

IAG218-01-2013
**BENEFICIOS DE LA INCLUSIÓN DE CAL EN MEZCLAS BITUMINOSAS
PARA PAVIMENTACIÓN EN REGIONES CON TEMPERATURAS
PREDOMINANTEMENTE BAJAS PERO AFECTADAS POR EL CAMBIO
CLIMÁTICO**
**BENEFÍCIOS DA INCLUSÃO DE CAL EM MISTURAS BETUMINOSAS
PARA PAVIMENTAÇÃO EM REGIÕES COM TEMPERATURAS
PREDOMINANTEMENTE BAIXAS, MAS AFETADOS PELAS
ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

Hugo Bianchetto
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Avellaneda
Avellaneda, Argentina
hbianchetto@fra.utn.edu.ar

Cecilia Soengas
LEMAC - Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata
La Plata, Argentina
csoengas@frlp.utn.edu.ar

Alfredo Asurmendi
LAPIV – Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata
La Plata, Argentina
alfredoasurmendi@yahoo.com.ar

Resumen

Este trabajo se circunscribe en una línea de investigación, iniciada en 2009, destinada a evaluar las posibles variaciones del grado de comportamiento de las mezclas asfálticas debido a la incorporación racional de rellenos minerales cálcicos activos, específicamente cal hidráulica comercial. Debido al cambio climático sufrido dramáticamente en varias regiones del globo, particularmente en la Patagonia Austral, se pensó en el diseño de mezclas bituminosas con ligantes convencionales que pudiesen, mediante una dosificación adecuada, optimizar sus propiedades en zonas con temperaturas predominantemente bajas pero con registros térmicos cada vez más elevados durante la época estival. Para tal propósito se experimentaron mezclas densas elaboradas con cementos asfálticos CA-10 y CA-30, según la caracterización por viscosidades, o clasificados por penetración como 70/100 y 50/60, respectivamente; cabe destacar que otrora se utilizaban en el extremo sur de Argentina asfaltos de penetración mayor a 100. A fin de poder comparar las eventuales mejoras del aporte de cal se utilizaron métodos de caracterización funcionales, como el grado de performance PG de SHRP y el Método Universal de Caracterización de Ligantes de la Universidad Politécnica de Cataluña. Se exponen los ensayos y determinaciones efectuados en mezclas con y sin la incorporación de cal como filler, orientados a evaluar los resultados obtenidos. Las conclusiones reafirman las hipótesis de partida,

lográndose comportamientos cuali-cuantitativamente superiores a los previstos por la caracterización PG, especialmente a bajas temperaturas, incrementándose efectivamente las prestaciones de los ligantes estudiados.

Resumo

Este trabalho se circunscreve numa linha de investigação, iniciada em 2009, destinada a avaliar as possíveis variações do grau de comportamento das misturas asfálticas devido à incorporação racional de recheios minerais cálcicos ativos, especificamente cal hidráulica comercial. Devido à mudança climática sofrida dramaticamente em várias regiões do globo, particularmente na Patagônia Austral, pensou-se no desenho de misturas betuminosas com ligantes convencionais que pudessem, mediante uma dosagem adequada, otimizar suas propriedades em zonas com temperaturas predominantemente baixas, mas com registros térmicos a cada vez mais elevados durante a época estival. Para tal propósito experimentaram-se misturas densas elaboradas com cimentos asfálticos CA-10 e CA-30, segundo a caracterização por viscosidades, ou classificados por penetração como 70/100 e 50/60, respectivamente; é pra destacar que outrora no extremo sul da Argentina se utilizavam asfaltos de penetração maior a 100. A fim de poder comparar as eventuais melhoras do contribua de cal utilizaram-se métodos de caracterização funcionais, como o grau de desempenho PG de SHRP e o Método Universal de Caracterização de Ligantes da Universidade Politécnica de Catalunha. Expõem-se os ensaios e determinações efetuados em misturas com e sem a incorporação de cal como *filler*, orientados a avaliar os resultados obtidos. As conclusões reafirmam as hipóteses de partida, conseguindo-se comportamentos qualitativa e quantitativamente superiores aos previstos pela caracterização PG, especialmente a baixas temperaturas, incrementando-se efetivamente as prestações dos ligantes estudados.

INTRODUCCION

Se define como “mezcla bituminosa” al “material compuesto por agregados pétreos y un ligante bituminoso como aglomerante”. Tal acepción soslaya a un componente que debiera considerarse obligatorio por ser fundamental para garantizar varias de sus propiedades deseables: el *filler* o relleno mineral de aportación.

El filler cumple tres funciones en las mezclas asfálticas: reduce los vacíos de la estructura granular de los áridos, optimiza las características reológicas del asfalto e incrementa la durabilidad de las mezclas. En rigor el filler constituye, junto con el ligante, el medio continuo que envuelve y aglomera a los áridos: el mástico, más espeso y tenaz que el asfalto sólo, que mejora la adherencia y, por proveer una película de recubrimiento de mayor espesor, permite asimismo retardar los procesos de envejecimiento.

Un diseño apropiado del mástico asegura en las mezclas una adecuada flexibilidad y mayor durabilidad y resistencia a la fatiga. Los condicionantes para la adición de filler se relacionan con sus características (los derivados de materiales cálcicos son altamente ventajosos) y con su grado de concentración en el sistema filler-betún; un exceso de filler provoca rigidización y redundancia en

un rápido agotamiento de su respuesta resistente ante las sollicitaciones, en tanto que su ausencia privará a la mezcla de beneficios que potencian, a veces drásticamente, sus cualidades.

Las propiedades del filler han sido objeto de numerosas investigaciones, algunas legendarias, como las de Ruiz (1947), quien define una “concentración crítica” del sistema filler-betún que limita la proporción de relleno mineral, permitiendo un aumento de la resistencia al corte de las mezclas pero sin comprometer el fluir viscoso del ligante, evitándose así la rigidización, y las de su contemporáneo Ridgen (1947), que describió la necesidad de acotar la relación filler /betún a partir de los conceptos de "volumen bruto" (el ocupado por las partículas de filler compactado y por los huecos de sus intersticios), “betún fijo” (asfalto requerido para llenar un cierto tenor de vacíos) y “betún libre” para lubricar el sistema filler-betún y disminuir la rigidez del mástico. Así, la influencia del filler en el espesamiento del ligante es una razón de volumen y no de peso; la cal, por sus características de forma, finura, superficie específica, rugosidad y actividad superficial, posee un mayor poder espesante que, por ejemplo, el cemento y el polvo calizo, alcanzando una concentración crítica con menores proporciones.

En lo referente a la durabilidad de las mezclas, la cal contribuye a la adherencia árido-ligante, ofreciendo mejor respuesta frente a la desenvuelta de la película bituminosa fina por acción del agua; a mejorar la resistencia a fatiga (Kim et al., 2003); y a incrementar la resistencia al envejecimiento al oponerse a los causales de la volatilización de las fracciones livianas del asfalto y de la oxidación, pues capta catalizadores existentes naturalmente en el betún y atrae moléculas polares que de estar libres interaccionarían con los nuevos productos de la oxidación, como los carboxilos (aldehídos, cetonas, ácidos) y los sulfóxidos que se encuentran en longitudes de onda características de los espectrofotogramas infrarrojos (Agnusdei e Iosco, 1989).

Este trabajo se encuadra en una línea de investigación orientada a desarrollar una metodología que permita mejorar el nivel de prestación de las mezclas asfálticas, en particular en zonas con temperaturas predominantemente frías pero que suelen sufrir las consecuencias de registros térmicos relativamente elevados en época estival, hecho que se ha exacerbado con el cambio climático de las últimas décadas, por ejemplo, en la Patagonia Austral continental. Se ha priorizado el estudio funcional de las mezclas bituminosas con una estrategia basada en los fundamentos del programa SHRP y del método Universal de Caracterización de Ligantes UCL[®] (Pérez y Miró, 1995), pero atendiendo a usufructuar los beneficios de la adición racional de cal; de tal modo, se ha podido definir el “Grado de Comportamiento Funcional” (GCF) de los ligantes bituminosos, que es una variante del PG de SHRP con la cual se intenta una mayor representatividad del real desempeño del asfalto en mezclas convenientemente fillerizadas.

DEFINICIÓN DEL GRADO DE COMPORTAMIENTO FUNCIONAL (GCF) DE UN ASFALTO EN UNA MEZCLA. CRITERIO PROPUESTO PARA SU OPTIMIZACIÓN

Se pretende definir un procedimiento simple pero representativo para establecer el Grado de Comportamiento Funcional (GCF), válido para un ligante asfáltico en una mezcla bituminosa determinada. El desempeño de un asfalto depende no sólo de sus cualidades intrínsecas sino también de los otros materiales que integran el aglomerado bituminoso y de sus proporciones relativas, al punto que un mismo ligante, empleado en mezclas diferentes, puede poseer distintos GCF; por ende, una selección adecuada de materiales y una correcta dosificación permitirían

mejorar las características finales de la mezcla y, eventualmente, provocar un “incremento” de su grado de performance (“*upgrade*”). Se apunta, esencialmente, a desarrollar un criterio simple para optimizar las cualidades del conjunto mediante la adición racional de filleres activos.

Las mezclas densas empleadas en estas experiencias fueron diseñadas con la metodología Marshall y su envejecimiento se realizó en laboratorio en forma acelerada según el procedimiento descrito por la norma AASHTO PP2-00; para la evaluación cuantitativa de sus comportamientos a bajas y a altas temperaturas se empleó el reómetro DSR en los asfaltos recuperados de las mezclas envejecidas a largo plazo y el Wheel Tracking Test (WTT) en las mezclas sometidas a un envejecimiento a corto plazo, incluyéndose también ensayos sobre mezclas patrón abiertas del Método UCL con la consiguiente representación de las “Curvas de Estado” que permiten ponderar el comportamiento cohesivo de probetas Marshall fabricadas con mezclas con y sin filler de adición, a diferentes temperaturas y niveles de envejecimiento en el ensayo Cántabro de pérdidas por desgaste (Bianchetto et al., 2007) y correlacionar sus resultados con los obtenidos en las mezclas densas Marshall para terminar así de precisar el GCF de los ligantes.

Grado de Comportamiento Funcional Superior

Para la obtención de su *Performance Grade* superior, la metodología SHRP prevé, en primera instancia, el empleo del “Reómetro de Corte Dinámico” (Dynamic Shear Rheometer, DSR), sobre el asfalto virgen, a fin de determinar el “módulo complejo” G^* y el “ángulo de fase” δ , a una frecuencia de 10 Hz y a diversas temperaturas preestablecidas para establecer la máxima que asegure que el “Factor de Ahuellamiento”, $G^*/\sin \delta$, sea superior a 1,00 kPa. El objetivo es garantizar que las deformaciones plásticas no comprometan la serviciabilidad vial. Se verifica además que la viscosidad rotacional a 135°C sea menor a 3 Pa.s y que el punto de inflamación, por razones de seguridad operativa, exceda los 230°C. Así se obtiene el PG superior del ligante, máxima temperatura a la que debe considerarse apto para su empleo en mezclas asfálticas.

En este trabajo, para analizar el GCF superior (temperatura máxima de performance funcional) y dado que la condición más desfavorable es la mezcla “joven”, se consideró evaluar directamente la falla más representativa, que es el ahuellamiento. Se confeccionaron módulos para el Wheel Tracking Test de mezclas con y sin cal, previo sometimiento a un envejecimiento a corto plazo siguiendo los postulados del procedimiento STOA (Short Term Oven Aging) de SUPERPAVE que consiste en someter a la mezcla bituminosa, recién preparada y en estado suelto, a un calentamiento en estufa a 135°C con aireación forzada durante 4 horas. Luego se ensayaron los especímenes de WTT a la temperatura máxima PG según SHRP del ligante utilizado y, para verificar si se logra una sobregraduación o, al menos, una mejora parcial gracias a la adición de cal, se procedió posteriormente a ensayar a la mezcla fillerizada a temperaturas más elevadas.

En el Método UCL, la “temperatura máxima” admisible para el ligante se obtiene analizando, en las *Curvas de Estado* (Pérdidas vs. Temperaturas de Ensayo), el “límite de inconsistencia” de las mezclas cuando se ensayan las probetas a elevadas temperaturas, parámetro éste que se especifica fijando un “umbral” máximo de pérdidas por desgaste. Se comparan los porcentajes de pérdidas de las mezclas sin y con cal envejecidas a corto plazo y la evaluación de los resultados permite corroborar o rectificar los GCF máximos de los asfaltos en las mezclas densas estudiadas.

Grado de Comportamiento Funcional Inferior

Para establecer el PG inferior, en la metodología SHRP se procede a envejecer al ligante en dos etapas, con diferentes ensayos en cada una de ellas. Inicialmente, se representa en laboratorio el envejecimiento a corto plazo mediante el horno rotatorio de película delgada, RTFOT, verificándose que la pérdida de masa resulte inferior a 1% y que el “Factor de Ahuellamiento” supere 2,20 kPa, para confirmar o no la temperatura máxima de PG obtenida en la primera fase. Posteriormente se expone la muestra en el recipiente de envejecimiento a presión, PAV, donde se simula un envejecimiento a largo plazo, y se efectúan tres tipos de verificaciones para completar la definición de la temperatura de desempeño del ligante: se determina con el DSR la temperatura de ensayo que asegure un “Factor de Fisuración por Fatiga”, $G^* \cdot \sin \delta$, menor a 5000 kPa (se trata de temperaturas moderadas, entre 4 y 37 °C); luego, se busca la temperatura que garantice en el reómetro de viga de flexión (BBR) que el módulo de rigidez o “stiffness” sea inferior a 300 MPa y que la pendiente “m” de la curva carga-deformación en creep a bajas temperaturas supere el valor 0,300; finalmente, si los resultados de la BBR son insatisfactorios, se cerciora que en el ensayo de tracción directa (DTT) se cumpla con una deformación de falla mínima del 1%, para asegurar que el asfalto no sufra fisuras por sollicitaciones térmicas. Las distintas temperaturas a las cuales se verifican los parámetros mencionados en estos ensayos se correlacionan con la temperatura mínima de PG que finalmente tendrá el ligante en estudio.

El procedimiento que se plantea en este trabajo para analizar el GCF inferior del asfalto en una mezcla fillerizada consiste, en primer lugar, en reproducir en la mezcla sin filler un envejecimiento del asfalto similar al provocado para la determinación del PG inferior de SHRP. Para tal fin, se envejece la mezcla en laboratorio a corto plazo y después a largo plazo manteniéndose el material en horno con ventilación forzada sin compactar durante una cantidad variable de días a 85°C hasta comprobar finalmente cuándo el ligante recuperado por destilación controlada alcanza un nivel de envejecimiento análogo al experimentado por el ligante virgen luego de ser sometido a RTFOT y PAV para su clasificación PG; esto se logra ensayando con el DSR el asfalto recuperado de la mezcla envejecida y efectuando un “barrido” de temperaturas para definir la mínima de ensayo que asegure que $G^* \cdot \sin \delta$ sea menor a 5000 kPa. Luego se expone la mezcla con filler a iguales condiciones de laboratorio, para posteriormente extraer el asfalto y realizarle nuevamente el “barrido” de temperaturas a fin de determinar su GCF mínimo, compararlo con el PG mínimo de SHRP y evaluar las eventuales mejoras obtenidas.

En el Método UCL, para estudiar las consecuencias del envejecimiento a largo plazo las probetas se someten a 4 días de envejecimiento en estufa a 80°C y con aireación mecánica. Se efectúa luego el ensayo Cántabro a diferentes temperaturas y se determinan las Curvas de Estado, especificándose en este caso el “límite de fragilidad” a bajas temperaturas mediante la fijación de un porcentaje máximo de pérdidas en tales condiciones. Posteriormente, se juzga si se ratifican los GCF mínimos de los asfaltos determinados con la metodología descrita en el párrafo anterior.

DESARROLLO EXPERIMENTAL: OPTIMIZACIÓN DEL GCF DE LIGANTES BITUMINOSOS CONVENCIONALES PARA PAVIMENTACIÓN

Materiales empleados en las mezclas

Se utilizaron dos ligantes convencionales: un CA-10, utilizado en regiones de clima frío en Argentina, y un CA-30 de uso para clima templado a cálido; su caracterización PG se muestra en la Tabla 1. Se emplearon áridos pétreos graníticos de trituración 0-6 y 6-12. Las mezclas fueron concebidas con dos variantes: sin filler y con el aporte de cal hidráulica comercial en una proporción volumétrica igual a su concentración crítica ($C_v/C_s=1$; norma argentina VN-E11).

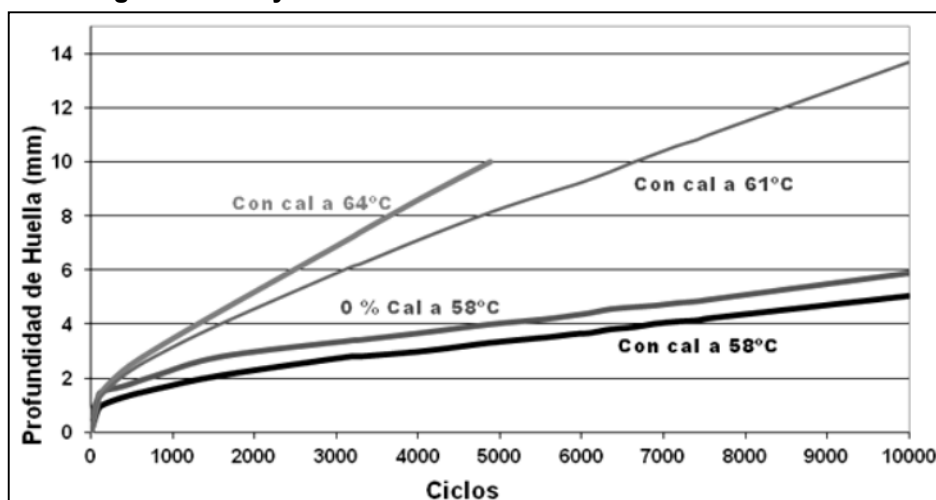
Tabla 1. Caracterización PG de los asfaltos en estudio

Asfaltos originales provisto por destilería				CA-10	CA-30
Punto de inflamación	AASHTO T-48	(°C)	min. 230	>235	>235
Viscosidad rotacional a 135°	ASTM D-4402	(Pa.s)	màx. 3,0	0,35	0,49
Ensayo de corte dinámico (DSR) AASHTO TP-5					
Factor de ahuellamiento "G*/Sin(δ)"		(kPa)	min 1,00	1,15	1,21
Temperatura		(°C)		58	70
Pèrdua de masa residuo RTFOT	AASHTO T-240	(%)	màx 1,00	0,41	0,27
Ensayo de corte dinámico AASHTO TP-5					
Factor de ahuellamiento "G*/Sin(δ)"		(kPa)	min 2,20	2,27	2,41
Temperatura		(°C)		58	70
Residuo PAV (100 °C)					
Ensayo de corte dinámico (DSR) AASHTO TP-5					
Factor fisuración por fatiga "G*.Sin(δ)"		(kPa)	màx. 5000	3755	4109
Temperatura		(°C)		22	31
Reometro de flexion (BBR)	AASHTO TP-1				
Mòdulo de rigidez		(MPa)	màx. 300	210	245
"m"			min 0,300	0,309	0,303
Temperatura		(°C)		-12	-6
Grado de Performance (PG)				58-22	70-16

Caracterización de los ligantes en las mezclas según el criterio de GCF

Para determinar el GCF superior se sometió a la mezcla sin filler elaborada con el asfalto CA-10 o "PG 58-22" al ensayo de ahuellamiento a la temperatura PG superior del ligante; también se ensayaron módulos de la mezcla con filler a 58°C y a temperaturas superiores; Figura 1.

Figura 1. Ensayos WTT de las mezclas fabricadas con CA-10



Ensayando a 64°C, temperatura de graduación inmediatamente superior según SHRP, la mezcla con cal sufre una deformación excesiva en magnitud absoluta y en velocidad, situación que cambia poco al ensayar a 61°C. Es decir, aún con el agregado de cal, la mezcla no sería apta para su empleo a temperaturas del pavimento mayores a 58°C. Existe, sin embargo, una mejora del comportamiento a 58°C con cal: la profundidad de ahuellamiento es 15% menor respecto de la mezcla sin cal, con similares velocidades de deformación, y al extrapolarse la curva se aprecia que, para alcanzarse iguales deformaciones permanentes que en la mezcla sin cal, se necesitarían 2500 ciclos más al final del ensayo. En síntesis: la adición de cal, si bien no permitió un “upgrade” del GCF superior, prolongaría la vida del pavimento un 25% en términos de servicio.

Para establecer el GCF inferior de cada asfalto se debe, inicialmente, buscar para las mezclas sin filler un grado de envejecimiento tal que el valor más próximo a $G^* \cdot \sin \delta < 5000$ kPa se diese, en el CA-10, a una temperatura de +22 °C en el asfalto recuperado, pues la misma se con un PG mínimo de -22 °C, y para el CA-30 a una temperatura de +31 °C, correspondiente en este caso a un PG mínimo de -16 °C; Tabla 1. Eso se logró en laboratorio sometiendo a las mezclas a un envejecimiento a largo plazo que, para el caso de la fabricada con CA-10, resultó de 5 días, en tanto que para la elaborada con CA-30 fue de 4 días. A continuación se expusieron las mezclas con cal a similares condiciones, luego se les extrajo el ligante y por último se efectuaron los ensayos en el DSR con el objeto de determinar sus grados de desempeño a bajas temperaturas, los cuales serán los GCF mínimos en las mezclas con cal. Los resultados para la determinación del factor de fisuración por fatiga de los asfaltos recuperados se exponen en la Tabla 2; de su evaluación se infiere que los asfaltos en las mezclas con cal soportan mejor las consecuencias del envejecimiento, desde el punto de vista del citado deterioro, que los asfalto en las mezclas sin filler, circunstancia corroborada en los valores de $G^* \cdot \sin(\delta)$ consignados en cada caso a diferentes temperaturas de ensayo.

El comportamiento de la mezcla con CA-10 y cal en el WTT no determinó un aumento de graduación, manteniéndose 58°C como temperatura superior del asfalto en la mezcla; en consecuencia, como la temperatura mínima a la cual se cumple $G^* \cdot \sin(\delta) < 5000$ es 19°C, de la especificación AASHTO MP1 surge que el GCF pasa a ser 58-28, mejorándose la graduación a baja temperatura respecto del PG clasificado según SHRP. Asumiendo conservadoramente que en la mezcla con CA-30 y cal tampoco existe un aumento de graduación a altas temperaturas, como la temperatura mínima para que se cumpla $G^* \cdot \sin(\delta) < 5000$ es 28°C, de la tabulación AASHTO surge un GCF=70-22 y nuevamente se verifica un *upgrade* a baja temperatura respecto del PG.

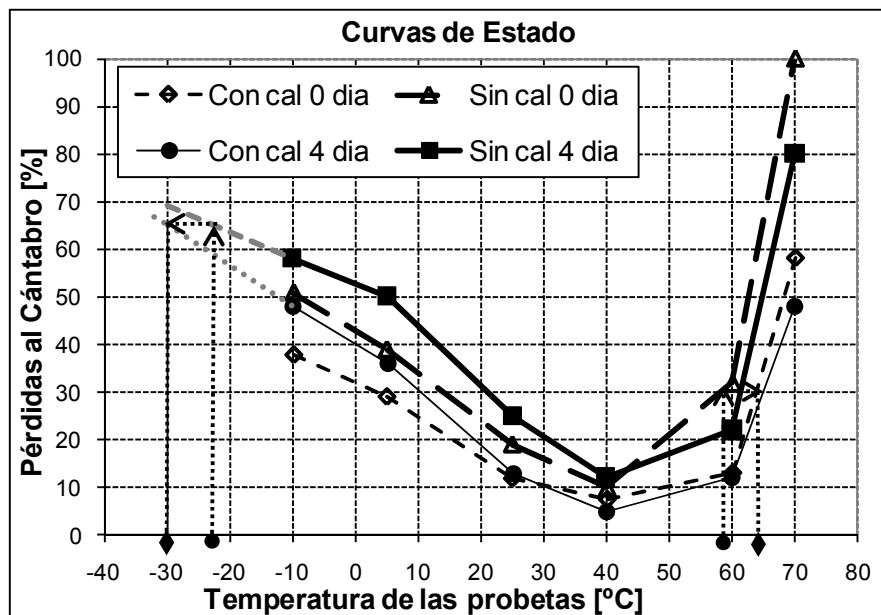
Tabla 2. Resultados del factor de fisuración por fatiga de los asfaltos CA-10 y CA-30

Asfaltos originales provistos por destilería			CA-10	CA-30
Factor de fisuración por fatiga “ $G^* \cdot \sin(\delta)$ ”	(kPa)	màx. 5000	3755	4109
Temperatura	(°C)		22	31
Factor de fisuración por fatiga “ $G^* \cdot \sin(\delta)$ ”	(kPa)	màx. 5000	> 5000	> 5000
Temperatura	(°C)		19	28
Grado de Performance PG			58 – 22	70 – 16
Asfaltos extraídos de las mezclas sin filler, envejecidas			CA-10	CA-30
Factor de fisuración por fatiga “ $G^* \cdot \sin(\delta)$ ”	(kPa)	màx. 5000	4015	4720

Temperatura	(°C)		22	31
PG = GCF			58 – 22	70 – 16
Asfalto extraído de la mezcla con filler, envejecida			CA-10	CA-30
Factor de fisuración por fatiga “G*.sin(δ)”	(kPa)	màx. 5000	3657	2750
Temperatura	(°C)		22	31
Factor de fisuración por fatiga “G*.sin(δ)”	(kPa)	màx. 5000	4948	3980
Temperatura	(°C)		19	28
Grado de Comportamiento Funcional GCF			58 – 28	70 – 22

La Figura 2 muestra las Curvas de Estado del Método UCL de las mezclas patrón, sin filler y con cal (Cv/Cs=1), fabricadas con ligante CA-10, envejecidas a corto y largo plazo (0 y 4 días, respectivamente, tomando como referencia el tiempo de exposición en horno a 85°C). Para correlacionar biunívocamente los resultados con la caracterización SHRP, se fijaron como umbrales de pérdidas los correspondientes a las temperaturas PG superior e inferior del ligante (+58°C y -22°C) en la mezcla sin filler, que resultaron ser 30% y 65%, respectivamente, a fin de poder comparar con los resultados obtenidos en la mezcla con cal. Para alcanzar tales pérdidas, en las probetas fillerizadas las temperaturas de ensayo son +63°C y de -30°C. Según los preceptos SHRP, no se alcanza técnicamente un “upgrade” a elevadas temperaturas (se necesitaría llegar a +64°C), pero los beneficios de la inclusión de cal son más evidentes bajo este análisis que cuando se evalúa el desempeño a partir del ahuellamiento; estas circunstancias obedecen a una “competencia” de factores: la cal provoca un marcado incremento de la cohesión pero sus propiedades anti-envejecimiento retardan la rigidización de la mezcla y operan parcialmente en contra de la evolución de la resistencia a las deformaciones plásticas; finalmente, el balance es favorable aunque no signifique una formal sobregraduación del desempeño del ligante. En las probetas con cal envejecidas a largo plazo surge que la temperatura mínima admisible es -30°C, suficiente para subir un peldaño a bajas temperaturas, pasando el asfalto a tener, entonces, una graduación similar a la lograda según las premisas propuestas de la caracterización según el GCF y, por ende, se refrendaría la clasificación “58-28”.

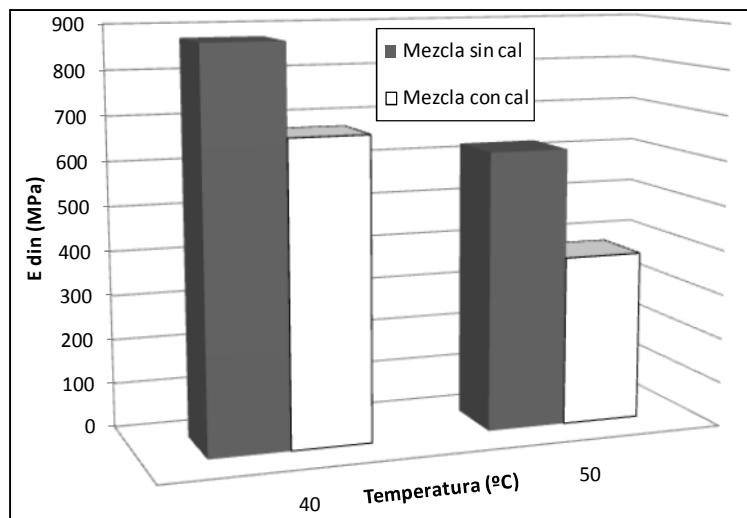
Figura 2. Curvas de Estado, mezclas UCL con y sin cal, envejecidas a corto y largo plazo



Ensayos de laboratorio adicionales sobre mezclas envejecidas a largo plazo permitieron analizar cómo se materializa la compulsa entre los efectos contrapuestos atribuibles a la fillerización: por un lado, la mayor rigidización de la mezcla por espesamiento y por otro, la resistencia al envejecimiento que confiere la inclusión de cal.

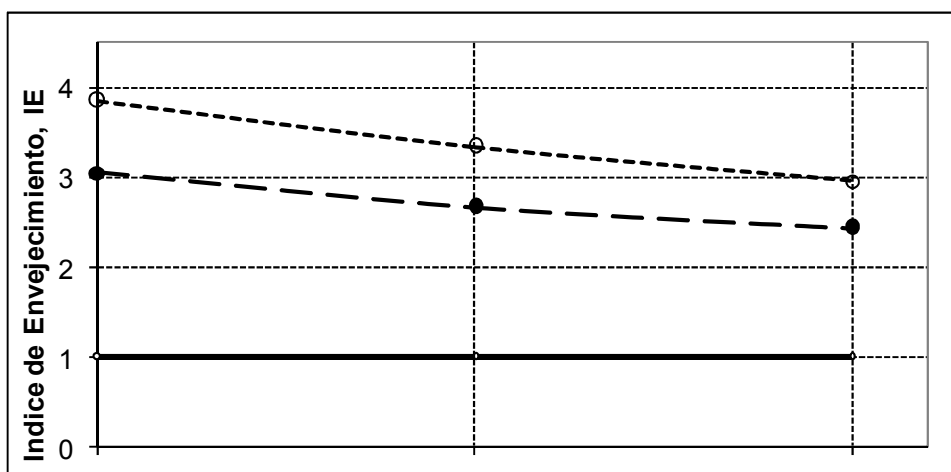
En la Figura 3 se grafican los Módulos de Rigidez Dinámicos a tensión diametral (“Edin”; frecuencia=1 Hz), de probetas con y sin cal a 40°C y 50°C; de los resultados se verifica la evidente protección de la cal ante los mecanismos responsables del envejecimiento, pues a elevadas temperaturas de servicio la mezcla fillerizada denota una menor rigidez, aún cuando la cal se incorporó en su proporción máxima de concentración volumétrica admisible. Tal circunstancia no debería calificarse como perjudicial, pues los mayores inconvenientes a elevadas temperaturas se dan en los primeros tiempos de servicio; esto ya se visualizó con los ahuellamientos en la condición de envejecimiento a corto plazo (Figura 1), donde el balance de los citados efectos antagónicos fue levemente positivo.

Figura 3. Módulos de Rigidez ($f=1\text{Hz}$), mezclas envejecidas, con y sin cal



En la Figura 4 se muestran las variaciones del Índice de Envejecimiento (IE) del ligante CA-10 en las mezclas densas elaboradas con distintos grados de fillerización con cal y sometidas a envejecimiento a corto y a largo plazo, analizando las viscosidades rotacionales a 60°C. Los beneficios de la incorporación de cal son evidentes: los IE disminuyen significativamente a medida que aumenta la relación Cv/Cs, al punto que la mezcla con Cv/Cs=1 ostenta a largo plazo un IE inferior al de la mezcla sin filler a corto plazo.

Figura 4. IE del ligante CA-10 en mezclas con diferentes niveles de envejecimiento y fillerización



CONCLUSIONES

En este trabajo se manifiesta, a partir de experiencias concretas, cómo la incorporación de cal a las mezclas bituminosas, en proporciones apropiadas puede redundar en la mejora del nivel de desempeño previsto para el asfalto por la metodología SHRP. En tal sentido, con la introducción del concepto de “Grado de Comportamiento Funcional” (GCF), se muestra de qué manera ha sido posible redeterminar la funcionalidad de ligantes de penetración.

Se exhiben los fundamentos del GCF y se ejemplifica con sendos asfaltos, clasificados como CA-10 y CA-30 por viscosidad ó PG 58-22 y PG 70-16 según sus grados de performance, los que pasan a caracterizarse como GCF 58-28 y 70-22, respectivamente, gracias a las mejoras conseguidas, en términos de temperaturas de prestación, al adicionar convenientemente cal a las mezclas. De los ensayos efectuados (que incluyen determinaciones de módulo complejo y ángulo de fase con el DSR, de profundidad de huella con el WTT y la gráfica de Curvas de Estado del método UCL, además de otros complementarios) y de los resultados obtenidos se desprende que, a bajas temperaturas, los ligantes estudiados se recategorizan al responder mejor frente a la fisuración por fatiga, en tanto que a elevadas temperaturas mejoran su resistencia al ahuellamiento pero sin operarse en este sentido un incremento de graduación.

Como corolario, se comprueba que una dosificación adecuada en las mezclas asfálticas, que contemple una proporción racional de cal, posibilita ampliar el rango térmico de prestación de un ligante de destilación. Bajo estas premisas es factible seguir considerando a los asfaltos convencionales como una opción técnica y económicamente válida en zonas con inviernos rigurosos y veranos cada vez más cálidos por causa del cambio climático, frente a la alternativa que ofrecen los asfaltos multigrado y los modificados con polímeros.

REFERENCIAS

Agnusdei, J.; losco, O. (1989). Acción de distintos tipos de rellenos minerales sobre la durabilidad de los cementos asfálticos. 5° CILA, Punta del Este, Uruguay.

Bianchetto, H., Miró, R. y Pérez, F. (2007). Resistencia al envejecimiento de las mezclas bituminosas en caliente: beneficios y limitaciones de la incorporación de fílleres comerciales. *Revista Infraestructura Vial*, Costa Rica, N°17, p. 13-24.

Kim, Y.; Little, D.; Song, I. (2003) Effect of mineral fillers on fatigue resistance and fundamental materials characteristics. *Transportation Research Record*, Vol. 1832, Paper 03-3454, p. 1-7.

Pérez Jiménez, F.; Miró Recasens, R. (1995). Características mecánicas de ligantes asfálticos, método UCL. *Revista Rutas, Madrid*, N°48, pp. 7-14.

Ridgen, P. (1947). The use of fillers in bituminous road surfacing - A study of filler-binder system in relation to filler characteristics. *Journal of Soc. Chem. Ind.*, N°66, p. 9-299.

Ruiz, C. (1947). Sobre las propiedades mecánicas del sistema filler-betún. *Segunda Reunión Anual del Asfalto, Argentina*, p. 25-52.