

APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS EN LA CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES - TRAMOS EXPERIMENTALES

Larsen Diego O.; Daguerre, Lisandro; Williams, Eduardo A.; Asurmendi, Alfredo I.; Ferrín, Leonardo G. Laboratorio de Pavimentos e Ingeniería Vial – La.P.I.V. - Departamento de Construcciones - Facultad de Ingeniería –UNLP.

Tel/fax. +54-221-4236687, e-mail: lapiv@ing.unlp.edu.ar

Resumen

Las mezclas asfálticas tibias son elaboradas, colocadas y compactadas a temperaturas inferiores a las convencionales.

La irrupción de las mismas en el escenario vial responde a una necesidad de dar respuesta a reclamos ambientales, y a la búsqueda de procesos de pavimentación eficientes desde todo punto de vista. En efecto, las mezclas tibias reducen considerablemente la emisión de CO₂ en el proceso de producción con los beneficios que esta medida representa.

Los principales avances, corresponden a experiencias llevadas a cabo en Europa y EEUU. En la Argentina y sobre la base de los trabajos que se han efectuado en el presente año, este tipo de mezcla seguramente empezará a utilizarse rápidamente en diferentes obras viales en el país.

La importante disminución en las temperaturas de elaboración y colocación de estas mezclas, permite reducir los costos de energía y paralelamente las emisiones a la atmósfera.

Asimismo existen otras interesantes ventajas, entre las que se destacan: la disminución del envejecimiento o rigidización prematura del asfalto por la planta asfáltica, la reducción del riesgo de segregación térmica, la disminución de las temporadas de veda en climas fríos, la mejora en los tiempos para la compactación del material, el mayor empleo de RAP en mezclas recicladas, la mejora de las condiciones de trabajo, etc.

A través del Laboratorio de Pavimentos e Ingeniería Vial –LaPIV-, la Facultad de Ingeniería realizó un acuerdo de servicio técnico con la empresa YPF, siendo el objetivo del mismo:

- ✚ Diseñar un plan de trabajo para llevar adelante las etapas de desarrollo, ejecución (controles sobre los materiales y sobre las emisiones: CO, NO_x, SO₂, CO₂) y el seguimiento de tramos experimentales de mezclas asfálticas de bajas emisiones.
- ✚ Identificar y definir la ejecución de tramos experimentales en lugares representativos del país.
- ✚ Seguimiento sistemático del comportamiento de los tramos.
- ✚ Elaboración de los reportes correspondientes y difusión de los mismos en foros técnicos de la especialidad.

A la fecha se ha ejecutado el primer tramo de prueba con mezclas tibias en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, cuyas características y resultados alcanzados se describen en el presente trabajo.

Palabras claves: Innovaciones en mezclas asfálticas, mezclas asfálticas tibias, eco eficiencia

INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas tibias son elaboradas, extendidas y compactadas a temperaturas sensiblemente inferiores a las utilizadas en la pavimentación con concretos asfálticos convencionales, exigiéndose que sus características y su comportamiento en servicio sean iguales o superiores a los de estas.

La reducción de las temperaturas de trabajo es del orden de entre 20 y 55 °C, pudiendo lograrse con diferentes tecnologías, entre ellas se dispone de aditivos orgánicos, de agentes que aportan agua, de sistemas emulsificados, o bien por medio de procesos que incorporan asfalto espumado en planta. También se los distingue como procesos en base acuosa o sin base acuosa. Existen técnicas que permiten reducir ambas temperaturas de elaboración y compactación, o bien mejorar solamente la compactación sin una notable reducción de la temperatura de elaboración.

La importante disminución en las temperaturas en estas mezclas, reduce los costos de energía y las emisiones a la atmósfera, mejorando a su vez la eficiencia de los procesos de pavimentación desde todo punto de vista. Según la bibliografía consultada, con las mezclas tibias se reducen considerablemente las emisiones de CO₂, NO_x, polvos y aerosol orgánico.

Entre las ventajas asociadas, se encuentran las ambientales (reducción de energía en la elaboración de las mezclas y en la emisión de gases), las constructivas (mayor flexibilidad en el extendido y compactación), las relacionadas con la salud (reducción de emisiones de gases tipo VOC y de riesgos para personal de obra). En cuanto a la durabilidad, la reducción de temperaturas implica un menor envejecimiento del ligante durante las etapas de elaboración, transporte y ejecución de la mezcla, por lo que cabría esperar un comportamiento a largo plazo al menos igual al de las mezclas aplicadas con técnicas convencionales.

Los principales avances, corresponden a experiencias realizadas en Europa desde hace alrededor de 8 años, siendo sus principales precursores Noruega, Alemania y Francia. El estudio de estas mezclas en laboratorio y a corto plazo en campo, demuestra que las mezclas tibias poseen un comportamiento igual o superior al de las mezclas convencionales. Aún no se han obtenido resultados concluyentes a largo plazo debido a su reciente empleo. Basadas en antecedentes europeos, distintas agencias viales de Estados Unidos han comenzado a aplicar estas tecnologías en sus estados desde el año 2008.

En la Argentina, limitadas experiencias datan del año 2005 y es donde el LaPIV comenzó con los primeros estudios de campo. Asimismo en el año 2010 y sobre la base de los trabajos que se han llevado a cabo tanto a escala de laboratorio como en obra, este tipo de mezcla seguramente empezará a utilizarse rápidamente en diferentes rutas del país.

A través del Laboratorio de Pavimentos e Ingeniería Vial –LaPIV-, la Facultad de Ingeniería en el año 2010, convino un acuerdo de servicio técnico con la empresa YPF, siendo el objetivo del mismo:

- ✚ Diseñar un plan de trabajo para llevar adelante las etapas de desarrollo, ejecución (controles sobre los materiales y sobre emisiones: CO, NO_x, SO₂, CO₂) y el seguimiento de tramos experimentales con mezclas asfálticas de bajas emisiones.
- ✚ Identificar y definir la ejecución de tramos experimentales.
- ✚ Seguimiento sistemático del comportamiento de los tramos.
- ✚ Elaboración de los reportes correspondientes y difusión de los mismos en foros técnicos de la especialidad.

La idea central de la presente experiencia ha sido observar la factibilidad de emplear mezclas asfálticas que puedan fabricarse y colocarse a menores temperaturas que las normalmente utilizadas y obtener similares o mejores resultados. Se ha considerado para ello necesario, en primera instancia, reducir al menos unos 20-25°C la temperatura de fabricación y compactación para luego proceder a extender más aún esta brecha en la medida de lo posible.

En el ámbito urbano de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, se han produjeron a gran escala cuatro mezclas densamente graduadas, elaboradas con idénticos agregados combinados en las mismas proporciones, modificándose sólo el tipo de ligante asfáltico incorporado: un asfalto convencional, uno modificado con polímeros, y sus equivalentes tibios conteniendo el aditivo reductor de viscosidad a elevada temperatura. El objetivo de estas combinaciones fue tener la posibilidad de disponer a los fines comparativos, diferentes tramos de control.

Las pruebas de laboratorio y de campo respetaron un protocolo especialmente diseñado para esta experiencia, en él se incluyen: estudio de antecedentes, análisis de materiales, diseño de mezclas, mediciones de emisiones en planta y obra, ensayos sobre las mezclas producidas y pruebas de compactación en vías urbanas. En las mezclas asfálticas se estudiaron parámetros mecánicos, volumétricos y resistencia al agua. Mientras se compactaba la mezcla en obra se determinó con nucleodensímetro, la evolución de la densificación de la mezcla con el número de pasadas de los equipos de compactación. La densificación final de la mezcla se analizó mediante testigos extraídos de los tramos en estudio.

Las características y resultados alcanzados en los diferentes tramos se describen el presente trabajo.

PARTE EXPERIMENTAL

Se realizaron cuatro tramos de prueba conteniendo sectores denominados de control pavimentados con mezclas asfálticas densas con asfaltos sin aditivos y dos sectores con los denominados asfaltos tibios, teniendo como única variable las temperaturas de elaboración y colocación. En ese sentido, para poder realizar comparaciones válidas se emplearon los mismos procesos de elaboración y de ejecución con los mismos equipos y el mismo personal en todos los casos. Las condiciones meteorológicas también fueron similares.

El resumen de las temperaturas aplicadas en las distintas etapas y la ubicación de los tramos de prueba se indican en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1.- Temperaturas medidas en las mezclas en distintas etapas y ubicación de los tramos

| Mezcla | Temperatura [°C] | | | Ubicación del Tramo |
|-----------------------|------------------|-----------|---------------------------|--|
| | Elaboración | Extendido | Moldeo (Prob.Marshall) | |
| CAC D20 c/ AM3 | 165-185 | 150-165 | 165 | Av. Chiclana e/ Salcedo y 24 de Septiembre |
| CAC D20 c/ AM3 Tibio | 140-160 | 135-145 | 145 | |
| CAC D20 c/ CA30 | 155-165 | 115-130 | 145 | Calle Agaces e/ Sáenz y Achala |
| CAC D20 c/ CA30 Tibio | 140-155 | 100-115 | 125 | |

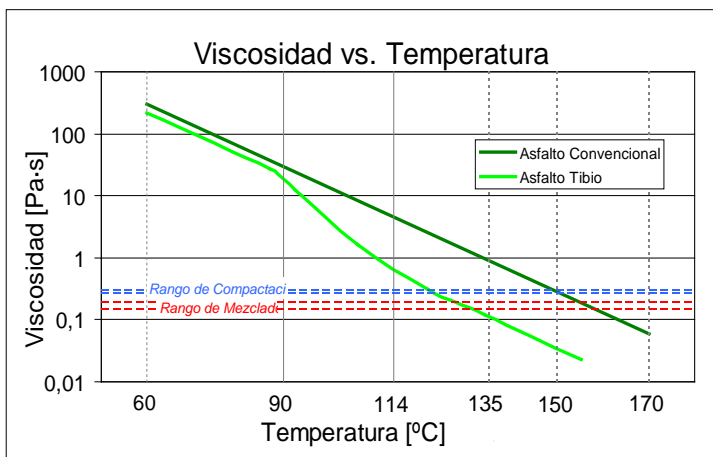
Como ha sido señalado, las tareas desarrolladas por el La.P.I.V. en estos tramos experimentales se han encuadrado dentro de un protocolo establecido ad hoc para esta experiencia. Las mismas pueden separarse en tres etapas:

- ✚ Estudios previos de laboratorio
- ✚ Tramos de prueba: verificación en la elaboración y colocación de las mezclas asfálticas, ensayos en campo y laboratorio
- ✚ Estudios posteriores

Estudios previos de laboratorio:

Se caracterizaron los materiales que compusieron las mezclas (áridos y asfaltos) de forma individual, y luego en conjunto verificando la mezcla asfáltica en las proporciones indicadas por la fórmula de la empresa encargada de fabricar y colocar las distintas mezclas. Los resultados obtenidos por los distintos ensayos efectuados cumplieron los requisitos impuestos por las especificaciones del pliego de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Los valores de interés de cada mezcla se informan en las Tablas N° 2 y 3 en las columnas denominadas "Fórmula".

Gráfico N° 1.- Influencia del aditivo utilizado sobre la viscosidad del asfalto



El aditivo utilizado e incorporado al ligante en esta experiencia es una cera sintética, producto del proceso conocido como Fischer-Tropsch, que aumenta la viscosidad del asfalto por debajo del punto de fusión de la cera. El producto tiene una temperatura de fusión entre 90 y 114 °C y es completamente soluble en el asfalto a temperaturas mayores de 120 °C y a temperaturas inferiores a su punto de fusión dicha cera forma una estructura cristalina en forma de

red en el ligante que incrementa su módulo o stiffness. Esta doble ventaja de mejorar la trabajabilidad de la mezcla y su rigidez en servicio resulta muy atractiva para la industria. El aditivo fue incorporado al asfalto en origen por el proveedor en una proporción de 1,5 % respecto al peso de asfalto. Este comportamiento se muestra en el Gráfico N° 1.

Tramos de prueba: verificación en la elaboración y colocación de las mezclas asfálticas, ensayos en campo y laboratorio

En planta:

- ✚ Verificación de las condiciones de fabricación de mezcla asfáltica antes y durante la misma: *check list*, control visual y de temperatura, toma de muestras de la mezcla de cada camión, elaboración de probetas Marshall en laboratorio del obrador.
- ✚ Control y medición de emisión de gases de combustión de la usina asfáltica en distintas etapas de producción.

En frente de obra (tramos de prueba):

- ✚ Verificación de condiciones de obra por medio de *check list* que consta entre otros puntos de: limpieza de la superficie a pavimentar, estado del riego de adherencia sobre la misma, desarrollo de tareas durante la extensión y compactación de la mezcla, medición de temperaturas en la tolva de la terminadora y detrás de ella.
- ✚ Toma de muestras de la carpeta recientemente extendida.

- ✚ Asimismo se evaluó la evolución de la densificación de la mezcla en obra mediante la utilización de nucleodensímetro, verificándose los resultados finales de esta metodología mediante la extracción de testigos en jornadas posteriores.

En instalaciones de La.P.I.V.:

Controles sobre muestras de planta y de obra, entre otros pueden mencionarse:

- ✚ Determinación de parámetros mecánicos y volumétricos sobre probetas, susceptibilidad al agua.
- ✚ Determinación de contenido de asfalto y granulometría de los áridos.
- ✚ Estudio de la densificación de las mezclas compactadas a distintas temperaturas.

Estudios posteriores:

En jornadas posteriores se extrajeron testigos de los tramos pavimentados para determinar el grado de compactación alcanzado durante la ejecución de los tramos.

RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados obtenidos de cada una de las mezclas estudiadas y de la medición de emisiones.

Muestras de planta y obra

En la Tabla N° 2 se presentan los resultados obtenidos de las mezclas elaboradas con asfalto modificado (AM3 y AM3 Tibio). Se indican los valores promedios y los desvíos estándar de 4 muestras en cada caso; en la columna fórmula se indican los valores de referencia obtenidos en las verificaciones de fórmula. De manera análoga, se informan en la Tabla N° 3 los resultados alcanzados de las muestras con asfalto convencional (CA30 y CA30 Tibio). En las Tablas N° 2 y 3 sólo se informan los valores obtenidos con las muestras de planta pues los resultados de las muestras de obra no son reveladores en los parámetros aquí presentados.

Tabla N° 2.- Resultados de las mezclas elaboradas con asfaltos modificados

| Parámetro | Unidad | CAC D20 con AM3 | | | CAC D20 con AM3 Tibio | | |
|-----------------------|-------------------|---------------------------------|--------|---------|-----------------------|--------|---------|
| | | Promedio | Desvío | Fórmula | Promedio | Desvío | Fórmula |
| Densidad Aparente | g/cm ³ | 2,385 | 0,018 | 2,421 | 2,397 | 0,013 | 2,394 |
| Vacíos | % | 5,0 | 0,5 | 3,7 | 4,5 | 0,8 | 4,9 |
| Asfalto | % | 4,8 | 0,1 | 4,9 | 4,6 | 0,1 | 4,9 |
| VAM | % | 16,4 | 0,7 | 15,6 | 15,6 | 0,9 | 16,6 |
| VOB | % | 69,5 | 1,8 | 76,1 | 71,3 | 3,5 | 70,6 |
| Estabilidad | kg | 1197 | 75 | 1827 | 1349 | 42 | 1614 |
| Fluencia | cm | 4,4 | 0,3 | 5,13 | 4,5 | 0,3 | 6,1 |
| Relación E/F | Kg/mm | 2708 | 74 | 3558 | 3033 | 283 | 2648 |
| IRC (RTI) | % | 93 | (*) | 87 | 83 | (*) | 96 |
| Granulometrías | | | | | | | |
| Tamiz (Abertura) | | Porcentaje pasa tamiz acumulado | | | | | |
| Tamiz 1/2" (12,7 mm) | | 87,8 | 2,5 | 85,0 | 86,2 | 4,5 | 85,0 |
| Tamiz 3/8" (9,5 mm) | | 78,7 | 4,3 | 72,4 | 78,1 | 3,3 | 72,4 |
| Tamiz N°4 (4,75 mm) | | 56,6 | 4,2 | 50,0 | 55,6 | 3,4 | 50,0 |
| Tamiz N°8 (2,36 mm) | | 36,4 | 2,1 | 37,9 | 37,9 | 3,1 | 37,9 |
| Tamiz N°200 (75 µm) | | 5,5 | 1,0 | 5,0 | 6,1 | 0,7 | 5,0 |

(*) Se determinó de una muestra

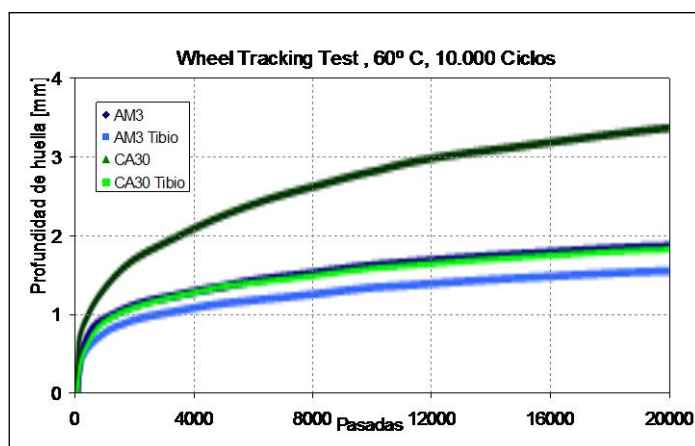
Tabla N° 3.- Resultados de las mezclas elaboradas con asfaltos convencionales

| Parámetro | Unidad | CAC D20 con CA 30 (**) | | | CAC D20 con CA30 Tibio | | |
|-----------------------|-------------------|---------------------------------|--------|---------|------------------------|--------|---------|
| | | Promedio | Desvío | Fórmula | Promedio | Desvío | Fórmula |
| Densidad Aparente | g/cm ³ | 2,362 | 0,002 | 2,423 | 2,364 | 0,004 | 2,413 |
| Vacíos | % | 6,7 | 0,7 | 3,6 | 6,3 | 0,2 | 3,7 |
| Asfalto | % | 4,4 | 0,2 | 5,0 | 4,4 | 0,1 | 5,0 |
| VAM | % | 17,1 | 0,1 | 15,7 | 16,6 | 0,2 | 15,8 |
| VOB | % | 61,2 | 3,0 | 77,0 | 62,3 | 0,9 | 76,5 |
| Estabilidad | kg | 1010 | 4 | 1427 | 1051 | 43 | 1154 |
| Fluencia | cm | 3,1 | 0,1 | 3,5 | 3,3 | 0,1 | 3,3 |
| Relación E/F | Kg/mm | 3284 | 165 | 4040 | 3259 | 92 | 3503 |
| IRC (TI) | % | 81 | (*) | 93 | 89 | (*) | 86 |
| Granulometrías | | | | | | | |
| Tamiz (Abertura) | | Porcentaje pasa tamiz acumulado | | | | | |
| Tamiz 1/2" (12,7 mm) | | 84,8 | 5,0 | 85,0 | 88,5 | 1,9 | 85,0 |
| Tamiz 3/8" (9,5 mm) | | 75,4 | 4,7 | 72,4 | 80,2 | 0,8 | 72,4 |
| Tamiz N°4 (4,75 mm) | | 59,0 | 4,0 | 50,0 | 61,3 | 0,5 | 50,0 |
| Tamiz N°8 (2,36 mm) | | 41,3 | 3,2 | 37,9 | 42,5 | 0,7 | 37,9 |
| Tamiz N°200 (75 µm) | | 6,2 | 0,4 | 5,0 | 6,6 | 0,1 | 5,0 |

(*) Se determinó de una muestra

(**) Resultados de 2 muestras

Gráfico N° 2.- Ensayo de rueda cargada (Bolzán et al, 2010)



La resistencia a la deformación plástica de las distintas mezclas asfálticas fue analizada en laboratorio por Bolzán et al, a través del Ensayo de Rueda Cargada (Wheel Tracking Test); los resultados obtenidos se incorporan en el Gráfico N° 2. Asimismo, el citado trabajo contiene otros resultados de interés (curvas maestras de módulo de probetas Marshall, ensayos sobre asfaltos vírgenes y recuperados de las mezclas, otros).

Densidades obtenidas con nucleodensímetro y de testigos

La trabajabilidad de una mezcla asfáltica depende de su composición y de la temperatura y está relacionada en forma directa con la eficiencia del proceso de compactación.

En este caso, las diferencias entre las distintas mezclas se encuentran en el tipo de asfalto y su temperatura de compactación. Una mezcla será más trabajable si se requiere menos energía en el proceso de compactación, dada esta por la temperatura de la mezcla o por la cantidad de pasadas de equipos de compactación. En definitiva, será más eficiente la mezcla que logre una densificación adecuada con menores temperaturas o con menos pasadas de equipos, o ambas.

Se efectuaron dos experiencias, una de laboratorio y otra de campo. En laboratorio, con muestras de planta, se elaboraron probetas Marshall con temperaturas crecientes y se determinaron sus densidades (Gráfico N° 3). En campo, sobre la mezcla extendida, se midió con nucleodensímetro (marca Troxler, modelo 1440) el aumento de la densificación con el número de pasadas de los equipos de compactación (Gráfico N° 4).

Finalmente, en jornadas posteriores se extrajeron testigos de manera aleatoria de los distintos tramos ejecutados. Sobre ellos se determinó su densidad. Estos resultados se informan en la Tabla N° 4.

Gráfico N° 3.- Influencia de la temperatura en la densidad de probetas Marshall

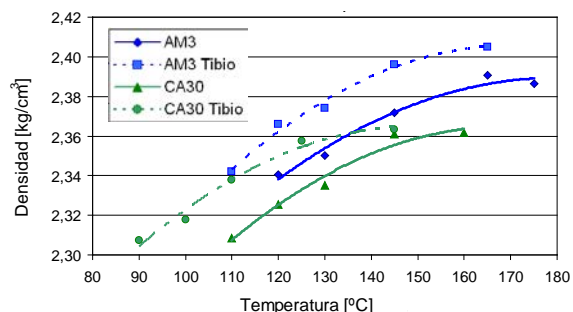


Gráfico N° 4.- Densificación de la mezcla vs pasadas de equipos

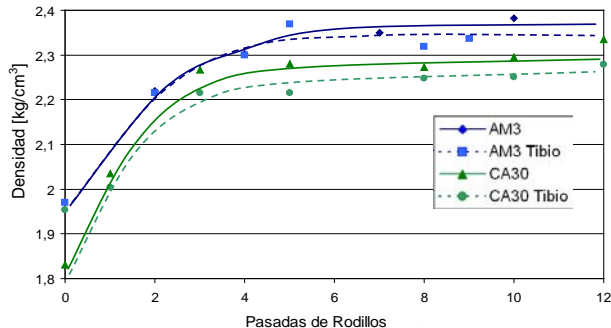


Tabla N° 4.- Densidades de testigos

| Mezcla | Densidad | | Densificación | |
|------------|----------------------|--------|---------------|--------|
| | [g/cm ³] | | [%] | |
| | Promedio | Desvío | Promedio | Desvío |
| AM3 | 2,351 | 0,039 | 98,4 | 1,6 |
| AM3 Tibio | 2,325 | 0,020 | 97,3 | 0,8 |
| CA30 | 2,288 | 0,087 | 96,8 | 3,6 |
| CA30 Tibio | 2,240 | 0,085 | 94,3 | 3,6 |

Medición de emisiones

Las mediciones de emisiones de contaminantes como Dióxido de Carbono, Oxidos de Nitrógeno, Dióxido de Azufre se efectuaron en planta durante la elaboración de la mezcla y en obra durante la colocación. Los compuestos volátiles VOC fueron medidos en el lugar de trabajo. Las mediciones obtuvieron con un equipo portátil marca ION Science modelo PHOCHECK+ tomando como referencia lo establecido en la Resolución General 295/03.

Los resultados han mostrado la reducción en el dióxido de carbono entre el 12 y 40%, el SO₂ tuvo concentraciones por debajo de valores medibles, todos los resultados de emisiones fueron por debajo de los límites establecidos por el Decreto 3395/96.

Durante la jornada de trabajo correspondiente a la construcción de los tramos experimentales con asfalto convencional (del tipo CA-30) y convencional tibio se efectuaron mediciones de VOC's en las áreas cercanas a la cola de la terminadora.

DISCUSIÓN

A través de los resultados de los ensayos de las muestras de planta, se observa cierto desvío respecto a los valores de fórmula en los contenidos de asfalto y granulometrías, no obstante ellos, comparando entre mezclas, estos parámetros son similares entre sí pudiendo establecerse comparaciones válidas. Analizando los resultados obtenidos puede decirse que el comportamiento de las mezclas con asfalto con y sin aditivo es semejante.

Las mezclas elaboradas con CA30 y CA30 Tibio no presentan diferencias notables. La mezcla elaborada con AM3 Tibio presenta mejores resultados en sus parámetros mecánicos. Todas las mezclas cumplen con la especificación de susceptibilidad al agua: Índice de Resistencia Conservada por Tracción Indirecta (IRC).

Analizando las curvas de “Densidad vs. Temperatura” (Gráfico N° 3) se observa un desplazamiento hacia la izquierda de los asfaltos que poseen aditivo en un rango entre los 20 y 25 °C. Asimismo las mediciones obtenidas en campo con el nucleodensímetro, indican que aparecen incrementos de la densificación comparables con el paso de los equipos compactadores. Es interesante haber podido observar y medir este comportamiento, pues las mezclas tibias se compactaron a temperaturas inferiores de entre 25 y 40 °C. En definitiva se ha podido verificar la bondad del producto durante la puesta en obra, sin que se vea afectado el proceso constructivo tradicional por el uso de esta nueva tecnología.

Las densidades aparentes sobre los testigos de los pavimentos ejecutados con asfalto AM3 y AM3 Tibio muestran un grado de compactación aceptable y prácticamente igual entre sí. En cambio, los resultados alcanzados cuando se empleó asfalto CA30 y CA30 Tibio muestran una gran variabilidad atribuible fundamentalmente al estado irregular (adoquines) en que se encontró la base de apoyo para la mezcla asfáltica lo que afectó finalmente la ejecución de estos tramos.

Con el ensayo de rueda cargada, se observa que todas las mezclas tienen deformaciones finales bajas al igual que la velocidad de deformación. Las curvas del Gráfico N° 2 muestran que la mezcla elaborada con asfalto CA30 con aditivo tuvo los mismos resultados que las mezclas con asfaltos modificados.

CONCLUSIONES

La reducción de temperaturas buscada fue lograda en la elaboración y colocación de las mezclas con asfaltos con aditivos. A partir de ello se concluye que:

- La mezcla conformada con asfalto modificado tibio (AM3 Tibio) tuvo igual o mejor comportamiento que su equivalente con asfalto modificado sin aditivo (AM3) en todos los parámetros evaluados.
- Las mezclas conformadas con asfalto convencional con y sin aditivo (CA30 Tibio y CA30) tuvieron comportamientos similares, pero la elaboración con menores contenidos de asfalto en ambos casos y la ejecución de ambos tramos presentó inconvenientes que deberían ajustarse en próximas experiencias.
- La medición de emisiones en planta y en obra demostró la disminución de CO₂ en las mezclas tibias.

En definitiva, con los resultados obtenidos en estas pruebas se demostró que es posible el empleo de estas tecnologías en Argentina cuando se aplican correctamente los procesos de ejecución del pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Report N° FHWA-PL-08-007, WARM MIX Asphalt: European Practice, DOT Federal Highway Administration, 2008
- Bisio, A.-Nuevas tecnologías en mezclas asfálticas. XXXV Reunión del Asfalto, 2008
- PE Bolzán, AA Bisio, M Balige, D Giménez, Mezclas Asfálticas En Caliente Elaboradas Y Compactadas A Menores Temperaturas, XXXVI Reunión del Asfalto, 2010.
- NCHRP 9-47, Engineering Properties, Emissions, and Field Performance of Warm Mix Asphalt Technologies. Interim Report prepared for National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of The National Academies. 2008.
- GC Hurley, BD Prowell, Evaluation of Potential Processes for Warm Mix Asphalt, AAPT 2009.
- E Harm, IDOT, A State's View of Warm Mix Asphalt Technology.
- Warmmixasphalt.com