

# ESTUDIO DEL EFECTO DE DISTINTOS AGENTES REJUVENECEDORES EN LIGANTES BITUMINOSOS Y EN MEZCLAS ASFÁLTICAS, METODOLOGÍA PARA UNA CORRECTA DOSIFICACIÓN EN MEZCLAS RECICLADAS CON MATERIAL PROCEDENTE DE FRESADO

**LUIS ENRIQUE RAMIREZ SOTO**

QuimiKao, S.A. de C.V.

**JOSÉ RAFAEL BERNAL PADILLA**

QuimiKao, S.A. de C.V.

**AGUSTÍ BUENO**

Kao Corporation, S.A.

**MARTA VILA**

Kao Corporation, S.A.

**LUIS LOZANO**

Kao Corporation, S.A.

---

# ESTUDIO DEL EFECTO DE DISTINTOS AGENTES REJUVENECEDORES EN LIGANTES BITUMINOSOS Y EN MEZCLAS ASFÁLTICAS, METODOLOGÍA PARA UNA CORRECTA DOSIFICACIÓN EN MEZCLAS RECICLADAS CON MATERIAL PROCEDENTE DE FRESADO

---

## RESUMEN

El envejecimiento de los ligantes presentes en el material asfáltico procedente de fresado dificulta el buen desempeño de las mezclas recicladas debido a una excesiva fragilidad del mismo. El uso de agentes rejuvenecedores permite superar esta limitación. Una correcta selección y una adecuada dosificación del agente rejuvenecedor son claves para un buen resultado. Una primera parte del presente trabajo muestra una monitorización del desempeño de agentes rejuvenecedores y el establecimiento de su dosis adecuada en función de la tasa de reciclado a emplear, basándose en la caracterización reológica de los ligantes presentes. Una segunda parte, muestra un estudio de cómo los agentes rejuvenecedores reducen la fragilidad de las mezclas asfálticas, contengan éstas material procedente de fresado o no.

## PALABRAS CLAVE

Asfalto, deformación permanente, índice de flexibilidad, fragilidad, reciclado, rejuvenecedor, reología, temperatura crítica.

## 1. INTRODUCCIÓN

Es bien conocido que los pavimentos asfálticos se degradan con el paso del tiempo. En muchas ocasiones es necesario fresar y retirar la mezcla asfáltica del pavimento para reponerla después, generándose así grandes cantidades de residuo proveniente del material fresado (RAP, de las siglas en inglés de Reclaimed Asphalt Pavement).

En muchos países existe, desde hace ya mucho tiempo, la cultura de reciclar ese material (RAP) en nuevas operaciones de pavimentación, ya sea incorporándolo en capas de base, intermedias e incluso en capa de rodadura en altos porcentajes de tasa. En estadísticas disponibles en EAPA [1] se puede observar como, por ejemplo, en Alemania, Italia, Francia se reciclan cantidades muy importantes de material fresado. En cambio en España todavía no es práctica habitual el reciclaje de mezclas asfálticas con altos porcentajes de RAP.

En nuestro entorno actual, la sociedad ha adquirido firmes compromisos con la sostenibilidad. Los principios en los que se basa la economía circular nos obligan a reciclar cualquier tipo de residuo que se genere por cualquier actividad, y el material fresado no es una excepción. En principio se entiende que el material fresado es teóricamente reciclable al 100%, pero el uso creciente de betunes especiales y modificados a veces nos plantea complicados retos para alcanzar altas tasas de RAP. Afortunadamente, hoy en día disponemos de diversas tecnologías y soluciones técnicas para asumir esos objetivos y así poder reutilizar el material fresado con la mayor tasa posible.

Una de las tecnologías más extendidas para recuperar el RAP en nuevos trabajos de pavimentación es el uso de agentes rejuvenecedores.

En general el envejecimiento de las mezclas asfálticas es un proceso complejo derivado de la oxidación por aire del ligante, aumentando así los problemas de fragilidad y rigidez. La oxidación (envejecimiento) de la mezcla provoca que la composición química

**ESTUDIO DEL EFECTO DE DISTINTOS AGENTES REJUVENECEDORES EN LIGANTES BITUMINOSOS Y EN MEZCLAS ASFÁLTICAS, METODOLOGÍA PARA UNA CORRECTA DOSIFICACIÓN EN MEZCLAS RECICLADAS CON MATERIAL PROCEDENTE DE FRESADO**

del ligante evolucione a una mayor cantidad de asfaltenos, desequilibrando su sistema coloidal original hacia fases que dan lugar a mayor rigidez y fragilidad macroscópicas.

Con el uso de agentes rejuvenecedores se pretende revertir los efectos negativos de esa oxidación del ligante redispersando el exceso de asfaltenos. De esta manera es posible reacondicionar el ligante envejecido para darle propiedades iguales o a veces incluso mejores a las que tenía originalmente.

Esta técnica sin duda representa una solución económica y ecológica al problema de la acumulación del material fresado. Es por tanto sostenible y totalmente alineada con los principios propuestos por la economía circular

En el presente trabajo se describe una nueva metodología a emplear para predecir en el laboratorio, de forma sencilla y rápida, la tasa de material fresado que se puede recuperar en función de la cantidad y tipo de rejuvenecedor empleado.

**2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**2.1. Determinación de la máxima tasa de material reciclado mediante el uso de gráficos de mezclado**

El Transportation Research Board de Estados Unidos publicó un método que permite establecer un rango apropiado de tasa de reciclaje mediante una previsión de las características del ligante final presente en la mezcla reciclada [2]. El método se basa en la caracterización del ligante según los criterios del método Superpave [3]. La metodología consiste en el estudio reológico del ligante, original y sometido a envejecimiento (RTFO y PAV). Enfrentando la variación de los parámetros reológicos respecto de la temperatura con unos valores umbral predeterminados, se establecen una serie de temperaturas críticas para cada ligante estudiado. Destacan la temperatura crítica alta (Tc(H)) y baja (Tc(L)). Pudiendo correlacionarse Tc(H) con la máxima temperatura de rodadura a la que no se produce un excesivo reblandecimiento del ligante, y Tc(L) con la mínima temperatura a la que no se produce una excesiva fragilidad del mismo. Una vez establecidas Tc(H) y

(Tc(L) para los ligantes a emplear en la mezcla reciclada, se pueden construir los gráficos de mezclado (blending charts), que nos permiten prever qué tasas de reciclado darán lugar a una mezcla asfáltica cuyo ligante tenga un perfil reológico adecuado.

En primer lugar, se ha procedido a determinar las temperaturas críticas alta (Tc(H)) y baja (Tc(L)) del ligante extraído del material procedente de fresado (RAP) y del ligante de aportación (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Temperaturas críticas de ligantes

	Ligante de aportación	Ligante extraído de RAP
Tc(H) (°C)	64,7	107,1
Tc(L) (°C)	-22,0	-11,2

El propósito del estudio es evaluar el desempeño de distintos agentes rejuvenecedores. Es por eso, que a continuación se han determinado dichas temperaturas críticas para el ligante de aportación dopado con distintos tipos de rejuvenecedores (nombrados en este artículo como R1, R2, R3 y R4) y a distintas dosis (3%, 5% y 10% sobre ligante de aportación).

Tabla 2. Temperaturas críticas de ligantes

	Sin aditivo	Aditivado											
		R1			R2			R3			R4		
Tc(H) (°C)	64,7	63,5	59,7	51,4	63,8	61,1	53,7	64,9	61,6	54,1	54,1	62,7	57,7
Tc(L) (°C)	-22,0	-29,5	-35,3	-42,3	-26,4	-27,7	-32,5	-26,5	-30,1	-34,6	-34,6	-29,1	-32,8

A partir de estos datos, se han construido los distintos gráficos de mezclado.

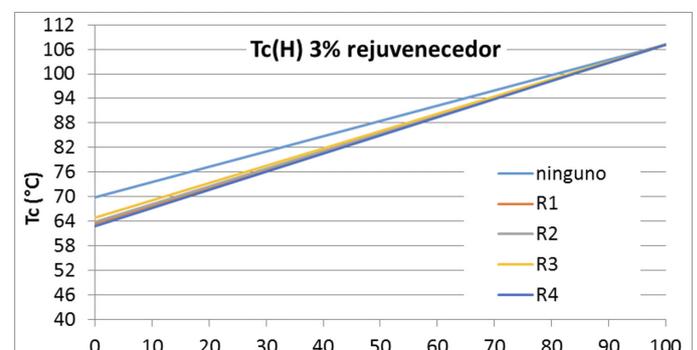


Figura 1. Gráfico de mezclado de temperatura crítica superior con agentes rejuvenecedores dosificados al 3% sobre el ligante de aportación.

El gráfico de  $T_c(H)$  nos muestra cómo dosificando los distintos rejuvenecedores al 3% respecto del ligante de aportación, el ligante de la mezcla reciclada presenta una  $T_c(H)$  inferior al ligante de aportación para tasas de reciclado inferiores al 15%-20%.

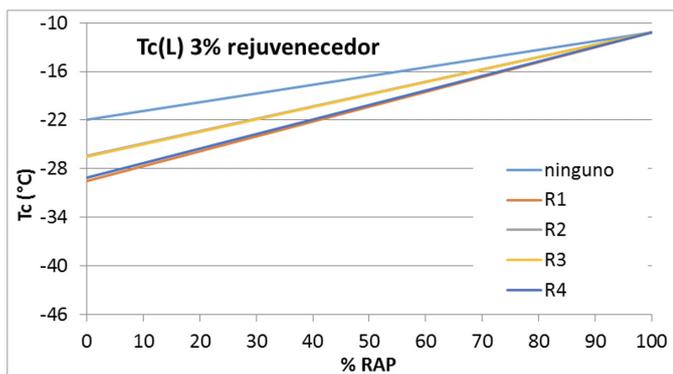


Figura 2. Gráfico de mezclado de temperatura crítica inferior con agentes rejuvenecedores dosificados al 3% sobre el ligante de aportación.

El gráfico de  $T_c(L)$  nos muestra cómo dosificando los distintos rejuvenecedores al 3% respecto del ligante de aportación, el ligante de la mezcla reciclada presenta una  $T_c(L)$  inferior al ligante de aportación para tasas de reciclado inferiores al 30% o 40% dependiendo del rejuvenecedor seleccionado.

Así pues, dopando el ligante de aportación con un 3% de agente rejuvenecedor se puede trabajar a una tasa de reciclado comprendida entre el 15% y hasta el 40% en función del rejuvenecedor sin temer una mayor tendencia la deformación permanente ( $T_c(H)$ ) ni una mayor fragilidad a baja temperatura ( $T_c(L)$ ) de las que pueda ofrecer una mezcla fabricada empleando sólo ligante de aportación y árido virgen (Tasa 0%).

Los gráficos de mezclado empleando el mismo ligante de aportación dopado con mayores cantidades de rejuvenecedores muestran tasas óptimas de reciclado entre el 20% y el 55% para un 5% de dosificación y entre el 30% y el 65%, a un 10% de dosificación. Se observan mayores variaciones en función del rejuvenecedor seleccionado que en el caso de dosificaciones del 3%.

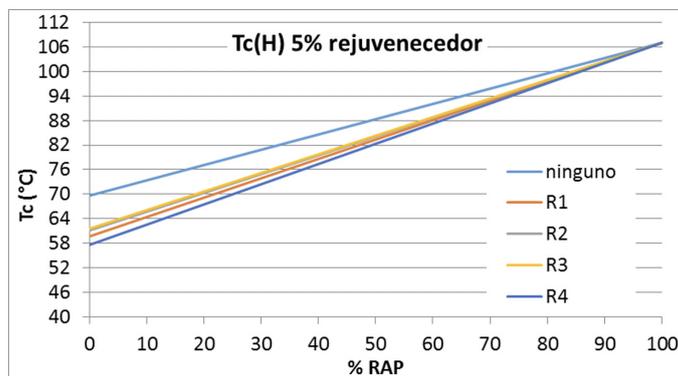


Figura 3. Gráfico de mezclado de temperatura crítica superior con agentes rejuvenecedores dosificados al 5% sobre el ligante de aportación.

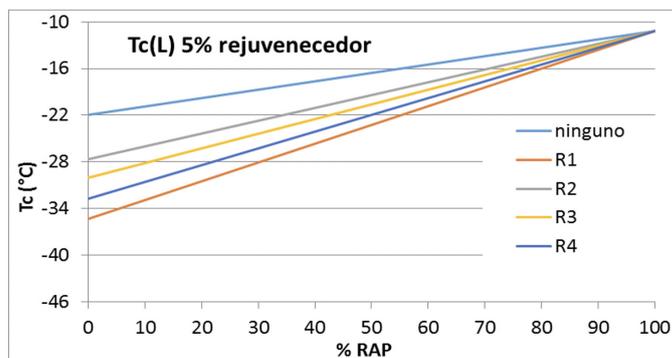


Figura 4. Gráfico de mezclado de temperatura crítica inferior con agentes rejuvenecedores dosificados al 3% sobre el ligante de aportación.

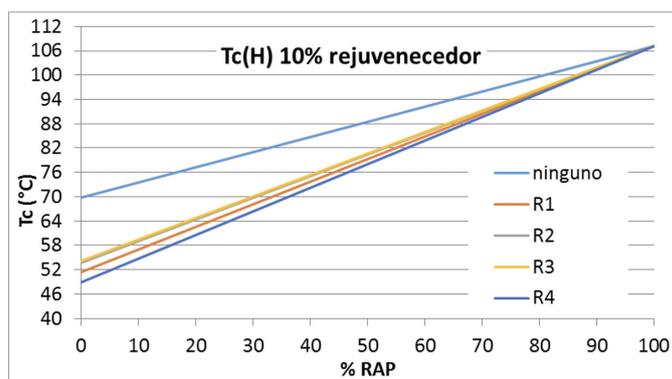


Figura 5. Gráfico de mezclado de temperatura crítica superior con agentes rejuvenecedores dosificados al 3% sobre el ligante de aportación.

**ESTUDIO DEL EFECTO DE DISTINTOS AGENTES REJUVENECEDORES EN LIGANTES BITUMINOSOS Y EN MEZCLAS ASFÁLTICAS, METODOLOGÍA PARA UNA CORRECTA DOSIFICACIÓN EN MEZCLAS RECICLADAS CON MATERIAL PROCEDENTE DE FRESADO**

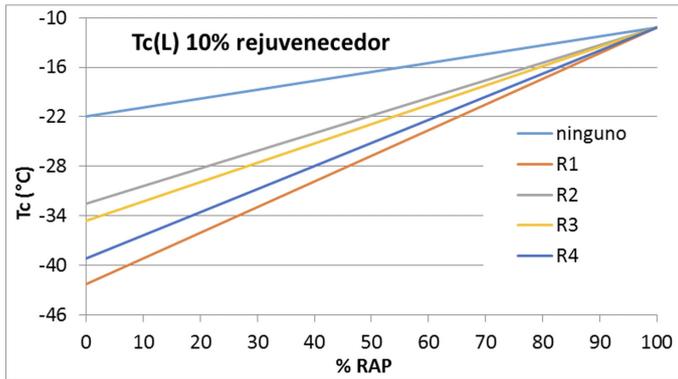


Figura 6. Gráfico de mezclado de temperatura crítica inferior con agentes rejuvenecedores dosificados al 3% sobre el ligante de aportación.

**2.2. Efecto de los rejuvenecedores en la mejora de la resistencia al agrietamiento de mezclas asfálticas recicladas, estudio mediante el índice de flexibilidad de Illinois (I-FIT).**

El método de determinación del Índice de Flexibilidad de Illinois (I-FIT) está diseñado para evaluar la resistencia a la fisuración de probetas asfálticas, y se encuentra estandarizado en las normas AASH-TO [4]. Estudios recientes han demostrado la utilidad del I-FIT para discriminar mezclas de asfálticas producidas en el laboratorio que contienen altos niveles de materiales reciclados y largos tiempos de envejecimiento [5, 6]. Además, los valores de FI han mostrado una buena correlación con las clasificaciones por desempeño que se han desarrollado para mezclas asfálticas.

El ensayo consiste en la aplicación de una carga sobre una probeta semicircular a la cual se le ha practicado una ranura en el sentido de la carga.



Figura 7. Probeta semicircular dispuesta en la prensa de ensayo, y detalle de la misma una vez finalizado.

A partir del ensayo se obtiene la correspondiente curva carga / desplazamiento. El análisis de esta curva da lugar a dos parámetros principales:

- La energía de fractura ( $G_f$ ) definida como el área comprendida debajo de la curva, dividida por el área de la grieta propagada.  $G_f = W_f/A$
- La pendiente post-pico ( $m$ ), definida como la pendiente en el punto de inflexión posterior al punto de carga máxima.

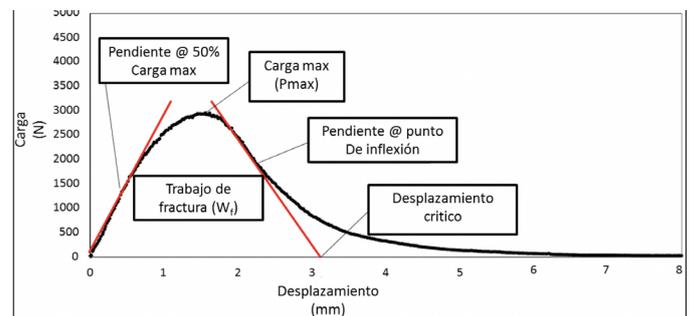


Figura 8. Curva carga-desplazamiento típica de un ensayo I-FIT.

El I-FIT queda definido por la ecuación:

$$FI = k \cdot \frac{G_f}{m}$$

Dónde:

FI= Índice de Flexibilidad

Gf= Energía de Fractura (J/m<sup>2</sup>)

m= pendiente post pico (kN/mm)

k= coeficiente de escala = 0.01

Mediante esta metodología se ha evaluado cómo afectan dos aditivos seleccionados a la resistencia a la fisuración de las correspondientes mezclas asfálticas [7]. Para ello, se aditivó el ligante con un 3% de rejuvenecedor R4 y un 4% del aditivo R5. Los ensayos se realizaron de forma comparativa empleando dos betunes distintos (64-22 y 76-22, respectivamente) aditivados y sin aditivar. La dotación de ligante fue en todos los casos de un 5.5% sobre masa de ligante. Respecto al árido de aportación, se empleó un árido basáltico cuya distribución granulométrica queda reflejada en la figura 9.



bargo, la presencia de agente rejuvenecedor en la mezcla da lugar a un índice de flexibilidad incluso mayor que el observado para la mezcla con materiales vírgenes sin aditivar.

### 3. CONCLUSIONES

- La caracterización del grado de desempeño PG del ligante procedente de RAP, así como el de aportación sólo y dopado con rejuvenecedores ofrece un modo sencillo de establecer los rangos óptimos de tasa de reciclado.
- El índice de flexibilidad de Illinois ofrece un método para evaluar la resistencia al agrietamiento de mezclas asfálticas recicladas al alcance de muchos laboratorios de mezclas asfálticas.
- Se ha evaluado el desempeño de distintos agentes rejuvenecedores que permiten la fabricación de mezclas asfálticas recicladas a media y alta tasa con un buen control de la fragilidad.
- El uso de agentes rejuvenecedores adecuados puede estar también indicado para mejorar las prestaciones de mezclas asfálticas que no contienen material procedente de fresado.

### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] **EAPA, asphalt in figures:** <https://eapa.org/asphalt-in-figures-archive/>
- [2] **NCHRP Report 452.**
- [3] **AASHTO M 320-09** Performance-Graded Asphalt binder
- [4] **AASHTO TP 124** *Standard Method of Test for Determining the Fracture Potential of Asphalt Mixtures Using the Illinois Flexibility Index Test (I-FIT)*, AASHTO standards 2020.
- [5] **Barry MK, 2016.** An analysis of impact factors on the Illinois flexibility index test. Master 20 Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.

[6] **Zhou, F., I. Soohyok, S. Hu, D. Newcomb, and T. Scullion.** Selection and Preliminary 22 Evaluation of Laboratory Cracking Tests for Routine Asphalt Mix Designs. Journal of 23 Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 85, 2016, pp. 77–108.

[7] **Bernal, J.R.; Ramírez, L.E.** *Evaluación de la resistencia al agrietamiento de mezclas asfálticas mediante el índice de flexibilidad de Illinois (I-FIT)*. XX CILA, comunicación 201.