

Título : **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SOBRE LA INCORPORACION DE CAL EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CAPAS SUPERIORES: ANÁLISIS CRÍTICO Y PROPUESTA**

Autor : **Dr. Ing. Hugo Daniel BIANCHETTO**
Profesor. Cátedras “Tecnología de los Materiales” y “Construcción de Carreteras”
Investigador
Director de la Maestría y Especialización en Ingeniería en Calidad
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Avellaneda
Argentina

Dirección : Laboral: Ramón Franco 5050, V. Domínico, Avellaneda, Prov. Bs. As., Argentina
Particular: Calle 6 N° 1218, (1900) La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Teléfonos : +54-221-4825071
+54-221-156186301

Correo electrónico : hbianchetto@yahoo.com.ar
hbianchetto@fra.utn.edu.ar

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SOBRE LA INCORPORACION DE CAL EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CAPAS SUPERIORES: ANÁLISIS CRÍTICO Y PROPUESTA

Resumen

Últimamente se ha instalado en el ámbito de la tecnología asfáltica vial un criterio que, si bien no es novedoso, ha ofrecido resistencias y generado discusiones en cuanto a su puesta en práctica: la conveniencia de incorporar cal como filler en las mezclas bituminosas para capas superiores.

Frecuentemente, los pavimentos asfálticos fallan no sólo por las solicitaciones impuestas por el tránsito sino también por problemas asociados a su “durabilidad”, término que involucra tanto al daño por envejecimiento prematuro como a la pérdida de adherencia entre los agregados pétreos y la película bituminosa. Ante esta realidad, se han intentado soluciones en el diseño; por ejemplo, aumentar el contenido y/o la viscosidad del ligante, adicionar un agente mejorador de adherencia, emplear asfaltos modificados con polímeros e incorporar cal comercial como filler activo. Diversos motivos técnico-económicos pueden condicionar a las primeras alternativas, por eso los tecnólogos hemos recobrado el interés en el uso de la cal, reivindicando las clásicas investigaciones de la década de 1940 y buscando actualizar algunos conceptos a la luz de los avances evidenciados en lo concerniente a materiales, equipos y conocimientos.

Sin embargo, las prescripciones técnicas utilizadas en Argentina divergen en cuanto a las exigencias relativas a la inclusión de cal, fluctuando desde la simple omisión hasta la obligatoriedad de dotar a las mezclas con contenidos que pueden llegar a ser contraproducentes para su calidad final.

Este trabajo, apoyado en 15 años de investigaciones en la temática, trata de esclarecer cuál es el verdadero rol de la cal en las mezclas y de qué manera debería cuantificarse la incorporación de este material en las dosificaciones a fin de potenciar beneficios y minimizar desventajas.

Introducción

Originalmente, los “fillers” (o “fílleres”, de acuerdo a una especie de castellanización del término) de adición eran considerados materiales pulverulentos complementarios en las mezclas asfálticas, limitándose su empleo para fines de relleno (de ahí su nombre en inglés) con el objeto de cumplir ciertas características granulométricas que asegurasen limitar los vacíos de la mezcla y el contenido de ligante. Posteriormente comenzaron a valorarse otros beneficios atribuibles a su empleo en las mezclas: el espesamiento del asfalto y la consecuente modificación de su fluir viscoso; el aumento de la adhesividad árido-ligante; y una significativa mejora de la resistencia al envejecimiento de la mezcla.

Desde hace unos ochenta años, los investigadores han considerado que la propiedad fundamental de las mezclas bituminosas en las carreteras es su capacidad de deformarse sin perder sus cualidades funcionales y estructurales ante sollicitaciones relativamente elevadas y repetidas; éste es el principio de funcionamiento de los pavimentos flexibles. La medida esencial para dicho comportamiento es la resistencia al corte, con sus dos componentes clásicos: la resistencia friccional y la cohesión. El factor friccional se analiza generalizando las leyes y postulados de la mecánica de suelos al estudio de las mezclas asfálticas, puesto que los áridos tienen puntos de contacto y conforman una estructura granular. La cohesión debe evaluarse a partir de las propiedades reológicas del medio continuo presente en la mezcla, el “sistema filler-betún” o “mástico”, que define su comportamiento ante las sollicitaciones deformantes y que es función de su composición y de la temperatura. A tales factores debe sumarse la “resistencia viscosa”, debida también al medio filler-betún, superior a la correspondiente al ligante asfáltico y que depende no solamente de la temperatura sino también de la velocidad de deformación.

Todo lo mencionado convida a razonar que es más apropiado pensar en las cualidades que el mástico proporciona a las mezclas en lugar de considerar aisladamente al asfalto, pues la incorporación de filleres modifica ventajosamente las propiedades del medio continuo bituminoso. Consecuentemente, la Tecnología de los Asfaltos para Pavimentación (es decir, los conocimientos adquiridos a partir de las investigaciones, el desarrollo de equipos e instrumentos y la aplicación de los recursos técnicos y los procedimientos elaborados) se ha visto obligada a redefinir a las mezclas asfálticas e incluir como componentes de las mismas ya no sólo a los agregados pétreos y a un ligante hidrocarbonado, sino también a los fílleres comerciales de adición.

Las reparticiones viales han sido en general reticentes a introducir en sus especificaciones técnicas algún tipo de exigencia sobre la obligatoriedad de incluir una determinada proporción de fílleres comerciales a las mezclas, aunque las evidencias irrefutables de las ventajas que se obtienen han derivado en un cambio de actitud. De todos modos, persiste un cierto grado de desconocimiento acerca de cómo implementar tal incorporación, desaprovechándose de tal forma buena parte de los beneficios potenciales que pueden alcanzarse y que, en síntesis, significan mejores prestaciones y una mayor vida útil de los pavimentos.

El “filler”, mucho más que un relleno

Si bien formalmente la traducción del término filler es “relleno”, en la actualidad en la industria vial su nombre alude al material pulverulento, pasante del tamiz de 74 μ (el N° 200 de la normativa argentina) o de 63 μ según la normativa española, que “desempeña un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas bituminosas en función de su naturaleza, finura, actividad y proporción en la que entra a formar parte de la mezcla.... se trata de una fracción que supuestamente rellena los huecos dejados por las partículas más gruesas, aunque esta no es su misión fundamental”⁽¹⁾. Esta novedosa definición adelanta algunos aspectos a tratar en este trabajo, relacionados con las tres funciones primordiales que el filler cumple en las mezclas bituminosas:

- Reducir los huecos que deja la estructura granular constituida por los áridos. Esto permite completar una graduación de inertes de forma tal de lograr los contenidos de vacíos requeridos en el diseño de la mezcla sin tener que disponer de proporciones elevadas de ligante.
- Optimizar las características reológicas del ligante. Esto se logra cuando la concentración volumétrica en el sistema filler-betún es tal que permite un aumento de la resistencia al corte de las mezclas sin comprometer el flujo viscoso del asfalto (concepto de concentración crítica), lo cual redundará en una mayor resistencia a las deformaciones permanentes.
- Incrementar la durabilidad de las mezclas. En un principio, este tema se ha centrado fuertemente en el efecto nocivo de la acción del agua al desestabilizar la adherencia árido-ligante; recién a partir de mediados de la década de 1980 comienza a hacerse referencia también y de manera recurrente al envejecimiento o "endurecimiento por edad" del asfalto.

Las limitaciones a la adición de filler tienen que ver con sus características y con el grado de concentración del mismo en el sistema filler-betún. Un diseño apropiado del mástico asegura en las mezclas una adecuada flexibilidad y una mayor durabilidad y resistencia a la fatiga; por el contrario, un exceso de filler traerá aparejado una elevada rigidización, redundando en un rápido agotamiento de su respuesta resistente ante el paso de los vehículos, especialmente en climas fríos.

Los llamados “filleres cálcicos comerciales”, como la cal, el cemento portland y el polvo calizo, han demostrado ser los más convenientes para incorporar a las mezclas porque no solo afectan positivamente las propiedades reológicas del mástico sino que además poseen cualidades benéficas en cuanto a durabilidad se refiere. Son materiales “activos”, en rigor ligantes hidráulicos que, en consecuencia, reaccionan con el agua, aunque se verá más adelante que también lo hacen con el oxígeno del aire.

En una mezcla asfáltica, la cantidad y naturaleza del filler a incorporar debe ser variable en función de las propiedades volumétricas y físico-mecánicas que se pretendan obtener. En la Argentina se acota la adición de filler con el fin de no sobrepasar un determinado grado de concentración en volumen del sistema filler-betún o "concentración crítica"; el hecho de dosificar el mástico teniendo en cuenta las propiedades físico-mecánicas del filler a emplear y no tan solo su relación en peso con el ligante (como sucede en otros países) permite prever la cantidad máxima aconsejable a agregar de manera tal de no sacrificar la resistencia a los deterioros por “sobrefillerización”. En mezclas drenantes y en otras mezclas

con contenidos elevados de vacíos, la función del mástico sigue siendo trascendental, a pesar que ya no constituye propiamente un medio continuo que llena los huecos de la fase pétreo. El mástico otorga cohesión al conjunto y mejora la adhesividad árido-ligante, provee una envuelta de mayor espesor alrededor del árido que la que hubiese existido con el asfalto sólo (disminuyendo los procesos de volatilización y oxidación) y, por otra parte, la presencia de las pequeñas partículas de relleno mineral obran como una obstrucción a la difusión del oxígeno en el ligante.

Los pliegos de especificaciones técnicas en la Argentina indican que, para mezclas elaboradas con ligantes convencionales, la *concentración volumétrica* C_v del relleno mineral no debe superar su *concentración crítica* C_s (relación $C_v/C_s \leq 1$; incluso, para estar del lado de la seguridad, a menudo se especifican valores límite menores a la unidad), obtenida a partir de la norma argentina IRAM 1542. Este precepto de base racional debe sin embargo ser objeto de una minuciosa revisión, atendiendo a varias razones:

1. La utilización de ligantes modificados. La normativa no contempla esta posibilidad a la hora de acotar la proporción de fíller en las mezclas.
2. La adopción como alternativa para capas de rodadura de mezclas de tipo discontinuas, con diferentes propiedades que las mezclas cerradas o de granulometría continua y para cuyo estudio debe echarse mano a conceptos que difieren de los tradicionalmente empleados por la tecnología de las mezclas bituminosas.
3. La aparición de nuevas metodologías para la investigación y la experimentación, en especial las que enfatizan sobre las propiedades funcionales de los materiales como componentes de los aglomerados bituminosos, pues tratan de representar más fielmente el comportamiento de los mismos.

Más allá de los criterios esgrimidos para diseñar una determinada mezcla, su formulación debería llevar a obtener pavimentos con mejores prestaciones durante el mayor tiempo posible, para lo cual reviste capital importancia la optimización de la adherencia árido-ligante y la resistencia al envejecimiento. Además, un diseño apropiado del mástico asegura en las mezclas una adecuada flexibilidad y mayor resistencia a la fatiga. Los condicionantes para la adición de fíller se relacionan con sus características (los derivados de materiales cálcicos son altamente ventajosos, muy especialmente la cal hidratada) y con su grado de concentración en el sistema fíller-betún. Un exceso de fíller 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 deseables.

La cal de la vida

La adhesividad, fenómeno físico-químico de envuelta y de unión entre el material bituminoso y el pétreo, tiene incidencia directa en la cohesión o resistencia a la disgregación de las mezclas asfálticas. Con el árido en condición seca y cuando el ligante tiene consistencia fluida, la adhesividad se puede producir con cierta facilidad. Pero en condición húmeda, debido a que el árido tiene mayor avidez de agua que de asfalto, es factible la aparición de

un proceso de desenvuelta cuya magnitud dependerá de la naturaleza de los áridos y del ligante, y de la viscosidad y composición de éste último.

Respecto del envejecimiento o “endurecimiento por edad” del asfalto, Petersen y Harnsberger⁽²⁾ explican que existen tres factores fundamentales que gobiernan sus causas: la pérdida de componentes aceitosos, por volatilización o por absorción de áridos porosos; los cambios de composición química provocados por reacción con el oxígeno de la atmósfera tanto en los procesos constructivos (elaboración en planta, transporte y ejecución de la capa) como durante la vida de servicio debido a la temperatura, las radiaciones solares y el aire; y los efectos tixotrópicos producidos por estructuración molecular (endurecimiento histórico) del sistema coloidal del asfalto en reposo y que puede derivar en una migración de componentes malténicos hacia la superficie (sinéresis). En ligantes polimerizados, al tratarse de sistemas bifásicos, el cambio de las características originales es producto tanto del envejecimiento del ligante como de la degradación del polímero, efecto éste que se genera por diversos mecanismos: hinchamiento y disolución de la fase polimérica, rotura de enlace (por radiaciones, reacciones químicas y efectos térmicos) y cambios morfológicos por exposición a la intemperie; la transformación resultante es una combinación de varios procesos que producen una variación de las características originales, destacándose la disminución de su capacidad elástica, dependiendo tales cambios del asfalto base, del tipo de modificador y de sus proporciones.

Existe adicionalmente una interacción entre estos dos mecanismos de deterioro: los procesos de envejecimiento del ligante, que causan su endurecimiento progresivo, comprometen las cualidades adhesivas árido-asfalto y por lo tanto la cohesión de la mezcla.

Las propiedades del filler han sido objeto de numerosas investigaciones, algunas legendarias, que son referencia obligada pues siempre es provechoso abreviar de buenas fuentes, independientemente de su antigüedad, en especial cuando mantienen absoluta vigencia. Ruiz⁽³⁾⁽⁴⁾, basándose en un ensayo de sedimentación de filler en kerosene, 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. Su contemporáneo Ridgen⁽⁵⁾ describió la necesidad de acotar la relación filler/betún a partir de los conceptos de “volumen bruto” (el ocupado por partículas de filler compactado y por los huecos de sus intersticios), “asfalto fijo” (el requerido para llenar un cierto tenor de vacíos) y “asfalto 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 volumétrica. El volumen activo mínimo corresponde a las formas esféricas y es tanto mayor cuanto más sea la anisotropía geométrica de las partículas (Añón Suarez y Mazza⁽⁶⁾).

La cal, por sus características de densidad, forma, fineza, rugosidad y actividad superficial, superficie específica, etc., posee un mayor poder espesante que, por ejemplo, el cemento portland y el filler calizo, por lo cual la concentración crítica la alcanza con menores proporciones en peso.

En las últimas décadas, el empleo de los asfaltos modificados con polímeros añadió algunos interrogantes acerca de la validez universal de los principios de Ruiz, de Ridgen y de sus

sucesores, por tratarse de un fluido de dos fases (asfalto y polímero), con características reológicas diferentes al ligante base.

De igual modo que sucede en la vida cotidiana, “no existe una panacea” que asegure una perpetuidad genuina de los pavimentos bituminosos. Es posible, sin embargo, prolongar el tiempo de servicio con acciones apropiadas; en tal sentido, los filleres cálcicos, esencialmente la cal, han demostrado ser agentes efectivos para tal fin, siempre y cuando su incorporación en las mezclas se materialice de manera racional. La religiosa y escritora mexicana sor Juana Inés de la Cruz acuñó una frase antológica en la cual compara al amor con la sal, pues “daña lo que falta y lo que sobra”⁽⁷⁾; cometiendo la osadía de parafrasearla, podría decirse que el filler en las mezclas asfálticas es como el amor en la vida o la sal en las comidas: es contraproducente tanto su carencia como su exceso. Y no es exagerado afirmar que la definición del tipo y de la dotación de relleno mineral debe ser el tercer paso fundamental de toda dosificación de una mezcla bituminosa, junto con las proporciones de los áridos que aseguren una correcta granulometría y con la determinación del porcentaje óptimo de ligante.

Algunas prescripciones técnicas existentes: necesarias pero insuficientes

El Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina prescribe un cociente $Cv/Cs \leq 1$ entre la concentración volumétrica de filler (Cv) respecto de su concentración “crítica” (Cs), destacando que define “filler” como el material que pasa el tamiz N°200; tal exigencia es válida para mezclas de base y carpeta, pero no se aclara si es para cualquier tipo de asfalto (debe tenerse en cuenta que este pliego rige desde 1998). Se admite tácitamente, a partir de la limitación de concentración del filler, que el tipo y las características del relleno mineral influyen significativamente en el comportamiento de este material en las mezclas.

El PG-3 español del Ministerio de Fomento de España, última modificación del año 2014, da algunas indicaciones respecto de la incorporación de filleres a las mezclas. Por ejemplo, exige un porcentaje de filler de aportación (“producto comercial o especialmente preparado”) mayor a 50% o directamente del 100% según la capa (rodadura, intermedia o base) y el tipo de tránsito (el requerimiento abarca desde T1 hasta T3 y banquetas). También incluye requerimientos de granulometría y de densidad aparente. Respecto de la proporción máxima ponderal “recomendable” (en peso) de la relación polvo mineral/betún para mezclas densas, semi densas y gruesas, indica que ésta debería comprenderse entre 0,9 y 1,2 según el tipo de capa y la “zona térmica estival” (templada; cálida y media). Hace omisión absoluta del tipo y las propiedades del filler y de cualquier ensayo que estime una eventual rigidización de la mezcla debido a las características y la naturaleza de las partículas que componen el relleno mineral.

La Comisión Permanente del Asfalto (CPA) de Argentina, mediante sus Especificaciones Técnicas Generales para mezclas en caliente, tanto para concretos asfálticos densos, semi densos y gruesos⁽⁸⁾ como para capas de rodadura de bajo espesor⁽⁹⁾ (densas y semi densas y SMA con asfaltos convencionales o modificados; drenantes y microaglomerados con asfaltos modificados), da un paso adelante en la temática, pues además de mantener el

tope de concentración volumétrica ($C_v/C_s < 1$) añade una recomendación inédita en nuestro medio y en otras partes de mundo, cual es adicionar un porcentaje mínimo de cal hidratada en peso sobre mezcla del 1%, aclarando adicionalmente que se debería limitar la proporción relativa de filleres cuya concentración crítica sea inferior a 0,22 ($C_s < 0,22$; es el caso habitual de las cales hidráulicas hidratadas) en un máximo de 2% en peso de la mezcla. Estas dos últimas indicaciones de porcentajes mínimo y máximo en peso tendrían que considerarse como “provisorias”, hasta tanto el medio productivo adquiera un conocimiento adecuado del rol del filler en las mezclas, se generalice e interprete correctamente el ensayo de concentración crítica y se divulguen ciertos resultados de investigaciones con asfaltos modificados (como las que se efectuarán más adelante en este trabajo).

El prestigio de la CPA, organización de fomento sin fines de lucro, rectora en el país en lo que a Tecnología de los Asfaltos se refiere, ha alentado a varias reparticiones viales argentinas, incluyendo la DNV y varias vialidades provinciales e incluso direcciones de pavimentación municipales, a especificar en sus obras la inclusión de cal hidratada en las mezclas bituminosas de las capas superiores del pavimento. Sin embargo, el desconocimiento de los beneficios y de las limitaciones de la cal ha obrado como fuerte condicionante para que en muchas obras todavía se ignore a este material como componente de los aglomerados asfálticos, lo cual es inconveniente y hasta peligroso, como ya se señaló: omitir su inclusión de manera racional, es decir, con limitaciones impuestas para evitar rigidizar la mezcla, sería desaprovechar una serie de ventajas que optimizan la calidad del producto final; en tanto que desentenderse de sus propiedades podría dar pie, como ya ha sucedido en nuestro país para cubrir necesidades granulométricas, a dotaciones excesivas y contraproducentes.

Determinación del contenido óptimo de filler en las mezclas mediante ensayos funcionales (Método UCL)

Los dos mecanismos asociados a la durabilidad de las mezclas, es decir la adherencia árido-ligante y el envejecimiento del asfalto, fueron evaluados en este trabajo utilizando el Método UCL[®], de la Universidad Politécnica de Cataluña⁽¹⁰⁾, sobre probetas Marshall de elevado contenido de vacíos elaboradas con una mezcla “patrón”, las que fueron sometidas, bajo distintas condiciones, al ensayo Cántabro de pérdidas por abrasión. Se emplearon áridos graníticos limpios y un ligante convencional caracterizado por viscosidad como CA-30, con una dotación de 4.5% en peso sobre áridos. Los dos rellenos minerales comerciales analizados, una cal hidráulica hidratada y un polvo calizo, se incorporaron en diferentes proporciones a la mezcla patrón; si bien ambos filleres son de origen cálcico, presentan características disímiles, en particular sus concentraciones críticas C_s y su grado de “actividad”.

Siguiendo los postulados del Método UCL, las probetas sin filler fueron fabricadas usando sólo dos fracciones de agregado pétreo: entre los tamices N^o4 y N^o8 (aproximadamente, de 5 mm y 2,5 mm de abertura, respectivamente), en una proporción de 80 % en peso; y el 20% restante entre los tamices N^o 8 y N^o30 (éste último, de 0,6 mm de abertura), sin finos de aportación natural. Para las probetas con filler, el peso del relleno mineral de aporte fue descontado a la fracción más fina de los áridos de la mezcla patrón, a modo de

compensación parcial, con la finalidad que los vacíos de las probetas UCL no disminuyesen de forma exagerada.

a) Análisis de la cohesión de la mezcla y la adherencia árido-ligante

La cohesión y la adhesividad árido-ligante de las mezclas patrón, con diferentes tipos y contenidos de filleres, fueron evaluadas ensayando las probetas al Cántabro a 25°C en dos condiciones: en seco y tras inmersión (para esta última modalidad y dado que se usó un ligante convencional, se prefirió la variante “4 días a 49°C”, en lugar de “1 día a 60°C”, a fin de evitar el ablandamiento del asfalto durante el estacionamiento en agua).

La cohesión se valora determinando las pérdidas en el ensayo Cántabro (300 vueltas en el tambor de Los Ángeles, sin las esferas de acero que se emplean para la caracterización de agregados pétreos gruesos), en seco y a 25 °C. La disminución de la resistencia a la disgregación en las probetas sometidas al ensayo Cántabro tras inmersión es una medida de la pérdida de adhesividad. La Figura 1 muestra tres probetas UCL elaboradas con una misma mezcla patrón: la de la izquierda, sin ensayar; la del centro, sometida a ensayo Cántabro en estado seco; y la de la derecha, luego del ensayo Cántabro tras inmersión.



Figura 1. Probetas UCL, efecto del ensayo Cántabro en seco y tras inmersión

En los resultados de los ensayos realizados se puede apreciar el efecto de los filleres cálcicos en las mezclas. La Tabla 1 muestra las correspondencias entre las relaciones C_v/C_s y los cocientes filler/betún (f/b) en peso, además de informar acerca de los vacíos promedio de las distintas tandas de probetas elaboradas con los dos filleres evaluados (cal y polvo calizo) y de las pérdidas en los ensayos Cántabro en seco y tras inmersión de las mismas. En la Figura 2, por su parte, se ilustran gráficamente los mencionados resultados de ensayos Cántabro. Debe realizarse, empero, una aclaración importante relacionada con los contenidos de vacíos de las mezclas patrón: con el incremento de filler, los huecos disminuyen, aunque el haber quitado partes equivalentes del árido más fino a medida que se incorporaba mayor proporción de filler y también el hecho que el mástico ganase en espesor, engrosando así la película que cubre los áridos y separando las partículas, redundó en que la merma de vacíos de las mezclas patrón no fuese tan significativa; de todos modos, para el análisis de resultados debe interpretarse que, a similitud de las otras condiciones, las probetas con menos vacíos tienden a sufrir menores pérdidas por disgregación.

Tabla 1. Correspondencias entre relaciones Cv/Cs y fíller/betún. Valores promedios de vacíos y de pérdidas Cántabro en seco y tras inmersión de las probetas patrón

Cv/Cs	Fíller cal (Cs=0,156)				Fíller calizo (Cs=0,357)			
	f/b (en peso)	% Vacíos	Pérdidas Cántabro		f/b (en peso)	% Vacíos	Pérdidas Cántabro	
			En seco	t/ inmersión			En seco	t/ inmersión
0	0	28,5	22,4	43,8	0	28,5	22,4	43,8
0,5	0,21	28,1	16,8	22,5	0,59	27,4	19,1	27,3
1,0	0,47	27,7	13,6	17,9	1,50	26,4	16,2	22,6
1,25	0,61	27,5	15,7	24,3	2,18	26,0	18,9	30,3
1,5	0,77	27,3	20,6	31,0	--	--	--	--

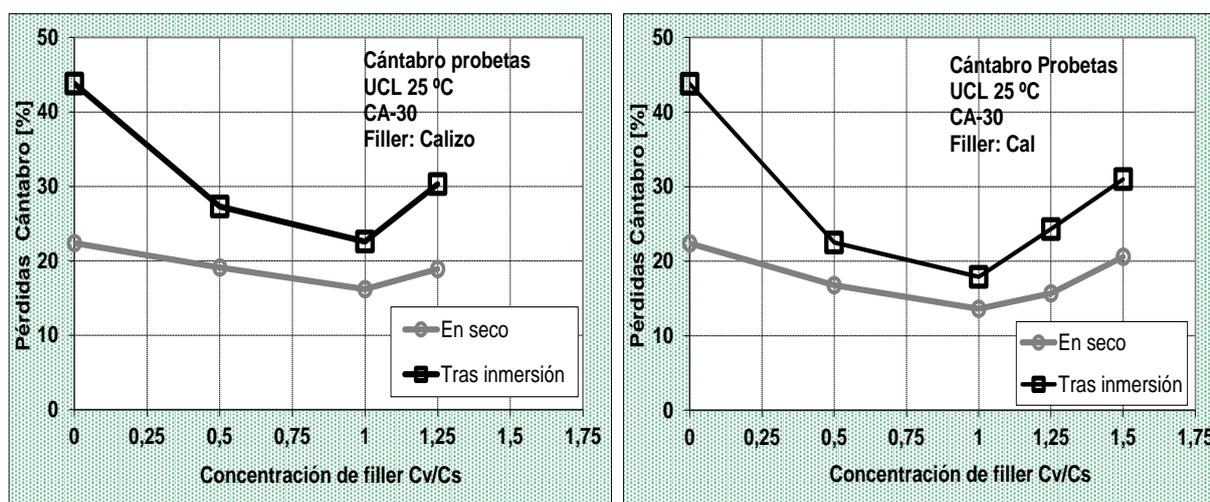


Figura 2. Pérdidas Cántabro en seco y tras inmersión vs. Cv/Cs

Al agregar fíller a esta mezcla patrón fabricada con asfalto convencional, las pérdidas al Cántabro disminuyen, tanto en seco como tras inmersión, hasta que $Cv=Cs$. Cuando ocurre la “sobrefillerización” ($Cv/Cs > 1$), las pérdidas se incrementan progresivamente, aunque debe destacarse que en este trabajo sólo se llegó hasta valores de $Cv/Cs=1,5$. Daguerre *et al.*⁽¹¹⁾ efectuaron pruebas con mayores proporciones de Cv/Cs y observaron que para valores muy altos de fillerización (*N. del autor: $Cv/Cs > 2$ en el trabajo referenciado*), el comportamiento resistente al desprendimiento de los áridos comienza a ser similar vía seca y vía húmeda, con pérdidas significativas del mismo orden; esto se debería “a la alta rigidización que el mástico posee, minimizándose el efecto del agua” (SIC).

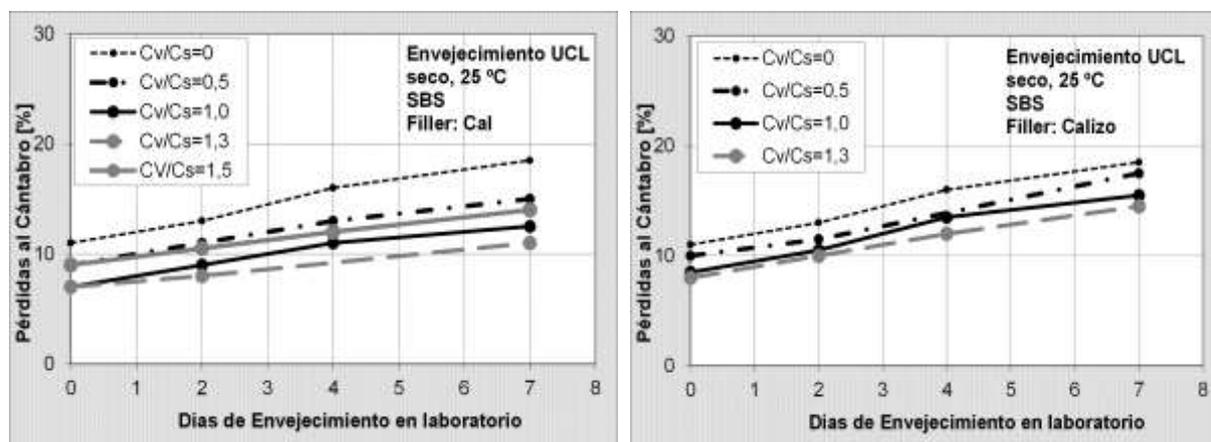
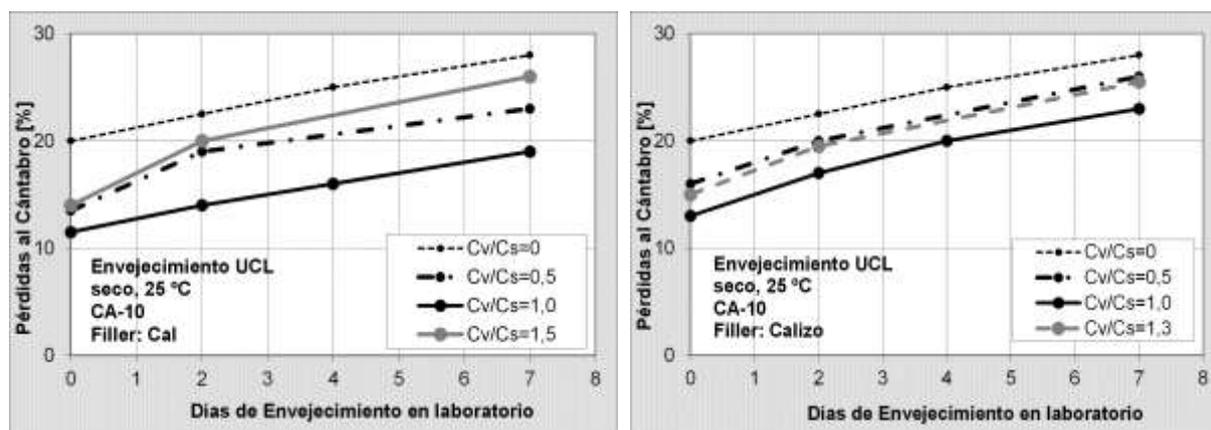
Dentro de las proporciones aceptables de fíller, a igualdad de concentraciones la cal hidratada demuestra ser más eficiente no sólo porque las pérdidas son menores sino, además, porque en las probetas con polvo calizo los vacíos son más bajos y eso ayuda a disminuir sus pérdidas.

Se verifica entonces, en esta mezcla elaborada con un asfalto convencional, en lo atinente a adherencia del ligante con los áridos y a la cohesión del conjunto, por un lado la validez del ensayo de Ruiz y de su concepto de “concentración crítica” de fíller y, adicionalmente, que la cal hidráulica hidratada posee mejores cualidades que el polvo calizo.

b) Análisis de la resistencia al envejecimiento

Para simular el envejecimiento del asfalto en las mezclas patrón UCL se colocan las probetas en un horno a 80°C de temperatura y con ventilación forzada, ceñidas con topes y con un zuncho lateral de alambrado fino para evitar que se disgreguen pero dejando pasar aire a su través. El método asume que el ligante, al formar una película fina sobre los áridos en probetas con altos contenidos de vacíos, queda notablemente expuesto al oxígeno del aire y al calor. Para representar diferentes “niveles” o edades de envejecimiento se someten los especímenes a distintos períodos de permanencia en el horno, para luego procederse al ensayo Cántabro en seco a 25 °C. Se grafican datos obtenidos por el autor en investigaciones previas. Se incluyeron los mismos tipos de fílleres utilizados en el análisis de adherencia y cohesión (cal, polvo calizo), elaborándose probetas patrón con un asfalto convencional que, en este caso, es un CA-10 (diferente al ligante utilizado anteriormente) y con asfaltos modificados con polímeros SBS y EVA.

Se determinan las *Curvas de Envejecimiento* o variación de las pérdidas según el periodo de envejecimiento. Se consignan, en las gráficas de la Figura 3 (a, b y c), los resultados de los ensayos Cántabro en seco y a 25°C de las probetas sometidas a envejecimiento durante 2 y 7 días (en algunos casos se incluyó también 4 días) y de probetas sin envejecer (0 días) de las mezclas patrón evaluadas con los diferentes ligantes y fílleres empleados.



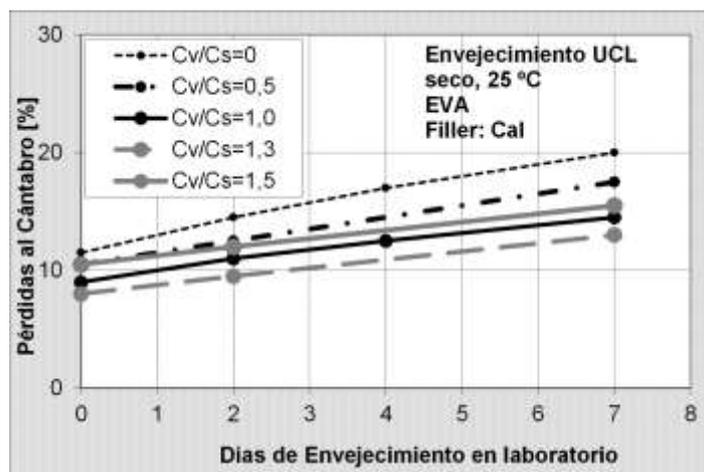


Figura 3c. Pérdidas Cántabro vs. Envejecimiento, probetas con asfalto-polímero EVA

Varios corolarios se pueden obtener de la información recogida de las gráficas:

- Para cualquier tipo de ligante, la incorporación de filler es beneficiosa hasta cierta proporción del mismo en la mezcla, pues las pérdidas a cualquier edad disminuyen
- La cal, a igualdad de concentraciones relativas C_v/C_s , es más efectiva que el polvo calizo, tanto para mezclas patrón con asfalto convencional como con asfalto modificado con polímeros
- En las mezclas patrón elaboradas con ligante convencional, el óptimo de resistencia al envejecimiento parece darse, efectivamente, para una concentración relativa $C_v/C_s=1,0$, tanto para la cal como para el filler de polvo calizo. Cuando se supera esa proporción de filler (en las gráficas, $C_v/C_s=1,3$ y $C_v/C_s=1,5$) las pérdidas se incrementan, diluyéndose los beneficios logrados
- En las mezclas patrón elaboradas con ligantes modificados con polímeros (SBS y EVA), el óptimo de resistencia al envejecimiento parece darse para una concentración relativa aproximada $C_v/C_s=1,3$, tanto para filler cal como para filler de polvo calizo. Para mayor concentración ($C_v/C_s=1,5$ en las gráficas) las pérdidas comienzan a aumentar de manera manifiesta
- En otro orden, se corrobora la mejor respuesta ante el envejecimiento de las mezclas elaboradas con ligantes polimerizados respecto de las mezclas con asfalto convencional

Tratando de afinar la estimación de los “óptimos” de C_v/C_s desde el punto de vista de la resistencia al envejecimiento para los diferentes tipos de ligante y de filler, se confeccionó una gráfica especial cuyos resultados no sólo revelan cuáles serían esas concentraciones óptimas de filler sino que además permiten comparar cuantitativamente los beneficios que se obtienen con cada mástico (combinación de ligante y diferentes tipos y proporciones de filler). Las curvas, diseñadas a partir de los mismos datos de los ensayos que dieron origen a las gráficas de la Figura 3, representan en este caso los “días de envejecimiento necesarios para alcanzar el mismo nivel de pérdidas que en la mezcla patrón elaborada con ligante convencional CA-10, sin filler y ensayada sin envejecer”; Figura 4. En el caso de las mezclas con asfaltos modificados, fue necesario extrapolar los valores que constan en la Figura 3 en la mayoría de los casos.

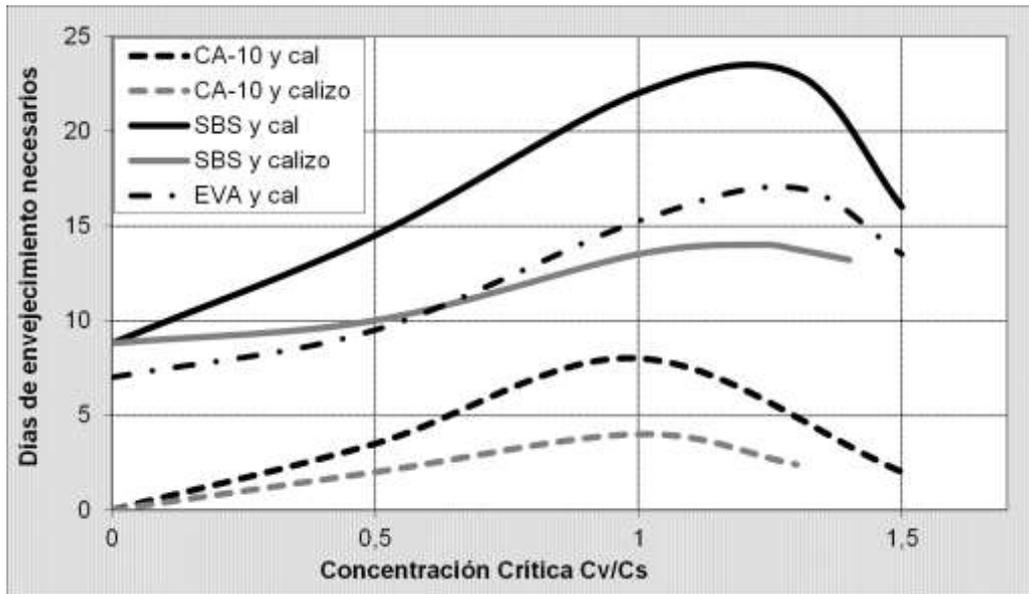


Figura 4. “Días de envejecimiento necesarios para alcanzar igual nivel de pérdidas que en las probetas patrón con asfalto CA-10 sin filler y sin envejecer” vs. Cv/Cs

Nuevamente, se refrendan las premisas de Ruiz en cuanto a asfalto convencional (es importante reiterar que ahora se trata de un CA-10, en tanto que para la evaluación de adhesión-cohesión se empleó un CA-30). Para las mezclas con ligantes modificados, se observa un desplazamiento de la relación Cv/Cs óptima hacia valores mayores que la unidad, pudiendo estimarse que la misma se ubicaría en $Cv/Cs \sim 1,3$ tanto para asfalto modificado con SBS como para modificado con EVA; otros estudios y ensayos realizados por el autor de este trabajo, mediante ensayos mecánicos de tracción sobre probetas UCL envejecidas, convergen hacia conclusiones similares⁽¹²⁾.

Por otra parte, se reafirman las ventajas del empleo de la cal hidráulica hidratada por sobre el polvo calizo, al precisarse más días de envejecimiento en laboratorio para que las probetas patrón elaboradas con cal alcancen las mismas pérdidas que sufren las probetas sin envejecer, para cualquier tipo de ligante y de proporción Cv/Cs, respecto de las probetas fabricadas con filler calizo. Corroborando estos conceptos e incentivando a intensificar los estudios en este sentido, vale transcribir una frase de los investigadores Verhasselt y Puiatti⁽¹³⁾: “Hasta la actualidad, poca atención se ha prestado a un aspecto muy importante de la durabilidad de las mezclas asfálticas: la influencia de la cal en la resistencia al envejecimiento del asfalto”.

c) Análisis conjunto de los efectos del envejecimiento y de la pérdida de adherencia árido-ligante

A fin de evaluar el efecto conjunto de “envejecimiento” y “pérdida de adherencia y cohesión por agua y temperatura”, se ensayaron probetas elaboradas con asfalto CA-30 y cal, similares a las del apartado a), con dos estados de fillerización: sin cal y con $Cv/Cs=1,0$, luego de 7 días de envejecimiento en laboratorio. Es decir, se complementó el análisis efectuado sometiendo a las probetas patrón a condiciones no previstas originalmente por el

Método UCL, pero que son altamente reveladoras de una situación a la cual los pavimentos bituminosos se enfrentan efectivamente en una carretera: soportar las consecuencias del agua y de una elevada temperatura conjuntamente con el efecto del envejecimiento experimentado luego de varios años de servicio.

La Figura 5 muestra los resultados obtenidos, comparándose los mismos con los correspondientes a las probetas sin envejecer del apartado a).

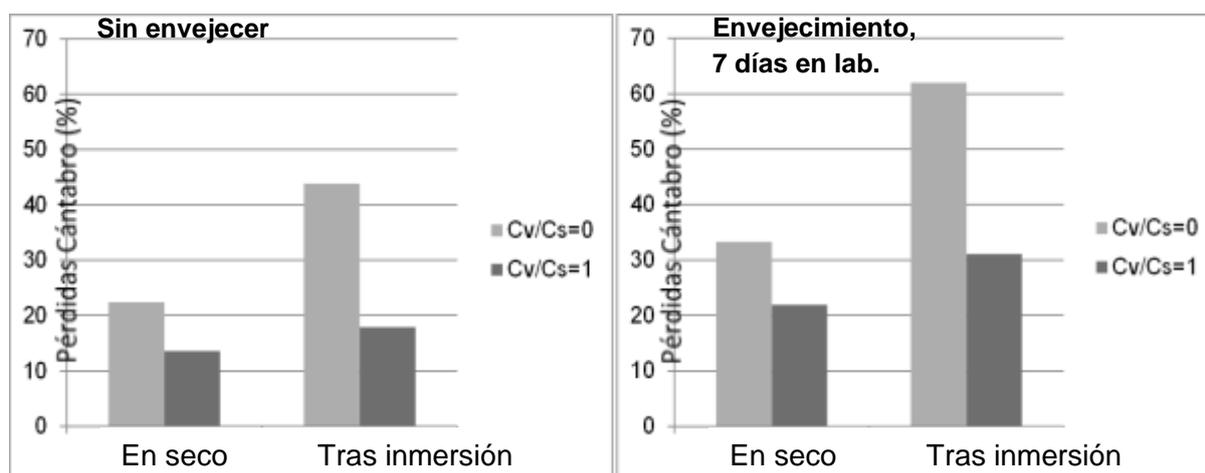


Figura 5. Pérdidas Cántabro, evaluación conjunta del envejecimiento y de la pérdida de adherencia árido-ligante, distintas concentraciones Cv/Cs

Las gráficas de la izquierda, probetas sin envejecer, responden a los resultados consignados en la Tabla 1; a la derecha constan los valores de los ensayos de las probetas envejecidas durante 7 días en laboratorio. Se aprecia claramente el efecto combinado de los dos factores que afectan la durabilidad, magnificado en la mezcla sin filler y notoriamente atenuado en la mezcla con una proporción “óptima” de cal, la cual sufrió pérdidas apenas moderadas a pesar de estar sometida a condiciones severas de degradación.

Se demuestran así, nuevamente, los beneficios de la inclusión apropiada de cal, mejorando la cohesión, la adherencia árido-ligante y la resistencia al envejecimiento.

Propuestas para la redacción de especificaciones para mezclas bituminosas con diferentes tipos de asfaltos

Con los resultados obtenidos ha sido posible valorar la contribución de los filleres a la durabilidad de las mezclas asfálticas y proponer, en consecuencia, criterios sencillos de diseño que tengan en cuenta la adición de cantidades apropiadas de estos materiales con objeto de favorecer la durabilidad sin comprometer otras cualidades deseables del producto final. Tales pautas, fundamentadas además en las experiencias del autor de este trabajo con distintas tipologías de pavimentos bituminosos, son las siguientes:

- ✓ En toda mezcla asfáltica en caliente para capa de rodadura, se debería contemplar la incorporación de filleres de aportación de naturaleza cálcica en la mayor cantidad posible, siempre que sea compatible con los conceptos de concentración crítica y con otras condiciones a tener en cuenta en el diseño. Tanto el filler de aportación como los demás

materiales integrantes de la mezcla a diseñar tendrán que cumplir con los requisitos físicos y químicos que estipulen las especificaciones vigentes. Asimismo, la mezcla resultante deberá poseer todas las cualidades exigibles habituales: resistencia mecánica, flexibilidad, contenido de vacíos, trabajabilidad, rigidez, sensibilidad al agua, resistencia a las deformaciones permanentes y a la fatiga, características superficiales que aseguren seguridad y confort de conducción, etc. Debe tenerse presente que la decisión de incorporar filleres activos en los criterios de formulación tiene por objeto optimizar las propiedades de las mezclas y no actuar en desmedro de las mismas.

✓ El valor límite C_v/C_s (es decir: concentración en volumen de filler en el mástico filler-asfalto (C_v) respecto de la concentración crítica del filler (C_s), entendiéndose como “filler” al material pulverulento que pasa el tamiz N°200 y que está compuesto por el polvo aportado por la fracción más fina de los áridos y el filler comercial de adición), dependerá principalmente del tipo de asfalto a emplear, pero también del tipo de mezcla y del clima imperante:

- Para mezclas con ligantes convencionales y teniendo en cuenta tanto los cambios que el ligante experimenta con el envejecimiento como las posibles distorsiones en las proporciones de ligante y de filler durante la elaboración en planta de las mezclas, se sugiere un valor de relación de concentraciones menor a la unidad, por ejemplo $C_v/C_s \leq 0,9$, para estar a resguardo de la “sobrefillerización” y la consiguiente rigidización de la mezcla

- Para mezclas con asfaltos modificados con polímeros y por las mismas razones expuestas en el párrafo anterior, el cociente C_v/C_s no debería ser superior a 1,2

- En obras de pavimentación asfáltica ubicadas en regiones de clima cálido perenne debería considerarse la conveniencia de elevar dichos valores límites en una o dos décimas de unidad, pues en este caso una elevación de la rigidez actúa en favor de la resistencia a las deformaciones permanentes en edades tempranas del pavimento, que es cuando mayormente se manifiestan, pues a largo plazo el envejecimiento endurece más al ligante acotando los ahuellamientos.

- Si las condiciones granulométricas lo permiten, debería ser obligatorio el empleo de la cal hidratada como filler de aportación hasta alcanzar, si fuese posible, el valor límite de relación de concentraciones C_v/C_s del filler compuesto. Debe tenerse presente que el valor C_v depende del porcentaje de filler, pero también del porcentaje de ligante en la mezcla

- Si las exigencias de granulometría indujeren a adicionar proporciones relativamente grandes de filleres de aportación (tal el caso, por ejemplo, de las mezclas SMA), si bien siempre es recomendable incorporar una proporción de cal hidratada, es conveniente disponer también de filleres con elevados valores de C_s , como el polvo calizo, el cemento portland o incluso polvo de áridos, a fin de no sobrepasar la relación C_v/C_s límite permitida en el filler compuesto

✓ Finalmente, se considera oportuno formular algunas recomendaciones acerca del manejo de los filleres cálcicos comerciales en obra, fundamentalmente su almacenamiento. Por tratarse de ligantes hidráulicos, se torna imperioso proteger estos materiales del agua,

incluso de la humedad ambiental. El acopio en sacos de arpillera plástica o en las bolsas comerciales de papel suele derivar en la humectación y el consiguiente fraguado de estos filleres, inutilizándolos parcial o totalmente para su uso en mezclas asfálticas, aún cuando se tomen ciertos recaudos elementales como resguardar las bolsas bajo techo y separarlas del piso y de las paredes. Los silos metálicos cerrados son la mejor alternativa de almacenaje.

Referencias

- (1) <http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Filler> (2009). Wikivia, la enciclopedia de la carretera, proyecto de la Asociación Española de la Carretera
- (2) Petersen, J.; Harnsberger, P. (1998): *Asphalt aging. Dual oxidation mechanism and its interrelationships with asphalt composition and oxidative age hardening*. Transportation Research Record, Vol. 1638, pp. 47-55
- (3) Ruiz, C. (1947): *Sobre las propiedades mecánicas del sistema filler-betún*. Segunda Reunión Anual de la CPA, Argentina, pp. 25-52
- (4) Ruiz, C. (1960): *Concentración crítica de filler, su origen y significado en la dosificación de mezclas abiertas*. Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, Publicación N°11
- (5) Ridgen, P. (1947): *The use of fillers in bituminous road surfacing –A study of filler-binder system in relation to filler characteristics*. J. Soc. Chem. Ind., N°66, pp. 9-299
- (6) Añón Suarez, H.; Mazza, L. (1955): *Criterio de selección de “fillers” para mezclas asfálticas*. Octava Reunión Anual de la CPA, Argentina, pp. 43-66
- (7) Rivers, G. (2006). *Veintiún sonetos de Sor Juana y su casuística del amor*. Biblioteca Virtual Universal, <http://www.biblioteca.org.ar/libros/132895.pdf>
- (8) Comisión Permanente del Asfalto de la República Argentina (2008). *Especificaciones Técnicas Generales de Concretos Asfálticos Densos, Semi densos y Gruesos en Caliente*
- (9) Comisión Permanente del Asfalto de la República Argentina (2010). *Especificaciones Técnicas Generales de Mezclas Asfálticas en Caliente de Bajo Espesor para Capas de Rodamiento*
- (10) Pérez Jiménez, F.; Miró Recasens, R. (1995). *Características mecánicas de ligantes asfálticos. Método UCL*. Revista Rutas, Madrid, N° 48, pp. 7-14
- (11) Daguerre, L.; Miró, R.; Pérez, F.; Bianchetto, H.; Nosetti, R.; Martínez, C. (2001): *Análisis mediante los métodos BTD y UCL del efecto del tipo y porcentaje de filler en el comportamiento del mástico asfáltico*. 11º CILA, Lima, Perú
- (12) Bianchetto, H. (2005). *Criterios de diseño de mezclas bituminosas para pavimentos tendentes a optimizar su resistencia al envejecimiento*. Tesis Doctoral, ETSECCP-UPC, Barcelona, España
- (13) Verhasselt A.; Puiatti, D. (2004): *Effect of hydrated lime on ageing behavior of bituminous mastic*. 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress-Vienna. Paper 108