | -25 % a -30 %      |
| SO <sub>2</sub>                 | -                                 | -                                    | -15 % a -20 %      |
| Pó coberto (mg/m <sup>3</sup> ) | 168                               | 21                                   | -80 % a -90 %      |
| COV                             | -                                 | -                                    | -18 % a -22 %      |

Segundo o quadro anterior pode constatar-se uma importante poupança de energia em virtude da redução da temperatura de produção e uma diminuição considerável não só das emissões gasosas mas também do pó gerado na central.

### 3.1.2 Estudo das misturas semi-quentes secas, em laboratório

Os ensaios em laboratório para a elaboração destas misturas são os mesmos que são utilizados para as misturas convencionais: sensibilidade à água, deformações plásticas, porosidade, densidades, etc.

Haverá que ter em conta no momento de fabricar os provetes, a temperatura recomendada de fabricação e de compactação para se aproximar o mais possível às condições da obra. O compactador giratório fornece uma boa informação relativamente à compacidade alcançada segundo os ciclos e as temperaturas de compactação. Os resultados devem ser, como mínimo, similares aos obtidos com os betumes convencionais às temperaturas tradicionais de fabricação, 160°C.

Neste tipo de misturas e como consequência da variação, nalguns casos, da viscosidade do betume aditivado e, por conseguinte da sua trabalhabilidade, os provetes Marshall devem ser fabricados a diferentes temperaturas de mistura e de compactação, função da curva teórica obtida em laboratório e da percentagem de betume necessária.

### 3.1.3 Fabricação e aplicação em obra das misturas semi-quentes secas

Uma vez realizado o estudo em laboratório deve preparar-se a central para adaptar os queimadores à temperatura que se pretendam aquecer os agregados e que será a temperatura final, aproximada, da mistura. Os aditivos devem ser incorporados no betume, preferencialmente, nos pontos distribuidores para que a dissolução seja

homogénea. O transporte para a obra deve ser realizado num transporte convencional à temperatura recomendada pelo fabricante.

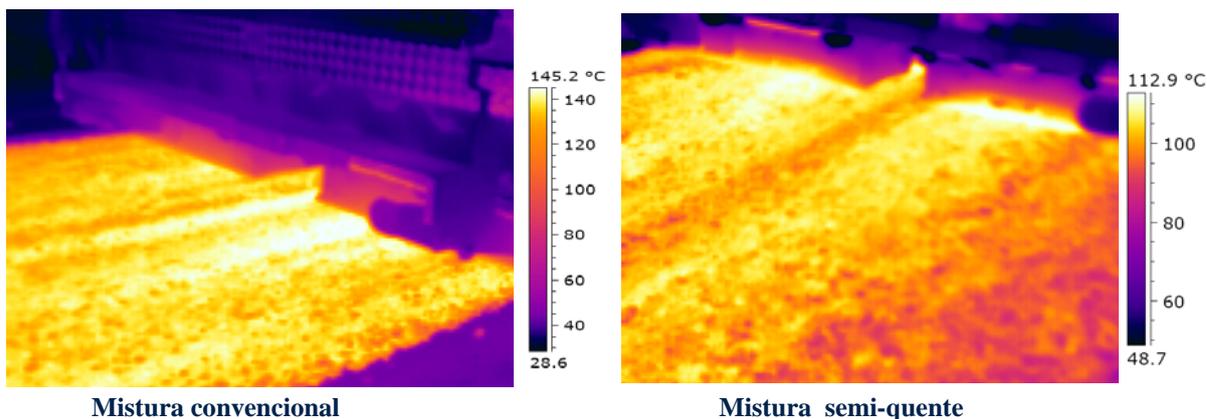


Figura 3 – Imagens de termo-análise na aplicação de misturas betuminosas  
Fonte: Arquivos Repsol e Constructora Hormigones Martínez

O equipamento utilizado na compactação é o convencional cilindro de rolos com vibração em ambos os cilindros, e o compactador de pneus. Aquando da aplicação em obra, avaliar-se-á através de um trecho experimental prévio, a temperatura mínima à qual se deve compactar para se conseguirem as características da mistura de acordo com o obtido em laboratório no que se refere à porosidade e à densidade.

Deve ser realizado um controlo de qualidade o mais exaustivo possível, sendo conveniente realizar ensaios e comprovações de:

- Temperatura de mistura em central;
- Percentagem de ligante, granulometria e porosidade;
- Módulo, fadiga, deformações plásticas;
- Recuperação de ligante;
- Evolução da temperatura de compactação e das densidades *in situ*;
- Extração de carotes para estudo.

### 3.2 Misturas semi-quentes mediante a adição de pequenas quantidades de água (Húmidas)

Existe um grupo de misturas semi-quentes que, para reduzir a temperatura de fabricação e aplicação, empregam pequenas quantidades de água na sua composição. Diferenciam-se assim das misturas semi-quentes secas, que não contém na sua composição água, e das misturas temperadas, que empregam na sua composição emulsão betuminosa.

Foi julgado conveniente descrever estas técnicas de produção de misturas em separado devido a que a maioria destas correspondem a técnicas patenteadas, essencialmente de origem francesa.

#### - Mediante o emprego de fileres hidrofílicos:

Apesar de não ser o único, o mais difundido é a zeolite (aluminossilicato). O seu uso é conhecido desde meados dos anos 90, na Alemanha. Actualmente as zeolites sintéticas mais conhecidas são as denominadas Aspha-min, utilizadas pela empresa Eurovía e Advera, da PQ Corporation.

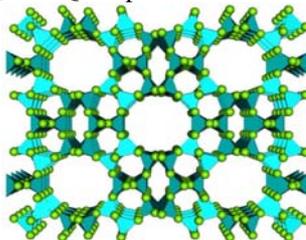


Figura 4 – Estrutura da zeolite sintética  
Fonte: “Mezclas Bituminosas a Baja Temperatura” Revista Carreteras, nº159, 2010

Esta zeolite sintética contém na sua forma cristalina cerca de 20 a 25% de água, pelo que ao adicionar-se em pequenas quantidades, 0,3% s/a aos agregados quentes, próximos dos 130°C, imediatamente antes do processo de envolvimento, libertam a água em forma de vapor. Produz-se desta forma um efeito espumado, aumentando o volume do ligante, o que permite o envolvimento a temperaturas mais baixas que as habituais. Com este sistema consegue-se reduzir a temperatura de aplicação da mistura entre 20 a 30°C, o que pode pressupor uma poupança de 1 a 3 litros de fuel por tonelada de mistura produzida, podendo representar 20 a 30% do consumo total de uma mistura a 160°C.

#### **- Mediante a incorporação de agregados húmidos no misturador**

O método mais difundido é o de mistura sequencial com o espumar induzido do ligante mediante o emprego de agregados húmidos. Este procedimento é conhecido como LEA (Low Energy Asphalt), e está patenteado pelo grupo francês Appia-Eiffage.

Por sua vez, este método têm três versões diferentes:

O método EBE, a primeira variante do LEA, que consiste em secar e aquecer a 140° os agregados grosseiros e fracção das areias. Em seguida envolvem-se com betume injectado a 170°. Posteriormente, adiciona-se a restante fracção fina, fria e húmida, induzindo o espumar do ligante o que facilita o envolvimento da areia fria, atingindo-se uma temperatura final de 100°C, mantendo a mistura uma humidade residual que facilita a trabalhabilidade necessária para a sua aplicação em obra.

Outra variante, é o método EBT, no qual se aquece todo o agregado até aos 100°C, o que pressupõe que não está totalmente seco. Não obstante pode incorporar-se água para levar o sistema a uma humidade da ordem de 1 a 1,5%, que assegure o posterior espumar do ligante. Em seguida, introduz-se o betume a 170°C e forma-se a espuma que permite o envolvimento do agregado. A mistura assim produzida termina a uma temperatura de cerca de 95°C, mantendo esta uma humidade residual que proporciona a trabalhabilidade necessária para a aplicação em obra.

Para finalizar este grupo de técnicas, o método EBT-2, que se trata de uma variante da anterior, onde se secam os agregados grosseiros e parte da areia com temperaturas até 130 a 150°C. Posteriormente, introduz-se a areia húmida para que a mistura se aproxime dos 100°C. Incorpora-se o betume a 170°C, formando-se a espuma que permite o envolvimento dos agregados.

Em princípio, estes sistemas podem ser utilizados em qualquer tipo de central, contínua ou descontínua, às quais se deverá adaptar uma linha para a introdução da água. Deve ter-se em conta que complementarmente é necessário regular os queimadores para poder ajustar as temperaturas dos agregados, consideravelmente abaixo das temperaturas habituais de trabalho. A temperatura final da mistura é inferior a 100°C e apresenta um aspecto similar a uma mistura a quente convencional mas sem emissão de fumos.

A destacar a boa trabalhabilidade destas misturas durante a aplicação e especialmente nas zonas de juntas, um dos aspectos mais críticos na execução de pavimentos betuminosos. A energia de compactação será algo superior à convencional para se conseguir expulsar a água residual. Isto consegue-se com um aumento do número de passagens com o compactador de pneus. Após a aplicação em obra as misturas apresentam características mecânicas próximas aos seus valores definitivos, e a sua humidade residual é inferior a 0,5%.

#### **- Incorporação directa de espuma betume**

Trata-se de uma técnica relativamente antiga, datada dos anos 50, bastante utilizada em alguns países como a África do Sul e o Canadá, mas que na Europa, e mais concretamente em Portugal e Espanha é uma técnica que continua praticamente num estágio de experimentação.

Esta técnica tem-se utilizado preferencialmente na reciclagem de pavimentos e na estabilizações de solos, em sistemas que podem ser considerados praticamente de misturas a frio.

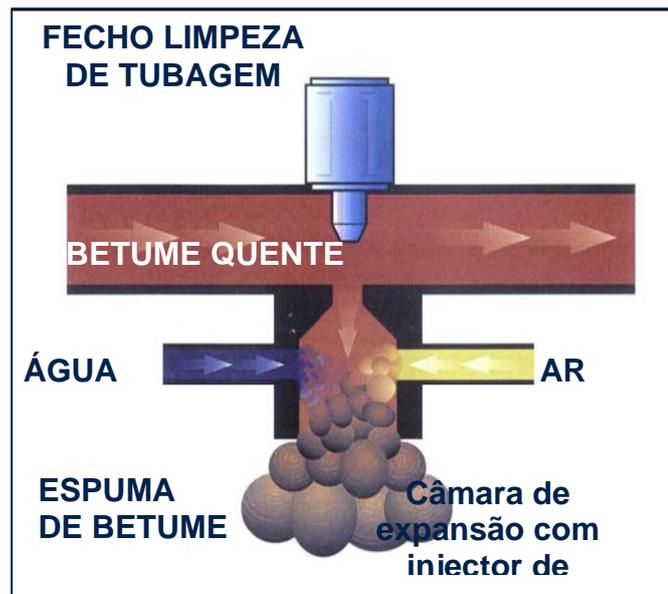


Figura 5 – Processo de produção de espuma betume (Fonte: Arquivo Repsol)

O processo do espumar do ligante é aparentemente simples e produz-se ao injectar, sob pressão, água em pequenas quantidades, aproximadamente 2% sobre o betume quente. À saída da tubagem condutora, o betume expande-se aumentando o seu volume cerca de 15 vezes, produzindo-se a espuma deste com a qual facilmente se consegue envolver os agregados.

A efectividade do processo de formação de espuma avalia-se através de 3 parâmetros, a saber:

- A taxa de expansão máxima, que corresponde à expansão volumétrica máxima;
  - A relação de expansão, que é a relação existente entre o volume máximo alcançado pela espuma e o inicial do betume depois de um tempo definido;
  - A vida média, que é o tempo, em segundos, que demora a espuma a perder 50% do volume máximo alcançado.
- Os valores típicos deste último parâmetro costumam situar-se entre 40 e 60 s. Mede a estabilidade da espuma.

Estes parâmetros são influenciados pela natureza do betume, a temperatura deste durante o processo, a percentagem de água adicionada e os aditivos eventualmente utilizados na água e/ou no betume. Quanto maior for o tempo de expansão, melhor será a mistura com os agregados.

Foi possível verificar que a adição de cal hidratada ou de cimento melhora consideravelmente a resistência à água das misturas fabricadas com espuma betume.

#### 4. MISTURAS TEMPERADAS

Conforme já mencionado, estamos perante processos nos quais se produzem as misturas em que os agregados não sejam aquecidos acima dos 100°C. Estas misturas têm temperaturas de aplicação em obra, normalmente compreendidas entre os 60°C e os 90°C. Neste caso, não existe uma variedade de soluções tão ampla como no caso das misturas semi-quentes e, de facto, a experiência espanhola concentra-se nas misturas temperadas nas quais o ligante empregue é uma emulsão. Assim, as misturas temperadas podem ser diferenciadas das misturas semi-quentes húmidas, porque nas primeiras é necessário que o ligante utilizado seja uma emulsão betuminosa e, para as segundas, são efectuadas adições de pequenas quantidades de água.

Fazendo um pouco de história, as misturas temperadas com emulsão betuminosa começaram a ser utilizadas nos anos 80, nalgumas zonas geográficas, especialmente húmidas, para mitigar os problemas de cura das misturas abertas a frio, e também para a reparação de misturas drenantes a quente.

Obtêm-se realizando a mistura numa central convencional a quente, com agregados a uma temperatura entre 85°C e 110°C, e uma emulsão betuminosa como ligante. O objectivo é conseguir, de uma forma fácil e sem modificações na central, uma mistura que acumule parte das vantagens das misturas a frio e das misturas a quente, que a seguir se descrevem:

- Das misturas a quente
- Poder fabricar-se numa central a quente com um consequente maior controlo das dosificações do que nas centrais de produção misturas a frio.
- Conseguir uma coesão inicial importante diminuindo os tempos de maturação graças à formulação específica da emulsão.
- Permitir o envolvimento a 100% como consequência da temperatura de fabricação e maior limpeza dos agregados.
- Alcançar misturas com características mecânicas praticamente idênticas ao ensaio Cantabro nas misturas drenantes, e ao módulo dinâmico em reciclagens e misturas fechadas.
  
- Das misturas a frio
- Dispor de misturas mais flexíveis.
- Dispor da capacidade de armazenabilidade.
- Diminuir o consumo de combustível na fabricação da mistura.
- Reduzir consideravelmente as emissões gasosas para a atmosfera.

O processo em princípio não requer nenhuma modificação na central de produção de misturas a quente. Mas ter-se-á que se disponibilizar um tanque para a emulsão, preferencialmente com aquecimento para manter a temperatura da emulsão adequada em caso de armazenagem da mesma. Também será necessária uma mangueira de ligação do referido tanque ao misturador, com a única precaução de que a emulsão não circule por nenhuma tubagem aquecida da central (temperatura > 100°C). Uma diferença básica face às misturas a frio é que a rotura da emulsão se produz no interior do misturador ao contactar com os agregados quentes. A trabalhabilidade mantém-se garantida devido à baixa viscosidade do ligante relativamente a uma mistura a quente e uma determinada humidade residual da mistura.

Há que estabelecer a separação deste tipo de misturas temperadas, em misturas temperadas abertas e misturas temperadas fechadas. A granulometria condiciona a funcionalidade da mistura e, a técnica associada a umas ou outras é completamente diferente, assim como a sua fabricação e aplicação em obra.

#### **4.1 Misturas temperadas abertas**

O fuso granulométrico mais utilizado é o que corresponderia aproximadamente ao PA-11, apesar de também se terem utilizado granulometrias correspondentes aos antigos AF-10 e AF-12, incrementando ligeiramente o passado pelo peneiro 2 mm. Relativamente ao ligante, corresponde habitualmente a emulsões de rotura média, sendo usual a modificação das mesmas.



Figura 6 – Aspecto de uma mistura temperadas aberta (Fonte: Arquivo Repsol)

Para a sua formulação em laboratório, combinam-se os ensaios típicos para as misturas a frio com os ensaios típicos das misturas drenantes a quente, realizando-se as perdas em húmido e em seco após o ensaio Cántabro depois de um processo de cura em estufa com duração de 48h, a 75°C. Após o momento em que não se produza escorrimento, dever-se-á continuar a cura durante 5 dias, a 90°C e, posteriormente, deixando-as arrefecer antes de romper no Cántabro. As perdas não devem ser superiores a 20% em seco e a 30% após imersão. Os conteúdos de emulsão usuais para este tipo de misturas situam-se entre 6,5 e 7%.

#### **4.2 Misturas temperadas fechadas**

Até à relativamente pouco tempo não se tinha começado a avaliar a fundo as possibilidades desta técnica com recurso a texturas fechadas.

Estas misturas têm por objectivo melhorar os inconvenientes da colocação em serviço das misturas tradicionais a frio, ou seja, melhorar ostensivamente os tempos de cura relativamente aquelas, e igualmente dispor das boas características de módulo que é reconhecido às misturas a quente. Para isso é necessária a adopção de emulsões especiais, com alta concentração de betume e cuja penetração do betume residual seja reduzida. Este tipo de emulsões requer processos de produção específicos, e conseqüentemente um elevado domínio das técnicas de fabricação de emulsões pois implica um processo complexo no qual intervém a química decisivamente.

As temperaturas requeridas aos agregados para este tipo de misturas temperadas fechadas, nalguns casos poderão situar-se acima dos 100°C para assegurar um correcto envolvimento dos mesmos. Em virtude deste facto considerar como único elemento de discriminação a temperatura dos agregados para diferenciar misturas temperadas de misturas semi-quentes, especialmente as húmidas, não parece ser o mais adequado.

A tendência tem sido utilizar granulometrias do tipo S (semi-densa) com uma emulsão sem fluidificantes que não condicionará nem a compactação e nem as primeiras horas de serviço da mistura. Do ponto de vista operacional, as duas tendências podem ser de:

- Aquecer o agregado abaixo dos 100°C
- Aquecer o agregado acima dos 100°C

No primeiro caso, trata-se efectivamente de uma mistura temperada já que a mistura obtida terá temperatura abaixo dos 100°C. No segundo caso, com o agregado a 110°C-120°C, e uma emulsão a 70°C-80°C, a mistura resultante estará necessariamente acima dos 100°C, produzindo-se espuma encoberta pela água da emulsão, idêntica aos sistemas semi-quentes com adição de pequenas quantidades de água ou húmidos. Para além da denominação das técnicas, que requererá a supervisão das instancias técnicas das entidades responsáveis pelas estradas, o fundamental para os intervenientes será conhecer a existência destas técnicas, como se desenvolvem e como se aplicam.



Figura 7 – Aspecto de uma mistura temperadas fechada (Fonte: Arquivo Repsol)

Com estas misturas a temperatura de aplicação deverá ser sempre superior aos 60°C para garantir a sua trabalhabilidade. Aqui a fórmula de trabalho deverá contemplar a granulometria da mistura, a percentagem de emulsão, a estabilidade Marshall, a porosidade, a densidade e as deformações plásticas.

Na produção destas misturas têm-se detectado alguns problemas fundamentalmente na dificuldade em contar com queimadores que funcionem a baixos regimes de aquecimento, elementos que nem todas as centrais de misturas a quente dispõem. Adicionalmente, um ponto crítico da produção destas misturas, consiste na extracção da totalidade do filer de recuperação. A possível humidade das areias e as baixas temperaturas de trabalho, não permitem o controlo absoluto deste processo chave na qualidade das misturas betuminosas, o que condiciona posteriormente a relação filer/betume assim como, uma possível deterioração dos filtros de mangas por humidade nas obras de grande envergadura se não se verificarem as necessárias operações de conservação e manutenção.

Estes inconvenientes têm sido ultrapassados pelo desenvolvimento de centrais específicas para a produção destas misturas. Contudo, tem-se estado a estar a trabalhar na implementação de modificações nas actuais centrais convencionais a quente que minimizem estes efeitos, dada a enorme receptividade e futuro que se augura a estas misturas.

A empresa General de Estudios S.L., foi a pioneira, em colaboração com as empresas de fabricação e distribuição de centrais Framepasa e EMSA, e com o apoio da Junta de Andaluzia, na adopção de centrais específicas, integrando o desenvolvimento das mesmas no Projecto MAT+.



Figura 8 - Central de produção, específica para misturas temperadas abertas e fechadas.  
Fonte: GENERAL DE ESTUDIOS S.L.

### 4.3 Outros sistemas de misturas temperadas

Além da descrita experiência espanhola sobre as misturas temperadas com emulsão, é possível encontrar outros desenvolvimentos. O primeiro deles, muito similar ao mencionado, é o procedimento ECOMAC, desenvolvido pela SCREG. Consiste no aquecimento até 50°C a 60°C de uma mistura previamente fabricada a frio. O sistema requer um consumo muito baixo de energia.

Outra variante é o processo LEAB, utilizado fundamentalmente na Holanda para reciclagens até 50% de RAP (material procedente da fresagem de pavimentos envelhecidos). Utiliza-se em centrais contínuas onde os agregados virgens são aquecidos até aos 95°C, incorporando-se o RAP pelo anel que foi aquecido separadamente até aos 110°C e finalmente adiciona-se o betume, ao qual é previamente adicionado um aditivo para melhorar o envolvimento, facilitar a formação de espuma e melhorar a trabalhabilidade da mistura.

Finalmente há que mencionar que existem desenvolvimentos na transição entre as misturas semi-quentes e as misturas temperadas, nos quais os agregados são aquecidos a 100°C. Um deles é o processo LEA EBT do grupo APPIA que já foi descrito e outro o procedimento EVOTHERM, levado a cabo pela empresa WESTVACO que utiliza como ligante uma emulsão modificada bifásica com alta concentração de betume, em torno dos 70%, o qual leva um pacote de tensoactivos para facilitar o envolvimento a baixa temperatura e aumentar a trabalhabilidade. A mistura é produzida numa central a quente, aquecendo os agregados a 120-130°C. Ocorre a evaporação da água para a qual há que prever um sistema de escoamento. A mistura pode ser compactada até aos 75°C e conseguem-se reduções de energia da ordem dos 50% e de emissões acima dos 60%.

## 5. CONCLUSÕES

As técnicas descritas neste artigo têm por objectivo principal a produção de misturas betuminosas a temperaturas inferiores às tradicionalmente praticadas nas tradicionais misturas betuminosas a quente. Com este tipo de misturas é possível conseguir relevantes poupanças do ponto de vista energético (combustível) e reduzir o nível de emissões para a atmosfera. Tratam-se de soluções nitidamente amigas do ambiente.

Assistiu-se nos anos mais recentes a uma ampliação do leque de técnicas disponíveis e o desenvolvimento das mesmas tem sido uma constante o que, associado às inerentes vantagens ambientais, faz pressupor uma maior implementação destas soluções nos anos vindouros.

## 6. REFERÊNCIAS

1. A. Bardesi, J.A. Soto, "Mezclas Bituminosas a Baja Temperatura" Revista Carreteras, nº159, 2010.
2. S. Gil, J.I. Amor, J. Felipo, A. Costa, C. Cortés, A. Páez, F. Valor, J.J. Potti, "Estudio de los aditivos que permiten reducir la viscosidad del ligante a elevadas temperatura". Comunicación 12, IV Jornada ASEFMA, Madrid, 2009.
3. Pedro Ferré. "La química interfacial en las mezclas asfálticas". Comunicación 07, III Jornada ASEFMA, Madrid, 2008.
4. Kurt Kosswig, Huls AG, Marl. "Surfactants". Enciclopedia Ullmanns de química industrial, 2000.
5. A. H. Pelofsky, J. Chem. Eng. Data, 11, 394-397, 1966.
6. H. Schonhorn, J. Chem. Eng. Data, 12, 524-525, 1967.
7. K.S. Pedersen, Aa. Fredenslund, P. Thomassen, "Properties of Oils and Natural Gases, Contributions in Petroleum Engineering", vol. 5, Gulf Publishing Company, 199-207, Houston, 1989.

8. Lubbers H.E., "Bitumen in de Weg- en Waterbouw". Nederlands Adviesbureau voor Bitumentoepassingen NABIT, 1985.
9. M. Ayala Canales, F. J. Barcelo Martínez, F.J. Lucas Ochoa, Betunes de baja temperatura de fabricación y extendido en mezclas semicalientes. Experiencias realizadas. VIII Congreso Nacional de Firmes, 2011.