

CONSIDERACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ASFALTOS MODIFICADOS EN LOS MÉTODOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Oscar Giovanon¹, Marta Pagola²,
Juan Pablo Raffaelli³

¹ Laboratorio Vial IMAE UNR, Pellegrini 250 Rosario Argentina, giovanon@fceia.unr.edu.ar

² Laboratorio Vial IMAE UNR, Pellegrini 250 Rosario Argentina, pagola@fceia.unr.edu.ar

³ Laboratorio Vial IMAE UNR, Pellegrini 250 Rosario Argentina, jpraffa@fceia.unr.edu.ar

Resumen

Son reconocidas las aptitudes de las mezclas con asfalto modificado en su uso como carpetas de rodamiento de altas prestaciones, permitiendo construir superficies con adecuada macrotextura, y con una excelente resistencia al ahuellamiento y fisuración de la propia capa. Sin embargo, su contribución al comportamiento del paquete estructural no siempre es considerado adecuadamente e incluso suele ser asumido como el de una mezcla convencional sin mediar un análisis particular.

En el presente trabajo se analiza la contribución de este tipo de material en diferentes situaciones, dado que su contribución al comportamiento estructural dependerá de distintos aspectos como ser: el tipo de falla esperado como crítico, la ubicación de la capa como base y/o rodamiento y el entorno climático en el que se encuentre.

Finalmente se propicia el uso de métodos de diseño empírico mecanicista como la herramienta adecuada para analizar la real contribución de este tipo de materiales.

Palabras Clave: asfaltos modificados, diseño estructural, comportamiento

1 Introducción

El aumento del uso de mezclas modificadas fue fomentado en gran parte por la relevancia brindada a lograr en las carpetas de rodamiento de adecuadas características de superficie desde el punto de vista de la seguridad de los usuarios, priorizando alcanzar una buena macrotextura inicial y asegurar que esta se mantenga en el tiempo.

Pero las ventajas de su utilización desde el punto de vista del comportamiento estructural no se vieron siempre reflejadas en el diseño estructural. Su consideración en Argentina y especialmente en ámbitos oficiales, donde fundamentalmente se aplica la metodología AASHTO 93 [1], estas mezclas son asumidas como una mezcla convencional. Dado que la metodología AASHTO 93 plantea un aporte estructural función de su rigidez en condiciones fijas, no es posible, en principio, establecer las ventajas asociadas a una menor susceptibilidad térmica ni un mejor comportamiento a fatiga.

En referencia a los agentes modificadores incorporados con el objetivo de mejorar el comportamiento en servicio existen diferentes tipos, no pudiendo generalizarse sus aptitudes. Su incorporación en las mezclas asfálticas permite lograr algunas de las siguientes cualidades:

- Adecuada Macrotextura

- Mayor resistencia a fatiga
- Excelente resistencia al ahuellamiento
- Menor susceptibilidad térmica
- Menor envejecimiento

2 Beneficios estructurales

2.1 Resistencia a fisuración por fatiga

La incorporación de modificadores provoca un aumento de la resistencia a fatiga de la mezcla asfáltica, este conocido beneficio puede valorarse en campo con ensayos acelerados o mediante la realización de diferentes ensayos de laboratorio, como el ensayo de viga en cuatro puntos que en estos momentos tiene una amplia difusión mundial.

Dentro de la numerosa bibliografía se puede citar a modo de ejemplo la publicada en el XXCILA [2], de la que se extractó la Figura 1. En ella puede visualizarse el diferente comportamiento a fatiga de tres mezclas asfálticas en caliente CAC, una convencional con cemento asfáltico de viscosidad grado 30 AC30, otra con asfalto modificado grado 3 AM3 y la tercera con una alta tasa de modificador HiMA.

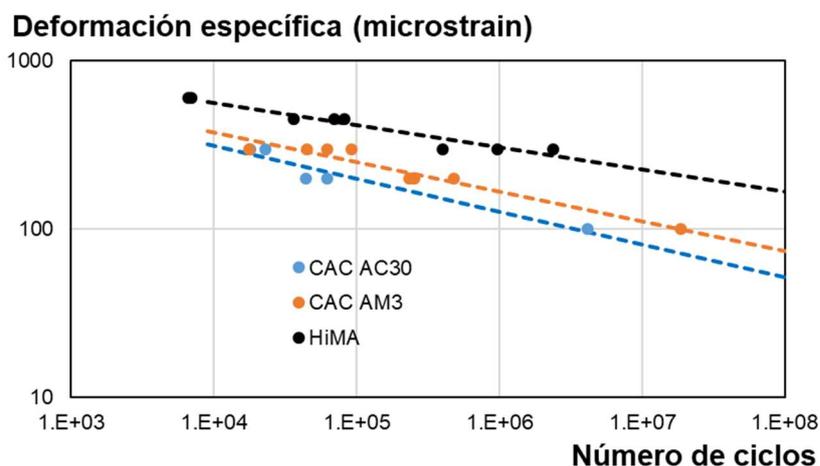


Figura 1. Evaluación de diferentes mezclas en la viga de 4 puntos

De la Figura 1 es obvio inferir que el comportamiento en servicio frente a la sollicitación a fatiga será muy diferente para las tres mezclas, resaltando especialmente la mayor vida de la mezcla con una alta tasa de asfalto modificado para iguales condiciones de deformación específica.

2.2 Resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento)

Reconociendo la existencia de factores externos a las mezclas como son la carga aplicada, la presión de inflado, la temperatura, la velocidad; en este punto se comparará el comportamiento diferente de las mezclas frente a valores constantes de estos factores.

Como es conocido, la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas se logra con el trabajo conjunto del esqueleto granular y el cemento asfáltico. El esqueleto granular colabora brindando una buena trabazón, lo que se logra evitando el uso de

áridos redondeados. Por su parte el cemento asfáltico proporciona una ligación entre los áridos, en particular los asfaltos modificados mejoran la viscosidad a las temperaturas máximas y frecuencias mínimas, aportando valores de resiliencia que permiten reducir las deformaciones plásticas.

En Argentina el ensayo de rueda cargada WTT (Wheel tracking test) cobró paulatinamente mayor relevancia como modo de acotar las características de ahuellabilidad de las mezclas, siendo en los últimos años, incluido su control dentro de las especificaciones técnicas, y acotando sus valores requeridos en función del nivel de tránsito y ubicación dentro del paquete estructural como base o rodamiento.

La Tabla 1 muestra los valores exigidos por las especificaciones técnicas generales de la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina [3], con el ensayo realizado mediante la Norma ENE EN 12697-22 Procedimiento B.

Tabla 1. Requisitos de resistencia al ahuellamiento

Tipo de capa	Clasificación por tránsito (vehículos pesados de diseño / día)			
	T1 ≥ 1500	T2 800-1499	T3 200-799	T4 ≤ 199
Rodamiento	WTS aire $\leq 0,08$ PRD $\leq 5\%$	WTS aire $\leq 0,10$ PRD $\leq 8\%$	WTS aire $\leq 0,12$ PRD $\leq 10\%$	WTS aire $\leq 0,15$ PRD $\leq 10\%$
Base	WTS aire $\leq 0,10$ PRD $\leq 8\%$	WTS aire $\leq 0,12$ PRD $\leq 10\%$	WTS aire $\leq 0,15$ PRD $\leq 10\%$	WTS aire $\leq 0,15$ PRD $\leq 12\%$

WTS aire, pendiente media en mm/1000 ciclos de carga, en el intervalo de 5000 a 10000 ciclos
PDR, profundidad media de la huella en porcentaje

La Figura 2. muestra la tendencia promedio de evolución del ahuellamiento en el ensayo WTT de diferentes tipos de mezclas compactadas en caliente, en función del número de aplicaciones de la carga. Estas tendencias fueron obtenidas a partir de 162 ensayos de rueda cargada realizados en el Laboratorio Vial del IMAE (sin descartar mezclas de mal comportamiento).

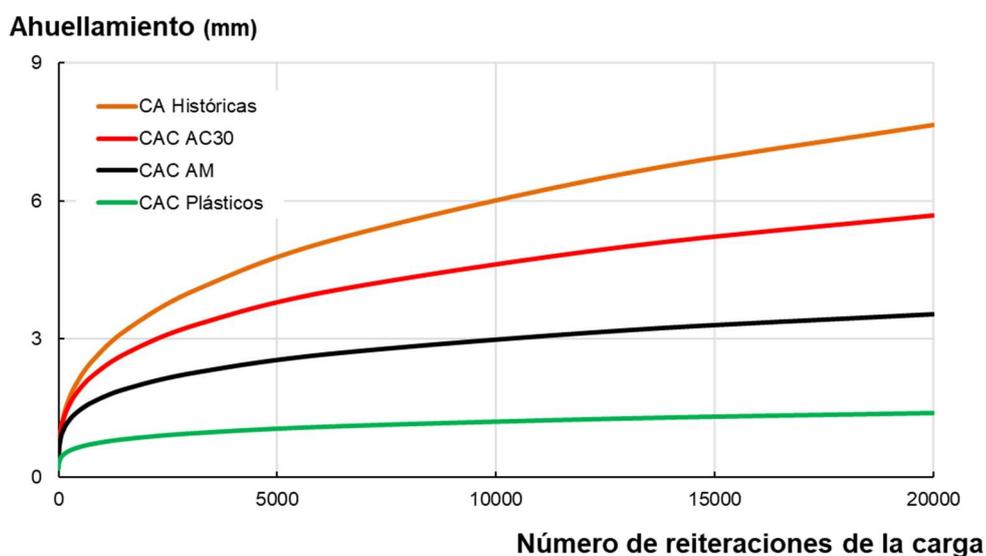


Figura 2. Comportamiento de diferentes mezclas en WTT

Como tendencia general, se observan una marcada diferencia entre las distintas tipologías, destacándose como más deformables las mezclas CAC Históricas mezclas asfálticas densas históricamente utilizadas en Argentina, donde se incluyen aquellas con cemento asfáltico de penetración 70 – 100; seguidas por mezclas tipo CAC AC30, luego CAC AM que incorporan asfaltos modificados, y finalmente como marcadamente no deformables las CAC Plásticos que son mezclas especiales realizadas con incorporación de plásticos reciclados [4].

En consecuencia, se infiere que la consideración diferenciada de las distintas tipologías en el diseño estructural, aportaría una más certera estimación del ahuellamiento en servicio.

2.3 Susceptibilidad Térmica

Sumado a lo expresado anteriormente, las estructuras se ven expuestas a las variaciones del clima donde ellas se encuentran insertas, por lo cual resulta relevante no sólo el comportamiento frente a una condición media, ponderada o extrema como se comentó previamente (el ensayo WTT se realiza a 60 °C), sino frente a la variación de las mismas, presentando especial importancia las condiciones tanto de máximas como de mínimas temperaturas.

Bajas temperaturas provocan rigidización de la mezcla, predisponiendo a fallas por fisuración, mientras que altas temperaturas provocan un reblandecimiento de la mezcla, favoreciendo las deformaciones plásticas tanto de la mezcla asfáltica en si como del resto de la estructura.

Es por ello que utilizar mezclas asfálticas con menores susceptibilidades térmicas optimiza el comportamiento estructural. A nivel de comportamiento estructural, esta característica se pone de manifiesto en el módulo dinámico de la mezcla, el que depende de los diferentes modificadores y dosajes utilizados. A modo de ejemplo, en la Figura 3, se muestran las curvas maestras de módulo dinámico a una frecuencia de 10 Hz de dos mezclas con asfaltos modificados (CAC AC30 con 6% SBS y CAC AM3) y una mezcla convencional con asfalto tipo AC30, donde se observa el diferente comportamiento modular de los tres tipos de mezclas.

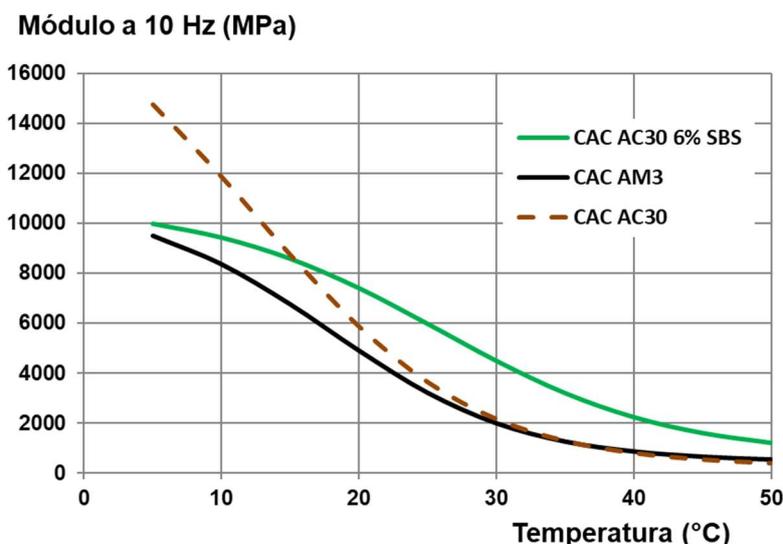


Figura 3. Curvas maestras de diferentes tipos de mezclas asfálticas

Estas mezclas serán tomadas como referencia al realizar el análisis de la valoración del comportamiento en los diferentes métodos de diseño estructural, mostrado en los siguientes puntos.

2.4 Envejecimiento y propagación de fisuras

Como es conocido los cementos asfálticos modificados presentan diferente comportamiento a los procesos de envejecimiento que los convencionales. Es habitual que luego de los ensayos de simulación del envejecimiento dado por la elaboración y posterior comportamiento en servicio (película delgada rotativa RTFOT y vasija a presión PAV) resulten menores valores de la temperatura del punto de ablandamiento y similares valores de viscosidad, a diferencia de lo que ocurre con los asfaltos no modificados. Este aspecto ocasiona indudablemente una diferenciación en el comportamiento en servicio.

Un reciente estudio del Transportation Research Board, referido al desarrollo de modelos de la propagación de fisuras de arriba hacia abajo “Top –Down” [5], pone énfasis en que el proceso de envejecimiento es uno de los principales factores que favorecen este mecanismo de falla, brindando la tendencia general de variación del módulo de superficie que se transcribe en la Figura 4, comportamiento que los autores modelan para su consideración en los métodos de diseño mecanicistas.

Se considera que el proceso de rigidización de la capa de rodamiento y posterior inicio y progreso de fisuras Top-Down tendrá un comportamiento diferente según el tipo de cemento asfáltico utilizado, planteando una diferenciación de este modo de falla en el comportamiento en servicio.

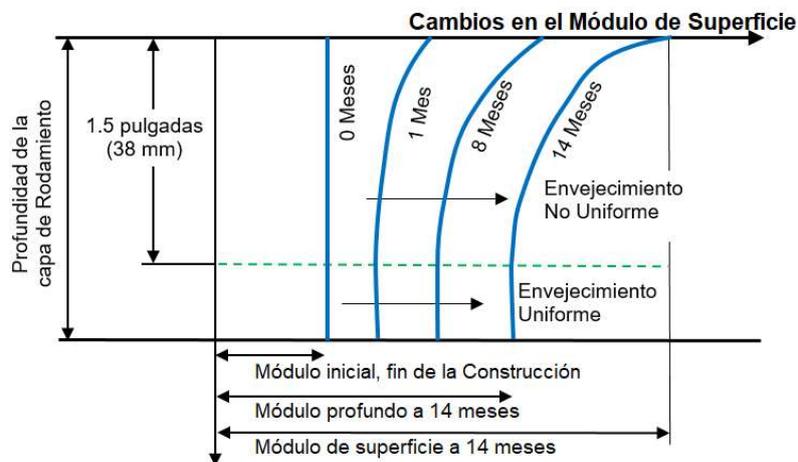


Figura 4. Tendencia del envejecimiento del módulo de la capa de rodamiento

3 Consideración en los métodos de diseño

La posibilidad de valorar específicamente la contribución de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico modificado en el comportamiento estructural, dependerá de la posibilidad de la representación de la compleja realidad por el modelo utilizado en el método de diseño. Modelo que representará más acertadamente el comportamiento en servicio en la medida que se representen los diferentes aspectos previamente comentados.

Dentro de las amplias opciones de metodologías de diseño diferenciaremos tres, las empíricas (comentando en particular la AASHTO 1993), las mecanicistas en condiciones fijas y las mecanicistas considerando condiciones variables.

3.1 Metodologías empíricas

La metodología AASHTO 1993 planteó su modelo en función del Índice de Serviciabilidad, un indicador global que agrupa un conjunto de indicadores de falla de superficie. Pero el parámetro objetivo, el número estructural, puede interpretarse como una tapada ponderada, apuntando principalmente a proteger a cada capa de deformaciones plásticas. En consecuencia, capas con módulos más elevados brindan un mayor aporte estructural.

Insistiendo en que cada mezcla merecería un análisis particular, para la mezcla mostrada en la Figura 3, caracterizada como CAC 30 6%SBS, con un módulo de 7400 MPa a 20 °C, se le podría atribuir un aporte estructural del orden de 0.22 por centímetro. Esto si se obvia la alerta por fisuración térmica o fatiga indicada en el método para módulos elevados, circunstancia que podría justificarse por el alto contenido de modificador. El coeficiente obtenido es elevado, pero es del orden del recomendado en un reciente estudio de la Universidad de Nevada finalizado en junio 2019 [6].

En el citado estudio, que consideró ensayos de laboratorio, modelado del pavimento y pruebas a escala real, se sugiere el uso de un coeficiente estructural mayor al de mezclas asfálticas convencionales, de 0.54 por pulgada (0.213 por centímetro) para las mezclas HP AC en Florida. Es importante recalcar que este estudio fue realizado con asfaltos modificados con elevados contenidos de polímeros, aproximadamente 7.5 % de SBS. Finalmente sugieren estudios adicionales con equipos simuladores para validar aún más el coeficiente estructural recomendado, en particular para detectar posibles fallas por la capa de base de agregado cubiertas con reducidos espesores de mezcla HP CA.

Pese a terminar en una recomendación del coeficiente de aporte AASHTO 1993, dentro de este estudio se utiliza un interesante programa Empírico Mecanicista [7] desarrollado dentro del Instituto de Transporte de Texas que considera en los diseños de refuerzo los fenómenos de ahuellamiento y reflejo de fisuras. Por lo que aplicando modelos diferentes a los de AASHTO 1993 pudo arribarse a un mejor comportamiento teórico, que luego se validó en ensayos a escala real.

Luego, manteniéndose dentro de la estricta metodología, para la mezcla con cemento asfáltico tipo AM3 de la Figura 3, el coeficiente de aporte estructural sería menor al de la mezcla convencional, ya que su módulo es menor. Por lo que no es factible considerar los beneficios de esta capa modificada mediante esta metodología.

3.2 Metodologías mecanicistas en condiciones fijas

Las metodologías mecanicistas en condiciones fijas, de módulos y clima representativas de una condición media y/o características, plantean que la vida útil se obtiene a partir de las sollicitaciones máximas que provocan la menor vida útil en base a los diferentes modos de falla planteados en los diferentes materiales, obteniéndose para una dada estructura un número de reiteraciones admisibles (años de vida útil) motivados por la falla atribuida a un dado material.

Se plantean aquí criterios de falla de los diferentes materiales, constituidos por ecuaciones que vinculan el número de reiteraciones admisibles para una condición de falla de superficie, con la sollicitación máxima obtenida en cada material de la estructura.

En esta metodología, el menor ahuellamiento de las capas asfálticas elaboradas con cemento asfáltico modificado no se pone de manifiesto, ya que en general, el ahuellamiento se atribuye mayoritariamente a las capas no ligadas, quedando el control de la contribución del ahuellamiento de las capas ligadas restringido a la dosificación de materiales.

En estas metodologías puede avanzarse en la consideración de un mejor comportamiento de las mezclas especiales teniendo en cuenta su destacado comportamiento a fatiga, requiriéndose entonces ensayos de fatiga que valoren su mayor aptitud; más allá de lo considerado en las tendencias generales función de su composición granulométrica y dosaje de asfalto utilizadas en las mezclas con asfaltos convencionales.

3.3 Metodologías mecanicistas con condiciones variables, incrementales

Las metodologías mecanicistas en condiciones variables representan no sólo la variación de módulos, clima y tránsito a lo largo del año, sino que con diferentes grados de aproximación pueden modelar las variaciones de comportamiento de los diferentes materiales dadas por la acción de las cargas y clima.

Las mismas poseen un modelo incremental que analiza la evolución de la estructura paso a paso (día a día, hora a hora, etc), para considerar las variaciones en el comportamiento de los materiales dadas por su historia de tensiones y maduración.

No se obtiene aquí, solamente un número de reiteraciones admisibles para una dada condición de falla sino, curvas de evolución en el tiempo de diferentes indicadores del estado de la superficie.

Se plantean en estas metodologías criterios de falla de los diferentes materiales, que se vinculan con los indicadores de estado de la calzada mediante otras funciones, usualmente denominadas de transferencia.

Si bien los métodos mecanicistas requirieron siempre de un ajuste empírico, la existencia de estas funciones de transferencia y el énfasis puesto en la necesidad de calibrarlos es la causa por la cual actualmente se los denomina como empíricos mecanicistas.

Con estas metodologías se puede avanzar aún más en la consideración detallada del comportamiento de mezclas especiales, requiriéndose para este fin de diferentes modelos que permitan poner de manifiesto en el método de diseño los diferentes comportamientos de los distintos materiales.

4 Consideración en tipos estructurales

Dada la real complejidad de las diferentes interacciones presentes en el comportamiento estructural, se analizan en este punto los aspectos de mayor relevancia, pecando quizás de simplista en alguno de ellos.

Algunas de las diferentes formas de incluir capas con asfaltos modificados dentro de la estructura se muestran como referencia en los casos indicados en la Figura 5, donde se plantea una estructura de referencia con la totalidad de las capas asfálticas

convencionales versus las diferentes opciones de utilización, de base modificada y/o carpeta de rodamiento modificada.

En los puntos siguientes se analiza el comportamiento en dos situaciones, el caso 1 donde la estructura convencional fallaría por ahuellamiento y el caso 2 donde la falla crítica sería la fisuración.

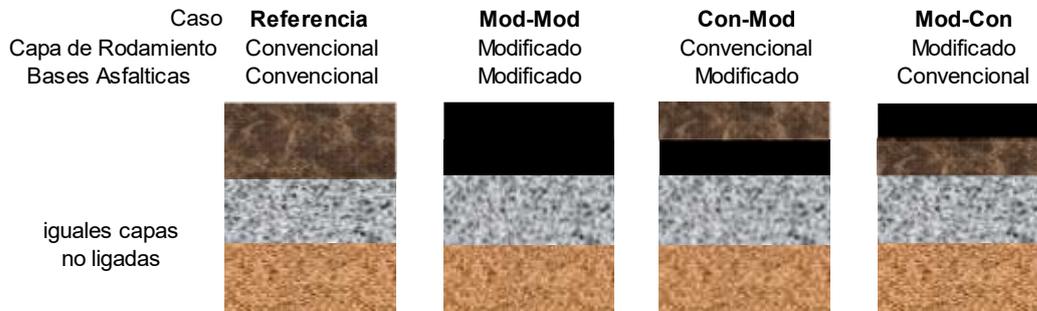


Figura 5. Esquemas estructurales utilizados para comparar

4.1. Caso 1. La estructura convencional falla notoriamente por ahuellamiento

4.1.1 Análisis estructural con metodologías mecanicistas en condiciones fijas

Si se realiza el análisis con una metodología en condiciones fijas, el aporte de la mezcla asfáltica a la reducción del ahuellamiento estructural se valora por medio de la determinación de su módulo de diseño, ver Figura 6.

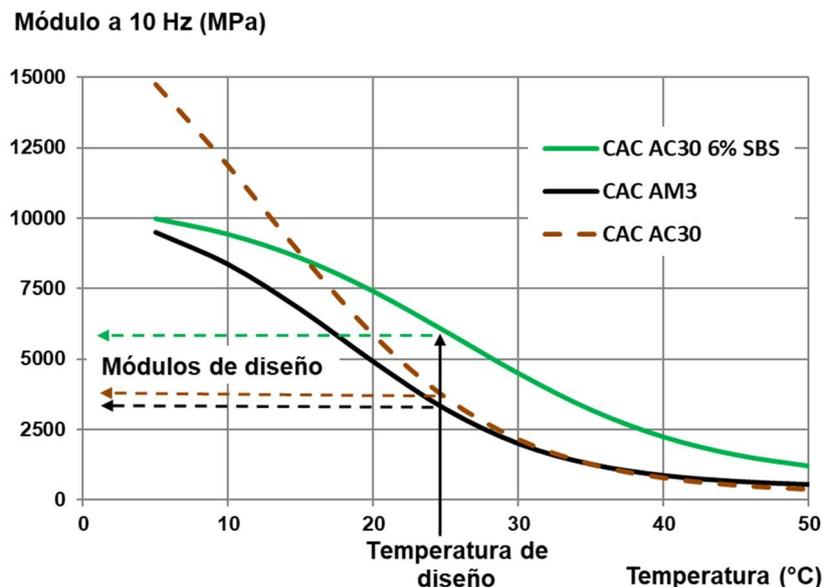


Figura 6. Adopción del módulo de diseño de la mezcla asfáltica

Con las curvas tomadas como ejemplo, el remplazo de la convencional CAC AC30 con la mezcla tipificada como CAC AM3, ya sea parcial o totalmente (base y rodamiento), podría resultar prácticamente indistinto, por la similitud de los módulos en las temperaturas de diseño, e incluso perjudicial dado que la mezcla modificada brindaría una menor protección para bajas temperaturas y su comportamiento a altas temperaturas no marca una gran diferencia.

En su lugar la mezcla CAC AC30 6%SBS con un elevado módulo en las temperaturas de diseño brindaría una ventaja, protegiendo en mayor grado a las capas no ligadas y por lo tanto brindando una mayor vida útil.

Similares consideraciones corresponden si el análisis se realiza mediante la metodología AASHTO 1993.

4.1.2 Análisis estructural con metodologías mecanicistas en condiciones variables

El análisis planteado en el punto anterior para una dada temperatura, respecto a la disminución en las deformaciones plásticas del resto de las capas, se generaliza en esta metodología a todas las temperaturas de trabajo, lográndose conclusiones similares.

Pero aquí se pondría de manifiesto una cierta ventaja de la mezcla CAC AM3 en los períodos de mayor temperatura, dado que en esta metodología el ahuellamiento se calcula como la suma de las deformaciones plásticas de todas las capas, siendo las mezclas modificadas menos deformables como se ejemplificó en el punto 2.2.

En el caso de las mezclas modificadas de mayor rigidez se pondría de manifiesto la doble ventaja de reducir tanto las deformaciones del resto de la estructura como las de la propia capa.

4.2. CASO 2 La estructura convencional falla notoriamente por fisuración

4.2.1 Análisis estructural con metodologías mecanicistas en condiciones fijas

Dada la mayor resistencia a fatiga de las mezclas modificadas, su ventaja se pondría de manifiesto al ubicarla como capa de base donde se producen normalmente los mayores esfuerzos.

En la Figura 7 se esquematizan comparativamente, los criterios de falla de una mezcla convencional y otra modificada. Se puede observar que para un esfuerzo crítico EC1, en la mezcla convencional se obtendría una vida admisible N1, mientras que en la mezcla modificada un N2 mayor. Se indica también que puede lograrse el mismo número de reiteraciones admisibles N1 en la mezcla modificada estando sometida un esfuerzo mayor EC2.

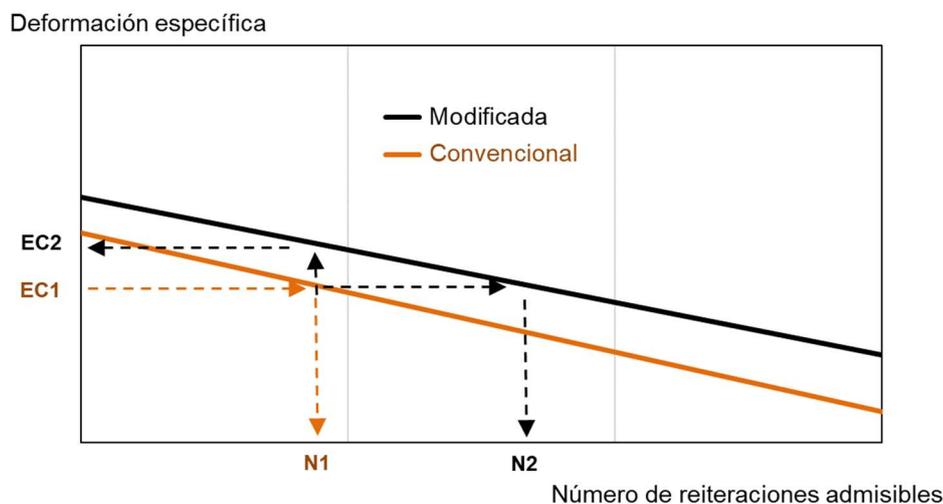


Figura 7. Ventajas de uso de mezcla modificada como base

Si el reemplazo se realiza sólo en la carpeta de rodamiento, su valoración en más o en menos dependerá del conjunto de espesores y rigideces. La valoración de variación de la vida útil con esta metodología, será en general leve.

4.2.2 Análisis estructural con metodologías mecanicistas en condiciones variables

Al análisis planteado en el punto anterior para una dada temperatura respecto a la resistencia a fatiga, se le adiciona la ventaja del mejor comportamiento a bajas temperaturas, para las cuales las mezclas con modificados se rigidizan en menor grado.

Si el reemplazo se realiza sólo en la carpeta de rodamiento, esta metodología permite considerar la variación de la vida útil en diferentes aspectos:

- la fisura que progresa desde las capas convencionales inferiores disminuirá su progreso al encontrarse con esta capa de mejor comportamiento.
- la aparición de posibles fisuras desde la superficie "Top-Down" se verán retardadas por el menor envejecimiento y el mejor comportamiento a fatiga de la capa de rodamiento modificada.

Este último aspecto también aporta una mejora en el caso que la totalidad de las capas se ejecuten con cementos asfálticos modificados.

5 Comportamiento en servicio

Una de las principales problemáticas para el ajuste de los modelos de las metodologías de diseño es disponer de suficientes datos confiables del comportamiento estructural en servicio.

Se expresa un especial deseo, en que los recientes equipamientos adquiridos por la Dirección Vialidad Nacional de Argentina brinden la posibilidad de disponer datos de resultados de laboratorio y de experiencias locales complementarias a las de largo tiempo, que permitan el ajuste de modelos a nuestras particularidades locales.

En este capítulo se ejemplifica la comparación del comportamiento de diferentes tipos de mezclas, mediante un antecedente bibliográfico y un tramo local.

5.1 Tramo experimental de referencia bibliográfica

A modo de ejemplo, en Eurobitumen 2016 [8] se publicó un interesante trabajo de seguimiento durante cinco años donde se comparó el comportamiento en escala real llegando a aplicar 20 millones de ejes equivalentes "ESALs", de:

- 178 mm de mezclas asfálticas estándar, sección S9, versus
- 146 mm de HiMa 7.5% SBS, sección N7

Respecto a la evolución de las fisuras, se evidenció un comportamiento superior de la sección N7 con HiMA, no presentando en febrero de 2014 fisuras y en cambio en la convencional S9, se evaluaron en las huellas 12% y 21% de fisuras, momento en que se repararon en parte para continuar luego con el ensayo. Los autores citan que inesperadamente, el agrietamiento en N7, aunque similar en apariencia y muy posterior, resultó ser un agrietamiento superficial de arriba hacia abajo.

Respecto al ahuellamiento, en la Figura 7, extraída de la citada bibliografía, se muestra la evolución del ahuellamiento de ambas secciones conjuntamente con el número de reiteraciones aplicadas. Se evidencia un menor ahuellamiento en la sección N7 durante todo el período, hasta el año 2014 en que se realizaron

reparaciones en la sección S9.

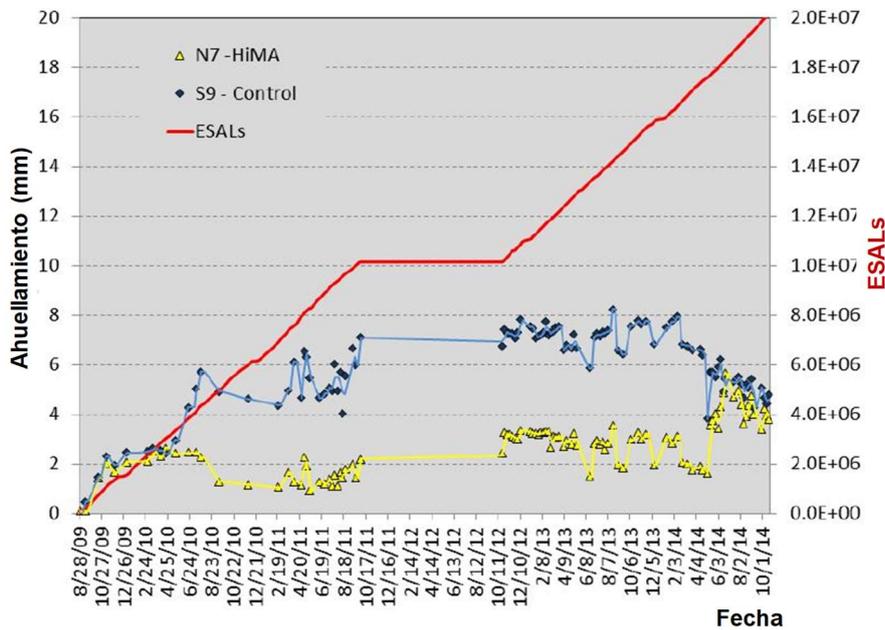


Figura 7. Evolución del ahuellamiento en las secciones N7 y S9

Los autores concluyen finalmente que es posible el reemplazo de mezclas convencionales por menores espesores de mezclas altamente modificadas logrando incluso mejores comportamientos.

5.2 Tramo de ruta nacional con carpeta de CAC AM3

Se analiza el comportamiento medio en servicio de un tramo de ruta nacional sometido a un tránsito anual del orden de 1.5 millones de ejes equivalentes de 80 KN y cuya estructura se muestra en la Tabla 2 y tiene mezcla con cemento asfáltico modificado solo en la carpeta de rodadura.

Tabla 2. Estructura del tramo analizado

Material	Espesor (mm)	Módulo (MPa)
Mezcla CAC AM3	30	variable*
Mezcla CAC AC30	60	variable*
Mezcla CAC AC30	80	variable*
Base granular	200	365
Suelo cal	200	195
Subrasante	---	85

(*) dependiente de frecuencia, temperatura, envejecimiento y daño

Se dispone de datos de evaluaciones estructurales y de estado, que posibilitaron el ajuste de los modelos del programa empírico mecanicista BackVide [9] en su modalidad incremental, logrando calcular los módulos de trabajo y representar en el modelo el mismo comportamiento medio evaluado hasta los 14 años de servicio.

Para evidenciar las posibles interacciones de los factores comentados en puntos anteriores, se simularon en el modelo el comportamiento de dos estructuras adicionales. Una de ellas donde las capas asfálticas están íntegramente compuestas por la mezcla convencional CAC AC30 y la otra íntegramente por la mezcla con modificado CAC AM3.

La Tabla 3 muestra los valores de ahuellamientos máximos medidos y estimados por el modelo.

Tabla 3. Ahuellamiento máximo para las diferentes estructuras

Ahuellamiento (mm)	Sólo carpeta CAC AM3	Íntegramente (**) CAC AC30	Íntegramente (**) CAC AM3
Total de la estructura	11 (*)	11	8
Mezclas asfálticas	4	4	1.5
Capas no ligadas	7	7	6.5

(*) valores medios medidos

(**) valores medios simulados

En referencia al ahuellamiento el modelo sólo plantea una mejora significativa al reemplazar la totalidad de las capas asfálticas por la mezcla con modificado.

Por su lado la Figura 8 muestra las diferencias en la evolución del porcentaje total de fisuras para los tres casos, evidenciándose aquí una notoria disparidad entre las tres estructuras, según la predicción del modelo. La curva azul corresponde al modelo ajustado con el comportamiento real medido en la estructura.

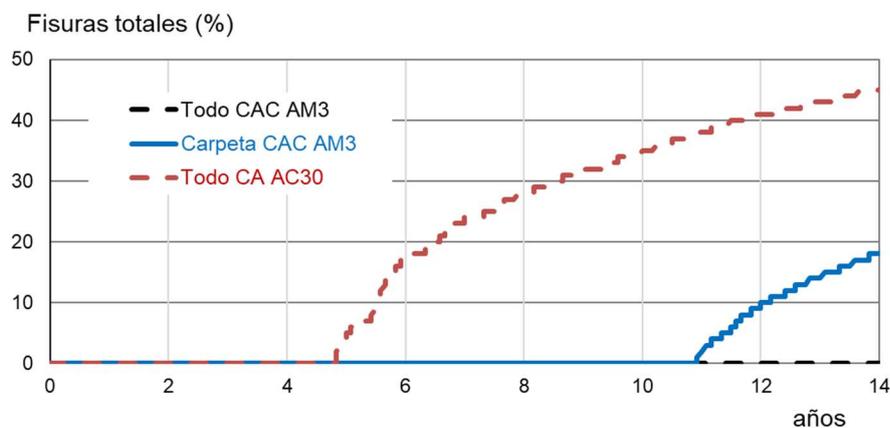


Figura 8. Evolución del porcentaje total de fisuras

La realización de la estructura con todas las capas asfálticas con mezcla convencional provocaría la falla por fisuración en superficie prácticamente a la mitad del tiempo observado en la estructura real. Esta circunstancia se produjo en el modelo, principalmente al poner de manifiesto el envejecimiento de la carpeta de rodamiento, modelo de envejecimiento que se desestimó en la mezcla con modificado. De no considerar el envejecimiento en la carpeta con convencional la diferencia hubiera sido de sólo un año y medio.

El reemplazo del conjunto de las mezclas por el material con modificado plantea la inexistencia de fisuras en el período analizado.

El análisis realizado no pretende plantear tendencias de comportamiento, por el

contrario, el objetivo es evidenciar la posibilidad de incluir en los programas empírico mecanicistas modelos que permitan poner de manifiesto las ventajas de utilización de mezclas con asfaltos modificados.

Hecho que ineludiblemente requerirá de la realización de ensayos de caracterización específicos de las mezclas, que permitan obtener diferentes tendencias de comportamiento en laboratorio, para posteriormente ajustarlas al comportamiento en servicio mediante experiencias locales a escala real.

6 Conclusiones

Se analizaron diferentes casos teóricos, donde las contribuciones de las mezclas asfálticas elaboradas con cementos asfálticos modificados dependen de múltiples factores asociados tanto a la mezcla como al clima y su ubicación dentro del paquete, dificultando la generalización de su real potencial.

Si bien se reconocen muy importantes esfuerzos para lograr la valoración de un coeficiente de aporte estructural de las mezclas especiales en los métodos empíricos, los propios autores resaltan su validez solamente en casos particulares.

La posibilidad de valorar específicamente la contribución de la mezcla asfáltica modificada en el comportamiento estructural dependerá de la exhaustiva representación de la compleja realidad por el modelo utilizado en el método de diseño. Hecho que ineludiblemente requerirá de la realización de ensayos de caracterización específicos de las mezclas, que permitan obtener diferentes tendencias de comportamiento en laboratorio; para posteriormente ajustarlas al comportamiento en servicio mediante experiencias locales a escala real.

Se expresa un especial deseo, en que los recientes equipamientos adquiridos por la Dirección Vialidad Nacional de Argentina brinden la posibilidad de disponer datos de resultados de laboratorio y de experiencias locales complementarias a las de largo tiempo, que permitan el ajuste de modelos a nuestras particularidades locales.

7 Referencias

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials. "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures" 1993.
- [2] Pfeiff, C. M. Kroger, I. y Ferrín, L. "Análisis Comparativo del Desempeño de Cementos Asfálticos Altamente Modificados". XX Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Guadalajara (Méjico), pp. 1981-1993, 2019.
- [3] Dirección Nacional de Vialidad Argentina "Pliego de Especificaciones Técnicas Generales" www.argentina.gob.ar/obras-publicas/vialidadnacional/institucional/normativa/investigacion-y-desarrollo, 2019.
- [4] Cahuape Casaux, M. Angelone, S. Martinez, F. Marcela, B. Berardo, A. "Seguridad y Sustentabilidad en la construcción de carreteras. Estudio del empleo de plásticos reciclados para la reducción del ahuellamiento en mezclas asfálticas". XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Rosario (Argentina), 2016.
- [5] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. "A Mechanistic Empirical Model for Top Down Cracking of Asphalt Pavements Layers". Washington (USA). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25304>, 2018.
- [6] Habbouche, J. Hajj, E. Y. and. Sebaaly, P. E. "Structural Coefficient for High Polymer Modified Asphalt Mixes". Final Report. Pavement Engineering & Science Program Department of Civil and Environmental Engineering University of Nevada (USA), 2019.

- [7] Zhou, F. Hu, S. Hu, X. and Scullion, T. "Mechanistic-Empirical Asphalt Overlay Thickness Design and Analysis System", Report No. FHWA/TX-09/0-5123-3, Instituto de Transporte de Texas (USA), 2009.
- [8] Klutz, R. Dongré, R Powell, . B. Willis, R. Timm, D. "Long term performance of a highly modified asphalt pavement and application to perpetual pavement design" 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Prague (Czech Republic), 2016.
- [9] Giovanon, O. Pagola, M. "Modelo Mecanicista Empírico para Análisis de Pavimentos Fflexibles desarrollado en Argentina". XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Córdoba (Argentina), 2012.