

IAG267-06-2013
MEJORAS AMBIENTALES DERIVADAS DE LA UTILIZACIÓN DE
MEZCLAS TEMPLADAS EN LA CARRETERA A-435 EN POZOBLANCO.
CÓRDOBA (ESPAÑA)
MELHORIAS AMBIENTAIS DECORRENTES DO USO DE TEMPERADO
MISTA NO A-435 EM POZOBLANCO. CÓRDOBA (ESPANHA)

M^a Carmen Rubio-Gámez
LabIC.UGR, Universidad de Granada
Granada, España
mcrubio@ugr.es

M^a José Martínez-Echevarría Romero
LabIC.UGR, Universidad de Granada
Granada, España
mjmartinez@ugr.es

Fernando Moreno-Navarro
LabIC.UGR, Universidad de Granada
Granada, España
fmoreno@ugr.es

Tomás González de Canales Torralbo
Consejería de Fomento y Vivienda. Junta de Andalucía
Córdoba, España
tomas.gonzalezcanales@juntadeandalucia.es

M^a José Sierra López
Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
Sevilla, España
mjsierra@aopandalucia.es

Manuel Borrego
Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
Sevilla, España
mborrego@aopandalucia.es

Resumen

Durante los últimos años, como consecuencia de la implantación de las nuevas políticas de desarrollo sostenible, en el ámbito de la ingeniería de carreteras se han comenzado a implantar tecnologías que permiten reducir la temperatura de fabricación y puesta en obra de las mezclas

bituminosas, con prestaciones en algunos casos similares a las proporcionadas por mezclas bituminosas en caliente. En esta comunicación se exponen los resultados obtenidos en un proyecto de investigación en el que se realizó un tramo de prueba experimental con una mezcla en caliente y una mezcla templada que permitieron desarrollar un estudio comparativo ambiental entre las mismas. Para ello, se tomaron mediciones durante la construcción de dos tramos consecutivos pertenecientes a la carretera A-435 (Córdoba, España) para una mezcla en caliente tipo AC16-S y una mezcla templada de características similares, pero fabricada a una temperatura inferior a 100 °C. Las mediciones de los gases de efecto invernadero y contaminantes químicos fueron tomadas durante la fabricación de las mezclas, y posteriormente en su puesta en obra. Los resultados obtenidos en relación a las emisiones medioambientales durante el proceso de fabricación de ambas mezclas son significativamente menos contaminantes para las mezclas templadas.

Resumo

Nos últimos anos, como resultado da implementación de novas políticas para o desenvolvemento sustentábel no campo da enxeñaría rodoviaria começaram a implementar tecnoloxías que poden reducir a temperatura de fabrico e colocación de masa asfáltica desempeño en algúns casos, semelhantes aos ofrecidos por masa asfáltica quente. Esta comunicación presenta os resultados de un proxecto de pesquisa no qual foi realizada uma seção de teste piloto com uma mistura quente e uma mistura temperada que permitiu um estudo comparativo entre eles. Para este fim, as medidas foram tomadas durante a construção de dois troços consecutivos pertencentes à A-435 (Córdoba, Espanha) para a mistura quente AC16-S tipo e uma mistura de semelhança, mas fabricado a uma temperatura inferior a 100 ° C. As medições de gases de efeito estufa e poluentes químicos foram tomadas durante a fabricação de misturas, e mais tarde em sua colocação. Os resultados obtidos em relação às emissões para o ambiente durante o processo de fabricação de ambas as misturas são significativamente menos poluente misturas endurecidas.

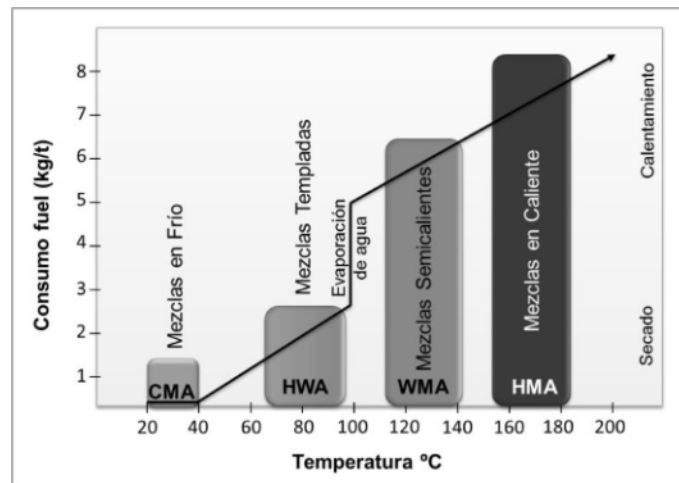
INTRODUCCIÓN

Las actividades derivadas de la construcción y/o conservación de carreteras, llevan asociadas impactos ambientales de diversa índole; consumo de recursos naturales para su fabricación, emisiones atmosféricas y de contaminantes químicos derivados del proceso de fabricación, transporte y puesta en obra, así como la generación de residuos como ocurre en los trabajos de rehabilitación de firmes deteriorados cuando no se reutiliza todo el residuo generado. La sociedad es cada vez más exigente con la conservación del medioambiente, lo que ha dado lugar a políticas restrictivas que obligan a introducir soluciones más sostenibles en los proyectos de carreteras. En este sentido, durante los últimos años, las tecnologías de fabricación de mezclas bituminosas a baja temperatura han tenido una gran expansión.

Las mezclas bituminosas a baja temperatura, entre las que se incluyen las mezclas semi-calientes y templadas, se diferencian en la temperatura de fabricación, encontrándose las primeras en el intervalo 100 a 140 °C y las segundas por debajo de 100 °C (Figura 1). Lo que se pretende con este tipo de mezclas es reducir la energía requerida durante el proceso de fabricación (disminuyendo el consumo de los combustibles en planta para el calentamiento de los áridos y el betún), reducir las

emisiones en la incineración del combustible (especialmente el CO₂, Compuestos Orgánicos Volátiles y los humos y olores durante el proceso de fabricación y puesta en obra), y mejorar la salud y seguridad de los trabajadores mediante la reducción de riesgos de quemaduras y de inhalaciones y mejora de la atmósfera de trabajo.

Figura 1. Clasificación de mezclas bituminosas atendiendo a su temperatura de fabricación y consumos, (adaptada de D'Angelo et al. 2008)



Además de por su temperatura, las mezclas de baja temperatura se caracterizan por el ligante utilizado. En las mezclas templadas se emplean emulsiones y eventualmente espuma de betún, mientras que en las mezclas semicalientes se emplea betún (modificado o no), y también espuma de betún (a veces combinada con betún), o procesos de autoespumación de betún mediante la adición de agua al sistema.

A pesar de que son muchas las experiencias que a nivel de laboratorio muestran el potencial de estas mezclas, las obras de carreteras en las que se ha empleado esta tecnología son reducidas, por lo que hay menos información sobre su comportamiento a medio-largo plazo, así como sobre las ventajas ambientales derivadas de su utilización (Ventura et al., 2009).

En este contexto, considerando los buenos resultados que se observan en experiencias en laboratorio, y tras unas primeras experiencias desarrolladas en la provincia de Córdoba (España), la Delegación de Córdoba de la Consejería de Obras Públicas y Vivienda de la Junta de Andalucía promovió la ejecución de un proyecto de I+D+i con el objetivo de *“Generar los conocimientos científicos y técnicos, procedimientos y herramientas necesarios para la fabricación de mezclas bituminosas a temperaturas inferiores a 100 °C, contribuyendo así a la reducción de emisiones durante la fabricación de estos materiales, a una mejor eficacia energética y a una mayor seguridad y salud de los trabajadores”*. Este proyecto, bajo el título de *“Utilización de mezclas bituminosas templadas con emulsión en firmes de carreteras de Córdoba”* se inicia en Julio de 2010 con un periodo de ejecución de 4 años. En él participan la Agencia de la Obra Pública de la Junta de Andalucía, la Universidad de Granada y la empresa General de Estudios y Proyectos SL.

En este artículo se exponen los resultados obtenidos en el citado proyecto de investigación en relación a las emisiones ambientales, que ponen de manifiesto las mejoras que supone la utilización

de esta tecnología en comparación con las mezclas en caliente, estando aún en fase de ejecución el estudio a medio-largo plazo sobre el comportamiento mecánico de las mezclas templadas de la actuación desarrollada.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

La puesta en obra de las mezclas asfálticas objeto de estudio tiene lugar en el año 2010, en un tramo de 13.85 km de longitud en la carretera A-435, entre Pozoblanco y Espiel, Córdoba, ESPAÑA, con 2.26 km de mezcla bituminosa en caliente tipo AC-16 S, y 11.59 km de mezcla templada AC-16 S MAT (Mezcla Asfáltica Templada). Dado que la tecnología de fabricación de cada tipo de mezcla es diferente, se utilizaron dos plantas independientes situadas en la misma zona (en el caso de la mezcla templada, la planta ha sido diseñada específicamente para la producción de este tipo de tecnologías). La mezcla AC16-S se fabricó en una planta discontinua y la AC16-S MAT en una planta continua. En las operaciones de transporte, extendido y compactación, se emplearon los mismos equipos de extendido y compactación en las dos tecnologías.

Ambas mezclas fueron utilizadas en espesores de 5 cm para la conformación de la capa de rodadura de la carretera, consumiendo un total de 13.600 tn de mezcla bituminosa en caliente, tipo AC-16 S y de 50.000 tn de mezcla templada. Los materiales utilizados en la fabricación de las dos mezclas fueron los mismos (a excepción del ligante), con objeto de poder establecer una comparativa sobre las emisiones derivadas del proceso de fabricación y puesta en obra de las mezclas templadas frente a las calientes. Así, el esqueleto mineral estaba compuesto por árido calizo en la fracción arena (menores de 2 mm), silicio en la fracción grava, y carbonato cálcico en la fracción polvo mineral (filler). El ligante hidrocarbonado se adicionó en forma de betún en la mezcla convencional y en forma de emulsión en la mezcla templada (dada sus diferencias en la tecnología de fabricación).

METODOLOGÍA

Las mediciones en el proceso de fabricación y extendido se realizaron en los mismos días para garantizar que las condiciones ambientales (temperatura, humedad, viento,...) fuesen similares y no influyeran en los resultados obtenidos. El extendido de las mezclas se realizó en la misma carretera (A-435) en días consecutivos. La metodología seguida durante el estudio se basa en trabajos previos realizados como el de Shell (2007). Se tomaron medidas de contaminantes en el aire (CO₂, CO, NO_x, SO₂, TOC y polvo) en el entorno de la planta y en las operaciones de extendido y compactación.

Descripción del muestreo

Parámetros a evaluar:

- Gases de Combustión (CO, NO_x, O₂, CO₂)
- Carbono Orgánico Total (COT)
- Partículas

Compuestos orgánicos volátiles
Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Principios metodológicos seguidos en la toma de muestras de los contaminantes atmosféricos:

Gases de combustión (CO, NO_x, O₂, CO₂): El principio del método consiste en la utilización de un analizador multiparamétrico. La bomba del analizador aspira los gases del conducto a través de la sonda. La muestra pasa por el sistema de acondicionamiento en el cual se elimina la humedad y las partículas contenidas en los humos. A continuación, el gas penetra en los detectores de cada compuesto donde se realiza la medida de los diferentes parámetros. La señal de cada sensor es amplificada y digitalizada en la pantalla del analizador.

Carbono Orgánico Total (COT): El equipo utilizado para la medida de compuestos orgánicos volátiles es el detector de ionización de llama (FID). Se extrae una muestra de gas de la chimenea a través de una sonda calefactada y es introducida en el equipo analizador que utiliza el método de ionización en llama para la medida del carbono orgánico total. La medición se realiza mediante el aumento de la señal eléctrica debida a la ionización del contaminante orgánico.

Partículas: Para la determinación de partículas emitidas por fuentes fijas, la muestra de gas es extraída isocinéticamente mediante una bomba de aspiración. Las partículas son recogidas en un filtro de 47 mm para su posterior determinación en laboratorio por gravimetría. Para fuentes no canalizadas, se utiliza un captador de alto volumen (CAV) y filtros de fibra de cuarzo de 150 mm, por punto de muestreo.

Para compuestos orgánicos volátiles (COV): Se utilizaron bombas de bajo caudal y caudalímetros de calibración para controlar el volumen de gas aspirado. Dicho gas se hizo pasar por tubos detectores de carbón activo en los cuales, por adsorción, quedan retenidos los vapores orgánicos. Las muestras fueron enviadas al laboratorio para su análisis.

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP): Se utilizaron bombas de bajo caudal y caudalímetros de calibración para controlar el volumen de gas aspirado. Este gas se hizo pasar por un tren de muestreo compuesto por filtros de teflón de 37 mm y 1,2 µm de tamaño de poro, los cuales retienen las posibles interferencias de material particulado y tubos detectores de resina XAD/2 100/50 mg y en los cuales quedan retenidos los HAP. Las muestras fueron enviadas al laboratorio para su análisis.

Tabla 1: Parámetros evaluados y equipos de muestreo durante la toma de medidas

PARÁMETROS EVALUADOS		EQUIPO DE MUESTREO
In situ	CO, CO ₂ , NO _x , SO ₂	Analizador multiparamétrico
	Carbono orgánico total (COT)	Fotoionizador de llama
En laboratorio	Partículas	Sonda isocinética/CAV y filtros
	Compuestos orgánicos volátiles (COVs)*	Bomba de bajo caudal y tubos detectores
	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)**	Bomba de bajo caudal y tubos detectores

Descripción de los focos de contaminación atmosférica en los procesos de fabricación de mezclas asfálticas

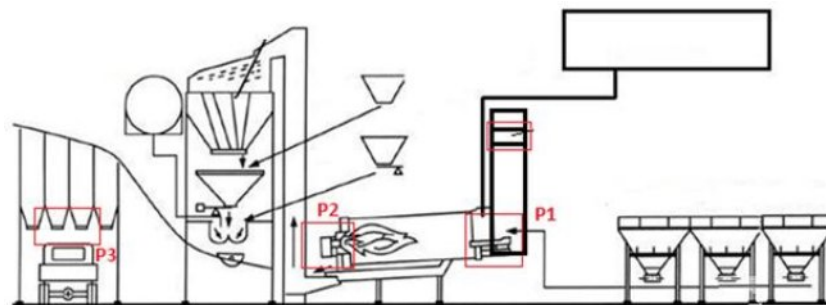
La toma de muestras se realizó en la boca de muestreo con de la chimenea asociada al tambor secador.

Tabla 2: Descripción de los focos de emisiones canalizadas

Proceso	MEZCLA ASFÁLTICA TEMPLADA (MAT)	MEZCLA BITUMINOSA CALIENTE (MBC)
Identificación del foco	P1: Tambor secador	P1: Tambor secador
Producción del día de medición	532,38 Tm	3.681,86 Tm
Marca		INTRAME
Tipo de sección	Rectangular	Circular
Dimensiones (m)	Sección / diámetro (m)	1,1
	Corriente arriba L1(m)	2
	Corriente abajo L2 (m)	9
Combustible	Fuel oil BIA	Fuel oil BIA
Potencia calorífica quemador		752 kW

Para la determinación de los contaminantes atmosféricos producidos en los procesos de fabricación de ambas mezclas, se colocan equipos de muestreo en los puntos de medida P1 (entrada al tambor secador), P2 (salida del tambor secador) y P3 (descarga de la mezcla), asociados a los principales focos de emisión difusa, tal y como se recoge en el siguiente esquema (Figura 2). Los equipos empleados fueron, por una parte, captadores de alto volumen (CAV) y filtros de fibra de cuarzo para la determinación de las partículas totales en suspensión y, por otra, bombas de bajo caudal conectadas en paralelo a tubos de carbón activo (para COVs) y casete formado por un filtro de teflón y un tubo con resina (para HAP).

Figura 2. Esquema de los puntos de toma de medidas en planta.



Durante la toma de muestras, se comprobó que en ambas instalaciones había un exceso de material pulverulento debido a la falta de medidas correctoras contra la contaminación difusa

(procedente de la cantera situada junto a la planta). Este hecho pudo interferir en los resultados obtenidos relativos al parámetro partículas en suspensión.

Po su parte, durante la puesta en obra la maquinaria empleada en ambos casos para el extendido de las mezclas, fue una pavimentadora tipo Vogele modelo SUPER 1900-2. Para la toma de muestras se colocó un captador de alto volumen y de una bomba de bajo caudal sobre la propia pavimentadora. El tren de muestreo para HAP y COVs se colocó de forma análoga a la empleada en el muestreo en los focos no canalizados de la fabricación de las mezclas asfálticas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados obtenidos en las mediciones realizadas para los procesos de fabricación y puesta en obra de MBC y MAT.

Tabla 3: Resultados obtenidos

RESUMEN DE RESULTADOS			
	MAT	MBC	Valor límite de referencia
EMISIONES POR FOCO CANALIZADO			
CO ₂ (%)	1,7	4,1	-
CO ₂ (ppm)	51	628	1445 (1)
NO _x (ppm)	17	51	300 (1)
SO ₂ base seca (mg/m ³ N)	1,1	1025,9	850 (1)
Partículas, base seca (mg/m ³ N)	12,9	30,3	150 (1)
COT (mgC/Nm ³)	26,48	18,47	20-150 (2)
COVs (16 compuestos, µg/L)	<0,30	0,67	3,5 (3)
HAPs (16 compuestos, µg/L)	<0,059	0,019	3,5 (3)
EMISIONES NO CANALIZADAS (Promedio P1, P2 y P3)			
Partículas totales suspensión			
Promedio estimado a 24 horas (µg/m ³)	513,8	5.725,4	150 (4)
COVs (16 compuestos, µg/L)	<0,11	N/D	3,5 (3)
HAPs (16 compuestos, µg/L)	0,015	0,013	3,5 (3)
PUESTA EN OBRA			
Partículas totales suspensión			
Promedio estimado a 24 horas (µg/m ³)	73,3	149,8	150 (4)
COVs (16 compuestos, µg/L)	<1,86	0,20	3,5 (3)
HAPs (16 compuestos, µg/L)	2,80	0,32	3,5 (3)

(1) Según el Anexo IV: Niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera para las principales actividades industriales potencialmente contaminadoras de la atmósfera del Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico. Para los parámetros CO, NO_x y partículas se indica el valor del apartado 27. Actividades industriales diversas no especificadas en este anexo; mientras que para el SO₂ se señala el valor recogido en el apartado 2.2 Instalaciones que utilizan fuel-oil.

(2) Se indica, a modo de referencia, el intervalo de valores límite de todas las actividades del Anexo II del Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas el uso de disolventes en determinadas actividades al no contemplarse el proceso de fabricación de mezclas bituminosas en el citado Real Decreto.

(3) No existe normativa ambiental que recoja un límite para COVs y HAP. No obstante, y como referencia, se indica el valor límite para el parámetro Benceno (3,5 mg/m³) incluido en el Anexo III Valores límite de exposición profesional del Real Decreto Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. Nota: mg/m³ ≡ µg/L.

(4) Valor límite para partículas en suspensión totales según el *Decreto 151/2006, de 25 de julio, por el que se establecen los valores límite y la metodología a aplicar en el control de las emisiones no canalizadas de partículas por las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera*. No obstante, la metodología empleada no fue la indicada en el citado Decreto ya que se establece la medición en el perímetro de la instalación durante un período de al menos 24 horas en continuo, además de lo especificado en el apartado 7.1 *Proceso de fabricación de mezclas: Focos de emisiones no canalizadas a la atmósfera*, respecto del material pulverulento.

(5) No existe ninguna norma de referencia para este parámetro.

En relación a las **emisiones por foco canalizado**, se observa una concentración bastante más baja de los gases CO₂, CO, NO_x, SO₂ y partículas en la MAT frente a los valores obtenidos en la MBC. El valor de COT es superior en la MAT que en la MBC. Los valores de COVs son más bajos en la MAT que en la MBC, siendo los valores obtenidos en relación a los HAPs muy bajos para las dos mezclas y en ambos casos por debajo del valor límite, aunque ligeramente superiores en las MAT.

Las **emisiones no canalizadas** presentan unos resultados mucho más bajos para la MAT que para MBC, aunque en las dos mezclas por encima del valor límite. Hay que considerar que tanto la planta de MAT como la de MBC se encuentran junto a una planta de procesamiento de áridos con una importante producción de partículas que pueden ser las causantes en ambos casos de esos valores tan elevados. Los COVs y HAPs son casi inapreciables en las dos mezclas y con valores por debajo de los valores límite que establece la normativa.

En la **puesta en obra**, los resultados obtenidos para “partículas” en la MAT son casi la mitad que los que produce la MBC, y en este caso hay que tener en cuenta que este valor no se ve afectado por las partículas procedentes de la planta de áridos. En cuanto a los COVs y HAPs son ligeramente superiores para la MAT que para la MBC pero siempre por debajo del valor límite y en valores muy bajos.

CONCLUSIONES

Como conclusiones que puedan extraerse tras el análisis de los resultados de emisiones derivadas de los procesos de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas calientes y templadas de la carretera A-435 de Pozoblanco, Córdoba, destacan:

- En términos generales los resultados ponen de manifiesto reducciones importantes de emisiones en las mezclas templadas, sobre todo en CO₂, CO, NO_x, SO₂ y partículas.
- Los resultados en COT para mezclas templadas han resultado ser mas altos de lo esperado, por lo que sería conveniente en un futuro realizar mas mediciones de este parámetro.
- En cuanto a la metodología, los resultados de emisiones canalizadas, al verse menos afectados por la dispersión en el aire, proporcionan valores más fiables que las no canalizadas.
- Dado que las actuaciones de mezclas templadas son actualmente bastante reducidas en comparación con las mezclas convencionales, es de interés realizar en todas ellas un control de estos parámetros para tener una mayor información sobre las ventajas ambientales derivadas de esta tecnología.

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía (España) por la financiación recibida para el desarrollo de este proyecto de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. D'Angelo J.; Harm E.; Bartoszek J.; Baumgardner G.; Corrigan M.; Cowser J.; Harman T.; Jamshidi M.; Jones W.; Newcomb D.; Prowell B.; Sines R.; Yeaton B. (2008). Warm-Mix Asphalt: European Practice. Report No.FHWA-PL-08-007, American Trade Initiatives, Alexandria, VA, USA
2. Ventura, A.; Moneron, P.; Quaranta, G.; Jullien, A.; Tamagny, P. (2009). Environmental comparison at industrial scale of hot and half-warm mix asphalt manufacturing processes. Report Number 09-1274, Transportation Research Board 88th Annual Meeting. Washington D.C. USA.
3. Bardesi, A. Mezclas semicalientes y templadas. Curso de mezclas bituminosas. Intevia. 2009.
4. Shell Bitumen (2007). Environmental benefits of reducing asphalt production and laying temperature.
www.static.shell.com/static/bitumen/downloads/wam_field_test_results_italy.pdf.
Accessed 10/10/2011