

RECICLAGENS TEMPERADAS COM EMULSÃO BETUMINOSA EM ROTA COM A ECONOMIA CIRCULAR.

Francisco Guisado Mateo¹, Francisco José Lucas², Emilio Moreno³, Hélio Nunes⁴

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

⁴ Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A., Av. José Malhoa, 16 B – 8º, 1099-091 LISBOA, Portugal

Sumário

As reciclagens temperadas com emulsão são soluções desafiantes, já que o seu desenvolvimento pressupõe o conceito de união entre as vantagens que introduzem ambientalmente as reciclagens a frio com emulsão e as propriedades mecânicas a curto prazo que aportam as reciclagens a quente, permitindo obter, por um lado misturas recicladas com altos desempenhos sem períodos de cura e maturação, mas também a redução de emissões, a redução de temperaturas, a redução de custos e alta taxa de reciclabilidade.

Palavras-chave: Reciclagem; temperada; economia circular; emulsão

1. INTRODUÇÃO

O crescimento e o desenvolvimento sustentável, em conjunto com a economia circular são termos promovidos actualmente e que definem até onde deve ir a economia. É uma estratégia que tem por objectivo reduzir tanto a entrada de materiais como a produção de resíduos, fechando os fluxos económicos e ecológicos dos recursos. Se reflectirmos sobre economia circular como a intersecção dos aspectos ambientais e económicos, o sistema linear de extracção, fabricação, utilização e eliminação tem-se aproximado dos seus limites, pelo que devemos reduzir o consumo de recursos e a produção de resíduos mediante a realização de reciclagem/reutilização.

Os pavimentos betuminosos envelhecem por oxidação dos ligantes influenciada pelo clima e o decorrer do tempo de serviço, o que pressupõe uma transferência de alguns dos componentes malténicos dos ligantes betuminosos e aumento dos componentes sólidos como sejam os asfaltenos, variando o tipo de estrutura que rege o ligante.

Este facto pressupõe um aumento da rigidez e perda de ductilidade das misturas, tornando-se mais propensas a sofrer fadiga e fissuração com a passagem do tráfego durante a sua vida em serviço, para além de poderem aparecer outro tipo de patologias.

A conservação do património rodoviário implica operações planificadas de reabilitação e conservação dos pavimentos para manter a sua adequada durabilidade estrutural e resposta funcional. Uma das operações mais habituais e frequentes é a fresagem e retirada das misturas ou camadas deterioradas e envelhecidas, e a sua substituição (reposição) por misturas de fabricação nova. O produto gerado pela fresagem de misturas betuminosas é constituído por materiais de alto valor técnico e económico, cuja reutilização ou reciclagem seria desejável. Isto indicaria a conveniência do uso de misturas betuminosas que incorporem este material nas misturas de reposição, com uma equivalência prestacional relativamente a misturas sem a dita incorporação.

No caso das misturas recicladas o quente em central não permitem uma reciclagem total, pelo que não é possível com esta técnica voltar a colocar alta taxa do fresado gerado. No entanto, as reciclagens a frio

com emulsão (RFE) *in situ* (e/ou em central) permitem taxas totais pelo que oferecem um grande atractivo meio-ambiental e económico, por redução de matérias-primas, energia, emissões para a atmosfera e transporte, principalmente os realizados *in situ* (Fig.1) já que se eliminam necessidades de deslocação.



Fig. 1. Reciclagem a frio com emulsão

Portanto, trata-se de uma tecnologia eficaz, mas apresenta desvantagens, já que se necessita de um período de cura e maturação, para que as suas propriedades mecânicas evoluam com o tempo, sendo débeis nos seus primeiros dias de vida. No entanto, como se observa no gráfico seguinte, podem-se obter módulos depois de cura e maturação semelhantes aos que se obtêm com camadas de base a quente [4].

Entende-se assim a necessidade da sua realização ocorrer com temperaturas ambientes medianas a altas já que as propriedades mecânicas em termos de coesão e módulo melhoram com temperaturas de execução, como se observa nas seguintes figuras (Fig.2).

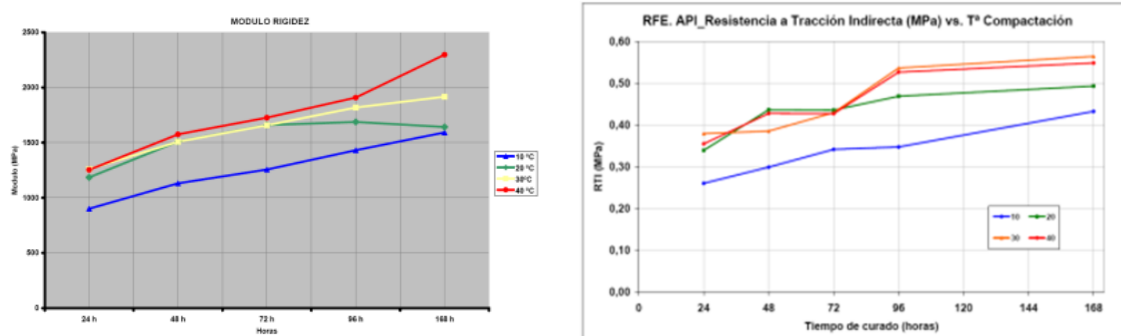


Fig.2. Evolução do módulo e coesão vs. Temperatura de execução

Contudo, esta tecnologia sofreu uma evolução reduzida causada pela proliferação do uso continuado de misturas o quente sem considerar reabilitações sustentáveis, pelas poucas obras e pela diminuição de empresas com tecnologia actualizada. Assim, torna-se necessário seguir aprofundando o seu desenvolvimento, tanto em equipamentos, como em aditivos e emulsões para melhorar as suas debilidades.

Por isso, a solução mais desafiante corresponde às reciclagens temperadas com emulsão (RTE), misturas que permitem incorporar maiores taxas de reciclagem e que, por sua vez, têm um bom nível de prestações mecânicas e funcionais, de modo que permitam a sua utilização em novas camadas ou camadas de reposição, sem as limitações inerentes às reciclagens a frio citadas. Nesta solução, o ligante continua a ser uma emulsão e as temperaturas do sistema continuam a ser baixas, correspondendo à conjugação entre os pontos positivos da RFE e as propriedades das reciclagens a quente em central, sem necessidade de maturação e reduzindo emissões, temperaturas e custos. Em seguida expõem-se as vantagens e as necessidades destas misturas.

2. ANTECEDENTES

A Repsol na sua decidida aposta pela inovação, impulsiona a sua capacidade de desenvolvimento tecnológico em linha com o seu crescimento empresarial. Esta aposta pela inovação é acompanhada do

desenvolvimento de tecnologias amigáveis do meio ambiente, valor essencial na gestão de todos os seus negócios.

No Centro onde se localiza o Laboratório de Asfaltos desenvolvemos o projecto de diminuição de temperatura de fabricação e espalhamento de misturas asfálticas, no qual se encontrava a tarefa de reciclagem temperada. Para chegar a bom termo foi necessário o desenvolvimento do produto e da técnica. O produto foi realizado com a disponibilização de uma emulsão betuminosa nova, especificamente formulada segundo o tipo de camada, taxa de reciclagem e tráfego. E a técnica foi desenvolvida conjuntamente com um parceiro tecnológico, Sacyr Construcción, S.A., dentro da qual foram definidos os parâmetros mais importantes da mistura no que se refere às condições de qualidade dos materiais, fabricação e colocação em obra [1, 2, 5].

Numa primeira fase do projecto desenvolveram-se as emulsões para misturas recicladas temperadas de alta taxa para camadas de base e intermédia, conjuntamente com o seu desenvolvimento de fabricação, para posteriormente continuar com o projecto de emulsões para misturas recicladas de alta taxa para camadas de desgaste em sistemas de fabricação específicos, para finalmente embarcar no último projecto de desenvolvimento de emulsões estabilizadas para o seu transporte a longas distâncias.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. EMULSÕES

Considerando a emulsão um sistema termodinamicamente instável de dispersão de partículas de betume em água, fabricado através de moinhos coloidais que permitem emulsionar o ligante com a ajuda de emulsionantes que mantêm o sistema estável durante um tempo de vida média.

O desenvolvimento da emulsão tem intrínseca a elegibilidade de uma ligante base que deve adequar-se à presença de um material a reciclar envelhecido. Deverá ter-se em conta a taxa, tipo de camada, mistura, eleição de aditivos melhoradores das propriedades e emulsionantes específicos, adequados também à natureza dos novos agregados, que permitam a estabilidade e transporte do produto, envolvimento, trabalhabilidade, aplicação e obtenção de propriedades mecânicas.

A presença de um material envelhecido leva a pensar na necessidade de ligantes brandos ou rejuvenescedores para recuperar adequadamente as propriedades perdidas do material, mas há que considerar que às temperaturas que regem o sistema, da ordem dos 90 °C, não existe uma difusão completa ou tão efectiva do novo ligante no antigo durante el processo de envolvimento, fabricação, transporte e espalhamento, pelo que durante as primeiras fases de vida da mistura, o ligante novo tem um funcionamento semi-independente do antigo em relação a desempenho ou propriedades mecânicas iniciais, que com o tempo se vão difundindo no antigo, sendo a velocidade de difusão dependente do grau de envelhecimento do ligante do fresado e temperaturas de serviço ao longo da vida de serviço.

Por outro lado, o que realmente é determinante no momento da mistura e seu posterior manuseamento é a temperatura, à diferença do que ocorre nas misturas a frio, indistintamente da presença de maior ou menor quantidade de finos, tanto do fresado como do agregado novo. A fase aquosa ajuda a uma espumação que permite as amassaduras às temperaturas de fabricação próximas dos 100 °C, pelo que a concentração da emulsão é importante para manter as temperaturas de fabricação e não caiam a níveis não desejados. Para, além disso, a presença da pouca água que fica no sistema ajuda no momento da compactação, pelo que o grau de concentração da emulsão deve ser ajustado em função da quantidade de fresado e tipo de mistura a fabricar.

As emulsões formuladas apresentam as seguintes características, sendo possível ajustar: concentração de ligante em função do tipo de mistura e taxa de reciclagem, consistência do ligante base e aditivos melhoradores de propriedades.

Quadro 1. Características das emulsões

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	MÉTODO DE ENSAIO	ESPECIFICAÇÃO
Polaridade das partículas	-	EN 1430	Positivo
Índice de rotura (filer Forshammer)	-	EN 13075-1	<110
Conteúdo em ligante	% em massa	EN 1428	65 -71
Conteúdo em ligante recuperado	% em massa	EN 1431	≥65
Conteúdo em fluidificante por destilação	% em massa	EN 1431	≤2,0
Tempo de fluência, 4mm a 40°C	s	EN 12846-1	5 a 70
Resíduo de peneiração, peneiro 0,5 mm	% em massa	EN 1429	≤0,1
Tendência à sedimentação, 7 días	% em massa	EN 12847	≤10
Adesividade	% em massa	EN 13614	≥90
<i>Ligante recuperado: por evaporação (EN 13074-1)</i>			
Penetração a 25°C	0,1mm	EN 1426	≤220
Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	≥35
<i>Ligante estabilizado por evaporação (EN 13074-1) e submetido a estabilização (EN 13074-2)</i>			
Penetração a 25°C	0,1mm	EN 1426	≤220
Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	≥35
<i>Ligante por destilação (EN 1431)</i>			
Penetração a 25°C	0,1mm	EN 1426	≤220
Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	≥35

3.2. FORMULAÇÃO DE LABORATÓRIO

Os diferentes trabalhos levados a cabo no desenvolvimento, relacionados com o sistema de compactação mais adequado para avaliar as diferentes misturas formuladas, conduziu à selecção do compactador giratório como o sistema que melhor reproduz a realidade em obra e que obtém provetes para avaliar as diferentes propriedades dos mesmos, já que os outros sistemas disponíveis, como o compactador de impactos ou a prensa de compressão estática não reproduzem a realidade, para além de que o primeiro deles ao existir algo de água no sistema não consegue as compacidades adequadas por resalto e o segundo indicado há que ajustar a energia de compactação mais real mas que não reproduz a compactação que se emprega em obra.

Nesta tarefa importante fixaram-se quais deverão ser as temperaturas que se devem aplicar às diferentes fases do processo, indistintamente da taxa de reciclagem, sendo da ordem dos 100 – 105 °C a mistura dos agregados com o material a reciclar, introduzir a emulsão por volta dos 60 – 80 °C, para por fim obter temperaturas de mistura da ordem dos 90-95 °C.

Devem-se aplicar os mesmos ensaios de caracterização das misturas betuminosas a quente, para determinar as propriedades volumétricas em função da energia de compactação, avaliação das suas resistências à acção à água, determinar deformações permanentes ou aplicar outros ensaios prestacionais como módulos de rigidez, fadiga e resistência à fissuração.

3.3. SISTEMAS DE FABRICAÇÃO

Uma parte importante é o tratamento do fresado a reutilizar/reciclar que se vai utilizar nas novas misturas, pelo que haverá que minimizar a sua heterogeneidade, levando a cabo um controlo da sua procedência em função do tipo de camada/agregado com pontos de armazenamento diferenciados, classificá-los em pelo menos duas fracções com um tamanho máximo de 22 mm (condicionado o tipo de mistura), controlar a sua humidade, aglomeração e contaminação através de procedimentos ou sistemas que o minimizem e, conhecer as suas granulometrias, conteúdos e estado do ligante para que estejam dentro das tolerâncias mínimas a exigir [6, 7, 8. 15]

Para a fabricação de misturas recicladas temperadas com emulsão pode-se recorrer a centrais especificamente projectadas para tal ou usar as mesmas centrais das misturas betuminosas a quente realizando algumas modificações e/ou ampliações.

Se se tratar da segunda situação, as adaptações necessárias são:

- ✓ Um número adequado de tolvas de alimentação a de fresado a frio em função das fracções do mesmo.
- ✓ Sistema independente de armazenagem e isolado termicamente para a emulsão betuminosa, que vá desde os tanques, passando pelo caudalímetro e/ou báscula que permitam a sua dosificação até ao misturador. Com bomba de descarga de camiões com aquecimento para facilitar os arranques e sistema de recirculação da emulsão para a sua homogeneização e armazenagem adequada.
- ✓ Extractor de vapores no misturador.
- ✓ Tambor secador específico para alcançar as temperaturas necessárias para fabricar estas misturas, assim como para o aquecimento do fresado.

A alimentação do fresado tratado, da pilha à central asfáltica, é efectuada de forma igual à dos agregados tradicionais através de tolvas a frio receptoras do material, cujo número deverá ser igual ao número de fracções de fresado que se vão utilizar e este se alimentam:

- ✓ directamente ao misturador (pesado previamente), por transferência de calor a partir dos agregados aquecidos para uma temperatura final da ordem dos 100 – 105 °C, mas tendo em conta a limitação de nunca sobreaquecer o agregado virgem acima dos 220-230 °C (Fig.3).

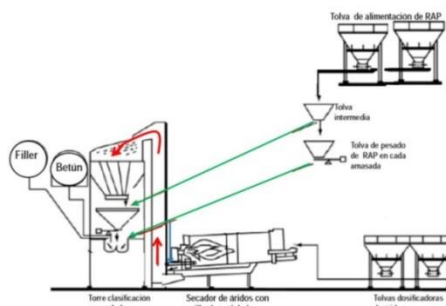


Fig.3. Central de fabricação - método indirecto

- ✓ ou ao tambor secador específico para o aquecimento do fresado a 100 °C com sistema de aportação de calor que evitem a exposição directa à chama sem uma excessiva temperatura de gases para preservar as características já envelhecidas do ligante (Fig.4). Estes podem ser: tambores secadores de fluxo paralelo e independente dos secadores tradicionais de agregados virgens, providos de silos para armazenar el fresado quente com sistema de dosificação ponderal específico; tambores secadores em contracorrente com incorporação do fresado fora de aquecimento e corrente de gases quentes (queimador adiantado, misturador/tambor concêntrico e tambor misturador atrasado).

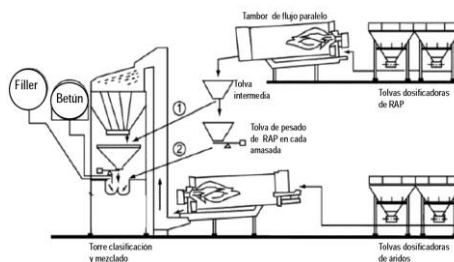


Fig.4. Central com tambores independentes para fresado e agregados virgens

- ✓ Combinação de ambos os sistemas com tambores específicos para aquecer ambos os materiais, agregados e fresados.

Os sistemas de alimentação e aquecimento dos agregados virgens devem ser os mesmos que o das centrais a quente actuais, com a restrição que o queimador se deve adequar para trabalhar às temperaturas requeridas para estas misturas quando se aquecem a temperaturas de 100 -115 °C.

A eficácia de fabricação de um sistema ou outro influi directamente na capacidade de reutilizar maior ou menor taxa de reciclado. No método indirecto está condicionado ao tipo de mistura final, humidade do fresado, temperatura máxima de aquecimento dos agregados sobreaquecidos (220-230 °C) e capacidade de produção da central, pelo que se podem chegar a reutilizar taxas de 40-50 %, tratado em fracções (Fig.5).

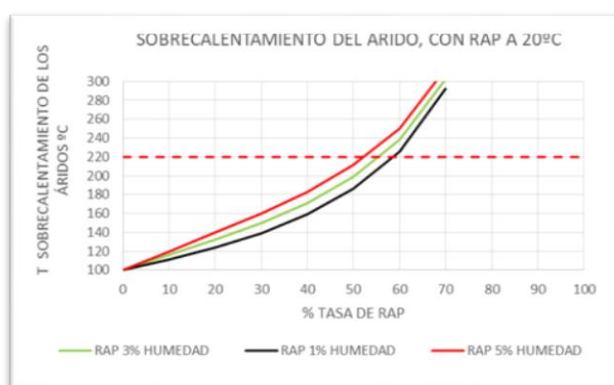


Fig.5. Tª de sobreaquecimento do agregado virgem em função da % RAP tratado. Efeito da humidade na taxa de RAP

Para o método directo, tambor secador especifica, pode-se chegar a reutilizar até 100% do material fresado tratado em fracções, mas depende se são tambores secadores de fluxo paralelo com incorporação do material fresado por anelo, tambores secadores em contracorrente com incorporação do material fora da corrente de gases quentes ou fresado tratado com tambor secador com anel.

Quadro 2. Central asfáltica contínua

Aquecimento do RAP tratado	TAMBOR SECADOR DE FLUXO PARALELO			CONTRAFLUXO
	TAMBOR MISTURADOR	MISTURADOR SEPARADO	TAMBOR SECADOR ESPECIFICO E MISTURADOR SEPARADO	TAMBOR SECADOR ESPECIFICO E MISTURADOR SEPARADO
% TAXA DE RAP	<20%	40-70%	80-100%	40-100%

Quadro 3. Central asfáltica descontínua

Aquecimento do RAP tratado e incorporação	TAMBOR UNICO SECADOR AGREGADOS		TAMBOR DUPLO (AGREG.+RAP)
	EM ELEVADOR	EM MISTURADOR	TAMBOR SECADOR RAP, ANTES DEL MEZCLADOR
% TAXA DE RAP	<10%	40-50%	40-100%

A emulsão betuminosa deve ser aplicada uma vez que se tenha alcançado a temperatura prevista na mistura de agregados (e filer) e fresado, sendo necessário um tempo de amassadura a seco mínimo em função da capacidade do misturador e volume de enchimento que se determina através da combinação dos diferentes parâmetros indicados. Como norma geral, haverá um incremento dos tempos de mistura, tanto a seco como em húmido, que terá repercussão directa na queda de rendimento da fabricação.

3.4. ESTUDOS DE MISTURAS PARA OBRAS

Realizaram-se diferentes estudos de misturas recicladas para diferentes aplicações, baseadas em misturas que se fabricaram através de sistema de aquecimento com tambor independente do fresado e pelo método indirecto.

Seguidamente expõem-se os resultados obtidos dos estudos realizados para duas aplicações onde foram formuladas misturas recicladas a taxas de 100%.

Uma das formulações foi uma mistura reciclada à taxa total para ser usada numa camada de ligação/regularização na via de serviço da via rápida A1 ao km 203-204, lado esquerdo, no domínio municipal de Lerma (Espanha), ver Fig.6 [2].



Fig.6. Aplicação de camada intermédia. Termografia da mistura à saída da régua.

O material fresado provinha da mesma via rápida, o qual foi tratado e separado em duas fracções (0/5 e 5/25 mm), e apresentava uma penetração média (EN 1426) de 17x0,1 mm e temperatura de amolecimento anel & bola (EN 1427) de 67,4 °C. A mistura foi estudada com as mesmas proporções relativas em que se produzem nesse processo, 40 % de 0/5 mm y 60 % de 5/25 mm, empregando uma emulsão C65B3 com ligante base rejuvenescedora e outra com ligante base 50/70 aditivado.

Em seguida apresentam-se os resultados volumétricos e mecânicos da formulação de laboratório, controlo de produção e amostras obtidas nas camadas executadas:

Quadro 4. Características da mistura formulada e executada

Tipo de emulsão	Formulação de Laboratório				Mistura Obra		Amostras Obra		
	Rejuvenescedora		Alta concentração						
Energia compactação giratória EN 12697-31	65 ciclos						--	--	
% Emulsão s/fresado	2,5	3	2,5	3	2,5	3	2,5	3	
Altura, mm.	65	64,9	65,5	65,4	--	--	53,6	55,2	
Densidade s.s.s.g/cm ³ , EN 12697- 6	2,347	2,350	2,340	2,344	2,374	2,368	2,309	2,250	
% VM, EN 12697-8	2,98	2,47	3,08	2,49	2,3	2,2	5,2	7,4	
Módulo, 20°C, MPa, EN 12697-26	2901	2389	2988	2560	5839	5604	4758	3411	
RTI seco, 15 °C, MPa	EN 12697-23	2,14	2,06	1,99	1,67	3,1	3,0	2,64	2,29
RTI húmido, 15 °C, MPa		2,05	1,91	1,90	1,57	2,8	2,8	2,38	2,16
% Resistência Conservada, EN 12697-12	95,7	92,7	95,8	94	92,6	93,7	90,2	94	
Pendente deformação, WTS, EN 12697-22	0,122	0,109	--	--	--	--	--	--	
Ensaio fadiga, EN 12697-24									
Módulo Flexão	5936	--	6331	--	--	--	--	--	
ε6	130	--	143	--	--	--	--	--	
Y = A*X-B									
A	0,0015	--	0,0015	--	--	--	--	--	
B	0,177	--	0,170	--	--	--	--	--	

O sistema de fabricação usado foi uma central descontínua de 260 t/h de capacidade com tambor secador de agregados em contrafluxo e tambor secador do material fresado de fluxo paralelo e câmara de combustão atrasada, com sistema de tratamento e classificação do fresado em linha com o processo de fabricação, com redução da dimensão máxima com moinho rotor granulador, classificação em duas fracções para armazenagem temporal em tolvas de regulação controlada ponderalmente e entrada diferenciada no tambor secador (dando maior tempo à fracção grosseira) e tolva de alimentação a quente com sistema de pesagem do fresado melhorados para redução da aderência. Depósitos e circuito de alimentação de emulsão à báscula e dispositivos adicionais de regulação de aspiração de gases no tambor secador para recuperação parcial de energia térmica e substituição de ar fresco secundário para regulação de temperatura por ar pobre em oxigénio.

Outra das formulações realizadas foram duas misturas para camada de desgaste e ligação/regularização com taxas de reciclagem de 100 e 70 %, respectivamente, para uma estrada urbana de Madrid (Fig.7), empregando um fresado dividido em duas fracções 0/5 e 5/25 mm, cujo betume residual apresentava um valor de penetração médio (EN 1426) de 16x0,1 mm e temperatura de amolecimento (EN 1427) de 73,6 °C. Utilizando as fracções 6/12 e 12/18 mm, virgens, de natureza siliciosa para a mistura com menor taxa. Usou-se uma emulsão C67B2 RECITEMP com ligante base 50/70 aditivado [11, 12, 13].



Fig. 7. Termografias durante o espalhamento e a fabricação

Os resultados volumétricos e mecânicos da formulação de laboratório e controlo de produção foram:

Quadro 5. Características da mistura formulada e executada

Mistura	Material	Fórmula Laboratório		Obra	
		RTE 100	RTE 70	RTE 100	RTE 70
Composição	Fresado 0/5	20	22	20	22
	Fresado 5/25	80	48	80	48
	6/12	--	15	--	15
	12/18	--	15	--	15
	% b/a antigo	4,1	3,1	4,1	3,1
	% emulsão	2,5	4,1	2,5	4,1
	% b/a final	5,8	5,9	5,9	5,6
Energía compactação giratória, EN 12697-31		65	90	65	90
Altura, mm.		--	--	49,5	53
Densidade s.s.s. g/cm ³ , EN 12697- 6		2,269	2,345	2,212	2,286
% VM, EN 12697-8		6,4	3,7	8,7	6,1
Módulo, 20°C, MPa, EN 12697-26		3900	2276	4767	3329
RTI seco, 15 °C, MPa, EN 12697-23		1,88	1,97	2,03	1,80
% Resistência Conservada, EN 12697-12		96	88,6	89	88
WTS, mm/103 mm, EN 12697-22		0,075	0,076	0,078	0,068

O sistema de fabricação empregou uma central contínua de reciclagem de 120 t/h de capacidade, que permite estabelecer um controlo ponderal dos componentes da mistura de acordo a fórmula de trabalho, com sistema de pesagem contínuo de cada componente com tolvas dosificadoras, tambor secador de fluxo paralelo, grande longitude, câmara atrasada, recirculação modulada de gases, anéis de entrada diferenciados para as duas fracções de fresado, com tambor/misturador, elevador de placas calefado com saída para tolva de descarga e sistema de armazenagem, aquecimento e dosificação de emulsão.

E finalmente, apresentam-se os resultados das misturas recicladas temperadas com taxas de 25 e 50 % (MBT25 e MBT 50) e sem reciclar da obra realizada na Estrada 5, troço La Serena – Vallenar, no Chile, executadas na camada intermédia e desgaste (Fig.8), empregando uma emulsão C69B3 EXPORTEMP com ligante base 35/50 para as misturas na camada de desgaste e ligante 50/70 para as misturas em camada intermédia (Fig.9) .[13]

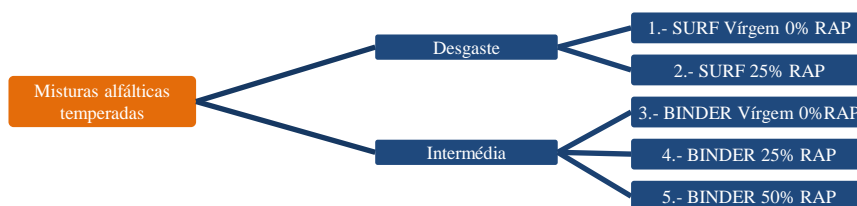


Fig. 8. Troço executado e tipo de misturas função da camada

Recorreu-se a uma central de fabricação descontínua de 260 t/h de capacidade, com sistema de reciclagem pelo método indirecto. O fresado teve origem na mesma estrada, dividindo-se em duas fracções 0/10 y 10/25 mm, com ligante residual com uma consistência de 17*0,1 mm de penetração e 68,4 °C de temperatura de amolecimento.

Seguidamente apresentam-se os resultados das misturas AC16S formuladas [10]:

Quadro 6. Resultados mecânicos das misturas formuladas

Mistura	SURF.MBT	SURF.MBT25	BIN.MBT	BIN.MBT25	BIN.MBT50	MBC.AC16S 50/70
% Betume	5	5	4,6	4,6	4,6	4,5
% Betume antigo	--	1,41	--	1,41	2,46	--
Ciclos	180/135	180/135	135/90	135/90	135/90	--
Densidade s.s.s, g/cm ³	2,410	2,400	2,380	2,383	2,401	--
% Vazios Mistura	5,9	5,8	6,4	6,4	6,3	--
Módulo, 20°C, MPa	2585	2986	2682	2882	3243	--
RTI seco, MPa	1,58	1,38	1,43	1,38	1,36	--
RTI húmido, MPa	1,38	1,13	1,20	1,13	1,2	--
% RC	87,5	81,5	84	81,5	88,2	--
WTS	0,125	0,123	0,153	0,123	0,076	--
RD	3,6	3,2	3,9	3,2	2,5	--
Ensaio de fissuração Fenix						
Índice Rigidez Tracção, KN/mm	3,59	3,54	3,33	3,31	5,38	5,55
Tensão Rótura, MPa	0,27	0,28	0,27	0,24	0,33	0,30
Energia Rótura, J/m ³	548	469	666	523	514	407
Índice Tenacidade, mN	618	456	797	731	469	278



Fig. 9. Controlo termográfico da obra

4. CONCLUSÕES

No presente artigo expõe-se as vantagens oferecidas pelas misturas recicladas temperadas, pois representam uma evolução da reciclagem a frio, utilizando como ligantes emulsões betuminosas específicas que permitem reciclar/reutilizar altas taxas de material betuminoso proveniente dos pavimentos fresados, obtendo propriedades mecânicas semelhantes às suas homólogas a quente.

É necessário utilizar sistemas de produção adequados para possibilitar alcançar as temperaturas de fabricação das misturas temperadas função da taxa de reciclagem, com recurso a sistemas especiais para tratar o material a reciclar e com algumas modificações específicas para poder utilizar as emulsões.

Isto permitirá contribuir do ponto de vista ambiental e económico para a sustentabilidade que nos exige uma economia circular, já que os sistemas económicos lineares de extracção, manufactura, utilização e eliminação devem atingir seus limites.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Rehabilitación sostenible de Pavimentos: Innovaciones en tecnología y desarrollos de mezclas para el aprovechamiento total de materiales con bajo consumo de energía.- VI Congreso Ingeniería Civil-Valencia 2011. P. 1-10.
2. Santiago, J. L.; F. Guisado, F.; Ochoa, F. J. Reciclados templados de tasa total. Aplicación, experiencias reales y resultados. Asefma 2013 y CILA 2013.
3. Bardesi, A.; Soto, J. A. Mezclas bituminosas a baja temperatura: mezclas en frío, templadas y semicalientes. Revista Carreteras número 169/En-Feb. 10.
4. Santiago, J.; Guisado, F. Influencia de la Temperatura de Mezcla en las Propiedades Mecánicas del Reciclado en Frío con Emulsión (RFE). Asefma 2012. CILA 2012.
5. Santiago, J.; Guisado, F. Reciclado Total templado de Mezclas Bituminosas. Una propuesta para su diseño, caracterización y producción. Asefma- Mayo 2011.
6. Planta multifunción FAMAT 250-Mezclas asfálticas a baja temperatura. V Jornada Asefma 2010.
7. García, A.; Soto, J. A. Fabricación y puesta en obra de un reciclado templado con emulsión bituminosa. CILA 2010.
8. Normas UNE EN.
9. Pérez, F. E.; Miró, R.; Martínez, A.; Botella, R. y Valdés, G. Estado de la resistencia a la fisuración de las mezclas bituminosas. Ensayos Fénix y EBADE. Asfalto y pavimentación, 2011, 1, 39-51.
10. Ramírez A, Armijos V, Guisado F, Moreno E, Thenoux G, López C, et al. Proyectos Pasos: Investigación y desarrollo de nuevos pavimentos asfálticos sostenibles de baja temperatura de fabricación y extendido. 12º Congreso Internacional PROVIAL. 2016. p. 13.
11. <http://www.lifesure.es/index.php/es/>.
12. Martín Díaz P, Ramírez A, Guisado F, Moreno E, Miró Recasens R, Botella R. Rodaduras Urbanas Sostenibles. IX Jornada ASEFMA 2014.
13. Ramírez A, Otero J.R, Díaz P, Lizárraga J.M, Guisado F, Moreno E. Mezcla reciclada templada con emulsión a tasa total en capa de rodadura de calle Seseña: una propuesta de diseño, fabricación y puesta en marcha. Carreteras 2015; www.aecarretera.com/servicios/publicaciones/revista-carreteras.
14. PG-3 y PG-4. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes.
15. Monografía de mezclas templadas. ATEB; <http://ateb.es/index.php/site-administrator/monografias-ateb>.