

# Evaluation of a rejuvenator as an additive in asphalt

## Valoración de un rejuvenecedor como aditivo en el asfalto

R. R. Vila <sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9109-5679>, W. Mera \* <https://orcid.org/0000-0001-8063-4043>,  
J. Jaramillo \* <https://orcid.org/0000-0002-5764-1883>

\* Universidad Católica de Santiago de Guayaquil – Guayaquil, ECUADOR

Fecha de Recepción: 15/09/2020

Fecha de Aceptación: 05/01/2021

PAG 222-232

### Abstract

Ecuadorian asphalt has the particularity of being prone to premature aging; therefore, the asphalt pavements have insufficient durability. The objective of this experimental work is to assess the effect that a modification with the rejuvenating agent Sylvaroad RP-1000 produces on the properties of AC 20 asphalt from the Esmeraldas Refinery, as well as evaluating its impact on the quality of a typical asphalt mix, without reclaimed asphalt pavement, prepared with modified and unmodified asphalt. The asphalt used is also classified as PG 64-22 and when mixed with 2.5% by weight of the rejuvenator, the grade changed to PG 58-28. Additional studies were carried out using the  $\Delta T_c$ , Glover-Rowe parameters and the corresponding transition temperatures, showing improvements in the results. At that point, a dense mix with 5.5% asphalt was designed. Stiffness modulus, cyclic compression and fatigue modulus tests were applied with the NAT equipment to the specimens. When using modified asphalt, the fatigue behavior improved remarkably. Additionally, an aging process in oven at 85 ° C was applied to both mixtures, measuring the stiffness modulus and fatigue at 8 days, which demonstrated an adequate behavior only in the mixture made with rejuvenator.

**Keywords:** Asphalt, asphalt mix, rejuvenating, aging, NAT

### Resumen

El asfalto ecuatoriano tiene la particularidad de ser proclive al envejecimiento prematuro incidiendo en que los pavimentos asfálticos presenten una insuficiente durabilidad. El objetivo de este trabajo experimental es valorar el efecto que produce en las propiedades del asfalto AC 20, procedente de la Refinería de Esmeraldas, su modificación con el agente rejuvenecedor Sylvaroad RP-1000; así como evaluar su incidencia en la calidad de una mezcla asfáltica típica, sin material fresado, preparada con asfalto sin modificar y modificado con rejuvenecedor. El asfalto utilizado clasifica como PG 64-22 y al ser mezclado con 2.5% en peso del rejuvenecedor, su grado cambió a PG 58-28. Se realizaron estudios adicionales empleando los parámetros  $\Delta T_c$ , Glover-Rowe y las temperaturas de transición, evidenciándose mejoras en los resultados. Luego se diseñó una mezcla densa con 5.5% de asfalto; a las briquetas confeccionadas se le aplicaron pruebas de módulo de rigidez, compresión cíclica y fatiga con el equipo NAT. Al emplear asfalto modificado el comportamiento a la fatiga mejoró notablemente. Adicionalmente, se aplicó un proceso de envejecimiento en horno a 85°C a ambas mezclas, valorándose el módulo y la fatiga a los 8 días, que demostraron un buen comportamiento solo en la mezcla con rejuvenecedor.

**Palabras clave:** Asfalto, mezcla asfáltica, rejuvenecedores, envejecimiento, NAT

## 1. Introducción

Por razones económicas y ambientales en muchos países se ha venido incrementado el empleo del material fresado proveniente de capas asfálticas o RAP (Reclaimed Asphalt Pavement); sin embargo, el empleo del RAP en altos porcentajes en una mezcla reciclada hará que esta sea menos laborable, más difícil de compactar y más propensa al agrietamiento y a los efectos del intemperismo (Li et al., 2008), (Mogawer et al., 2012). Una solución para estos problemas es el empleo de asfaltos base más blandos o bien el uso de agentes de reciclado o rejuvenecedores. Estos agentes pueden restaurar las características reológicas de los ligantes reciclados y de su mezcla con el ligante base a las exigencias de desempeño deseadas (Arámbula et al., 2018).

Es conocido que los pavimentos flexibles en el Ecuador presentan algunos tipos de deterioros a los pocos años de ser construidos o rehabilitados. Los agrietamientos por fatiga o en bloques son los tipos de daños más comunes. Esto se puede atribuir, en parte, a que la mayoría del asfalto utilizado proviene de la Refinería de Esmeraldas que tiene la particularidad de ser proclive al envejecimiento prematuro y por ende a una baja durabilidad. Esto puede comprobarse mediante la clasificación por viscosidad, donde es frecuente el incumplimiento de las exigencias de calidad en el residuo de la prueba de película delgada rotatoria o RTFOT (Vila et al., 2017). Por ello, en trabajos desarrollados en el Laboratorio de Carreteras de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG) se han empleado directamente aditivos rejuvenecedores con el cemento asfáltico ecuatoriano para tratar de disminuir la intensidad de su envejecimiento y también para valorar su incidencia en el comportamiento de las mezclas (Icaza y Mera, 2018).

<sup>1</sup> Autor de correspondencia:

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil – Guayaquil,  
ECUADOR

E-mail: rolando.vila@cu.ucsg.edu.ec



El objetivo del presente trabajo experimental es valorar el efecto que produce en las propiedades del asfalto AC 20, procedente de la Refinería de Esmeraldas, su modificación con el agente rejuvenecedor Sylvaroad RP-1000; así como evaluar su incidencia en la calidad de una mezcla asfáltica típica, sin material fresado, preparada con asfalto sin modificar y modificado con rejuvenecedor.

## 2. Ligantes empleados

### 2.1 Clasificación por viscosidad

Se utilizó como ligante base el cemento asfáltico procedente de Esmeraldas, que fue modificado con la adición del rejuvenecedor indicado. Para la dosificación del agente rejuvenecedor se cuidó, en primer lugar, el cumplimiento de las exigencias al residuo RTFOT. Posteriormente, para las mezclas, se verificó que dicha dosificación no resultara excesiva pues de serlo produciría un ligante muy blando que impactaría negativamente ante la resistencia al ahuellamiento de la mezcla. Contrariamente, una dosificación muy baja podría ayudar a reducir la fragilidad del ligante pero sin un efecto pronunciado en el mejoramiento de la resistencia a la fatiga. La modificación empleada comprendió la mezcla en peso de 97.5% de asfalto base AC 20 con 2.5% en peso de rejuvenecedor. En la (Tabla 1) pueden observarse los resultados de las pruebas para la clasificación por viscosidad, según la norma ecuatoriana (INEN 2515, 2010).

Tabla 1. Resultados de las pruebas según clasificación por viscosidad

Propiedades	AC-20		Asfalto	Asfalto +
	Mín	Máx	Base	Rejuvenecedor
Viscosidad, 60° C (Pa.s)	160	240	235	100
Visc. Cinemática, 135°C (mm <sup>2</sup> /s)	300	-	343	277
Punto de inflamación (°C)	232	-	290	305
G. específica (25°C/25°C)	-	-	1,013	1,011
P. ablandamiento (°C)	-	-	49,5	47,0
Penet. 25°C, 100g, 5s (0.1 mm)	-	-	68	100
Índice de Penetración	-1.5	+1.0	-0,6	-0,2
Residuo RTFO				
Viscosidad, 60° C (Pa.s)	-	800	1315	716
Cambio de masa (%w/w)	-	1,0	0,049	0,063
Ductilidad 25°C, 5cm/min (cm)	50	-	25	55,5

En el asfalto base si bien la prueba de viscosidad en el betún original a 60°C permitiría identificar la muestra como AC 20, se incumplen las exigencias de la viscosidad y ductilidad en las pruebas al residuo del RTFO, lo cual es un problema bastante generalizado en este asfalto y que impulsa precisamente esta investigación. Al modificarse con rejuvenecedor, se pueden cumplir las exigencias al residuo, pero se incumple entonces con la viscosidad del asfalto original. Este comportamiento deberá ser considerado al adicionar rejuvenecedores en la forma planteada en este estudio.

### 2.2 Clasificación por grados de desempeño

En la (Tabla 2) se muestran los valores obtenidos en las pruebas Superpave según la norma INEN 3030-2017. Teóricamente un asfalto PG 64 -22 pudiera satisfacer los rangos de temperaturas de todas nuestras regiones geográficas, obtenidos según los criterios del Superpave y que se muestran en la (Tabla 3) (Vila et al., 2017). Sin embargo, en nuestras carreteras existe un mal comportamiento ante las temperaturas intermedias, identificado con los agrietamientos por fatiga. Es ampliamente conocido que el parámetro de control para estas temperaturas empleado por el Superpave, o sea, "G\*.Senδ", se correlaciona pobremente con la fatiga.

Por otra parte, en la medida que los pavimentos envejecen estos comienzan a presentar grietas y desprendimientos de agregados. Aunque los esfuerzos producidos por el tráfico incrementan las destrucciones, la



evolución de las propiedades reológicas del asfalto envejecido puede ser lo suficientemente dañina por sí sola para causar fisuras en bloques debido a los esfuerzos provocados por los gradientes térmicos (King et al., 2012).

Este criterio se considera válido para los rangos de fluctuación de las temperaturas diarias durante todo el año en Ecuador, con gradientes más significativos en la región Sierra, donde precisamente estos tipos de daños: fisuras en bloques y desprendimientos o “peladuras”, son más frecuentes e intensos. Con la adición de un rejuvenecedor, como se muestra en la (Tabla 2), se obtiene un PG 58-28 que sin dudas puede ayudar a disminuir estos efectos negativos, con mayores posibilidades en la región Sierra por el grado alto de temperatura que se alcanza.

Tabla 2. Resultados de las pruebas según clasificación PG

Prueba	Exigencia	Asfalto Base	Asfalto + Rejuvenecedor
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>			
Punto de inflamación, °C	230 min	290	305
Viscosidad, Pa.s	135°C	3 máx	0,32
	46°C	14,50	8,81
Módulo de corte dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	52°C	6,25	3,49
	58°C	1,0 min	2,68
	64°C	1,19	0,63
	70°C	0,55	xx
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>			
Pérdida de masa, %	1,0 máx	-0,049	-0,063
	46°C	47,70	22,90
Módulo de corte dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	52°C	21,30	9,74
	58°C	2,2 min	9,70
	64°C	4,59	2,01
	70°C	2,21	xx
	76°C	1,10	xx
<b>RESIDUO ENVEJECIDO PAV (100°C, 20 hr)</b>			
	31°C	989	xx
	28°C	1390	xx
Módulo de corte dinámico (G* x sinδ, 10 rad/seg), kPa	25°C	1950	1150
	22°C	5000 máx	2750
	19°C	3800	2270
	16°C	5140	3120
	13°C	xx	4230
	10°C	xx	5720
Rigidez, MPa (60 s)	-24°C	300 máx	381
Valor m		0,300 min	0,268
Rigidez, MPa (60 s)	-18°C	300 máx	197
Valor m		0,300 min	0,294
Rigidez, MPa (60 s)	-12°C	300 máx	87
Valor m		0,300 min	0,345
<b>CLASIFICACIÓN PG</b>	--	<b>64 -22</b>	<b>58 -28</b>



**Tabla 3.** Rangos de temperaturas en el pavimento asfáltico de acuerdo a Superpave

REGIONES	COSTA	SIERRA	AMAZONÍA
Temperaturas máximas, °C	54 a 58	42 a 52	52 a 57
Temperaturas mínimas, °C	8 a 16	-3 a 8	7 a 15
Temperaturas intermedias, °C	35 a 41	24 a 34	34 40

### 3. Estudios adicionales a los ligantes

Hace pocos años un experto del Instituto del Asfalto opinó:

El próximo paso en la evolución de la tecnología de los asfaltos es fijar un parámetro para el control de los ligantes a las temperaturas intermedias, es decir, relacionado con los deterioros asociados a las fisuras por fatiga y la durabilidad. Un grupo de nuevas pruebas y parámetros han sido propuestos: Barrido lineal de amplitud (LAS), Valor-R, Glover-Rowe,  $\Delta T_c$  y tensión en doble borde con muesca (DENT) por citar algunos, pero los estudiosos del asfalto tienen todavía que ponerse de acuerdo sobre la que ellos consideren que mejor se relaciona con el agrietamiento a las temperaturas intermedias (Anderson, 2016a).

Por esta razón se consideró oportuno realizar algunas pruebas adicionales a nuestro alcance.

#### 3.1 Parámetro $\Delta T_c$

Este parámetro se determina realizando cálculos adicionales con los datos obtenidos en la prueba con el reómetro de viga en flexión (BBR). " $\Delta T_c$ " se calcula según la (Ecuación 1):

$$\Delta T_c = T_{c,m} - T_{c,S} \quad (1)$$

Donde  $T_{c,m}$  es la temperatura crítica correspondiente al valor de la pendiente "m" (pendiente de relajamiento de la rigidez) igual a 0.300 con tiempo de carga de 60 segundos y  $T_{c,S}$  es la temperatura crítica correspondiente al valor de la rigidez igual a 300 MPa obtenido con tiempo de carga de 60 segundos.

Si bien el " $\Delta T_c$ " se obtiene a bajas temperaturas, este parámetro es un indicador de la calidad y durabilidad del ligante que puede correlacionarse muy bien con otros parámetros vinculados a las temperaturas intermedias (Anderson et al., 2011). En la medida que el asfalto se envejece, el valor de " $\Delta T_c$ " se incrementa, indicando lo que se considera una pérdida en las propiedades de relajamiento. Los valores relacionados con el inicio del agrietamiento y con la presencia de grietas son 2.5 y 5.0°C respectivamente. Los valores calculados se presentan en la (Tabla 4).

Se destaca que en algunos trabajos (Anderson, 2016b) al parámetro " $\Delta T_c$ " se le designa como la diferencia entre " $T_{c,S}$ " y " $T_{c,m}$ ", lo que pudiera crear algunas confusiones en la interpretación de resultados por el cambio de signo que produce.

#### 3.2 Criterio Glover – Rowe

Este criterio, que puede representarse en un diagrama de Black, responde a la (Ecuación 2):

$$G' / (\eta' / G') = G^* \cdot ((\cos \delta)^2 / \sin \delta) \cdot \omega \quad (2)$$

Siempre que se conozca la frecuencia de prueba ( $\omega$ ) las variables: módulo complejo ( $G^*$ ) y el ángulo de fase ( $\delta$ ) se puede crear una curva de daños en el Diagrama de Black. El parámetro Glover - Rowe se obtiene de pruebas DSR con barrido de frecuencia a 15°C y 0.005 rad/s (King et al, 2012). Valores por debajo de 180 kPa sugieren que no existirán agrietamientos de bloques, entre 180 y 600 kPa que las grietas están en desarrollo y por encima de 600 kPa que ya existe el agrietamiento. Los resultados se resumen en la Tabla 4.

#### 3.3 Temperatura de transición viscoelástica

Es conocido que en las curvas maestras de un asfalto la frecuencia de cruce representa un equilibrio entre la componente elástica ( $G'$ ) del módulo complejo y la componente viscosa ( $G''$ ), y una transición de un estado más



parecido al sólido a un estado más parecido a un fluido dado el comportamiento viscoelástico. En años recientes se han realizado investigaciones (García et al., 2018) sobre la temperatura de cruce a una frecuencia de prueba constante, también denominada temperatura crossover, de transición viscoelástica ( $T_{VET}$ ), de fusión o simplemente  $T_{\delta=45^\circ}$ .

En el trabajo anteriormente referido y a partir de correlaciones con el parámetro Glover - Rowe, se considera satisfactorio el comportamiento de los ligantes que permanecen por debajo del umbral de advertencia ( $32^\circ\text{C}$ ) después de 20 h de envejecimiento en equipo PAV y por debajo del límite de agrietamiento ( $45^\circ\text{C}$ ) después de 40 h de envejecimiento en PAV, ensayados a 10 rad/s. En la (Tabla 4) se muestran las temperaturas de transición obtenidas según estos criterios.

**Tabla 4.** Rangos de temperaturas

Criterios adicionales	Asfalto Base		Asfalto+Rejuvenecedor	
	RIFOT	PAV	RIFOT	PAV
Parámetro $\Delta T_c$ , $^\circ\text{C}$	XXX	4,06	XXX	0,66
Parámetro Glover – Rowe, kPa	19	121	8	63
Temperatura de transición, $^\circ\text{C}$	31,2	36,9	14,1	32,0

En la (Tabla 4) puede observarse también que para el residuo del PAV en el asfalto base tanto el valor de  $\Delta T_c$  como la temperatura de transición se encuentran en zona de agrietamiento de acuerdo a los criterios manejados; esta situación no la refleja el parámetro Glover – Rowe. Por otra parte, la adición del rejuvenecedor mejoró notablemente el comportamiento evaluado con esos criterios.

#### 4. Características de la mezcla asfáltica

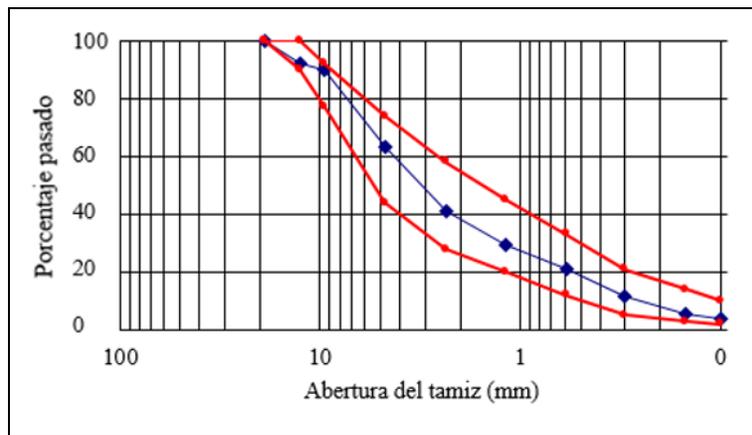
Para esta investigación se empleó como referente una mezcla de granulometría densa con tamaño máximo nominal 12.5 mm, utilizando agregados minerales de origen basáltico de buena calidad. En la (Tabla 5) se presentan las características de los agregados y en la (Figura 1) se muestra la granulometría combinada empleada. Se realizó un diseño Marshall que permitió determinar un contenido óptimo de 5.5% de asfalto (en peso). Con dicho porcentaje se confeccionaron briquetas para cada tipo de asfalto (sin y con rejuvenecedor). Antes de realizar el proceso de compactación las mezclas confeccionadas se colocaron en un horno a  $135^\circ\text{C}$  por 2 horas.

**Tabla 5.** Características de los agregados minerales

Característica	Norma	Resultado	Exigencia (*)
Gravedad específica bruta	INEN 857	2,871	-
Absorción (%)	INEN 857	0,97	-
Abrasión Los Ángeles (%)	INEN 860	9,9	<40%
Solidez ante el sulfato de sodio (%)	INEN 863	0,81	<12%
Equivalente de arena (%)	ASTM D 2419	79,0	>50%
Planas y alargadas (%)	ASTM D 4791	6,2	<10%

(\*) Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes . MOP. 2002





De acuerdo con la propuesta de exigencias mencionadas, la calificación de las mezclas asfálticas para capas de rodadura en función del módulo de rigidez es:

Mezclas satisfactorias: 3000 a 4000 MPa,

Mezclas tolerables: 2500 a 3000 MPa y 4000 a 5000 MPa, y

Mezclas inadecuadas: menores a 2500 MPa o mayores a 5000 MPa.

Analizando los valores promedios se puede observar que la mezcla con asfalto base es la que presenta el valor mayor (3080 MPa), que califica como satisfactoria. Se observa que la inclusión del rejuvenecedor disminuye el valor del módulo de rigidez (2574 MPa), aunque aún clasifica como mezcla tolerable.

## 5.2 Deformación permanente bajo compresión cíclica

En esta prueba un ciclo de carga consiste en la aplicación de una tensión durante 1 segundo seguido por 1 segundo de descanso, con ondas cuadráticas. El ensayo se realizó a una temperatura de 40°C, con una magnitud de carga de 100 KPa, midiendo las deformaciones verticales provocadas por 3600 repeticiones de dicha carga. Los resultados se muestran en la (Tabla 7).

**Tabla 7.** Resultados de las pruebas de compresión cíclica uniaxial

Briqueteta	Deformación permanente a 40 °C, %	
	Asfalto Base	Asfalto+Rejuvenecedor
1	0,739	0,989
2	0,916	0,970
3	1,027	0,759
Promedio	0,894	0,906
Des. Estándar	0,145	0,128
C. Variación	16,2	14,1

Según la propuesta de exigencias la calificación de las mezclas asfálticas, en función del porcentaje de deformación en la prueba de compresión cíclica uniaxial, es:

Mezclas satisfactorias: deformaciones menores o iguales a 1%, y

Mezclas inadecuadas: deformaciones mayores a 1%.

Analizando los valores promedios de las briquetas se observó que las dos mezclas tienen valores por debajo del 1% de deformación, lo que indica que en las mezclas se espera un comportamiento satisfactorio frente a la deformación plástica. No obstante, la adición de un rejuvenecedor siempre tiende a incrementar las deformaciones, en este caso en un rango muy pequeño.

## 5.3 Fatiga por tracción indirecta bajo esfuerzo controlado

Para la realización del ensayo de fatiga se necesita determinar previamente el módulo de rigidez ( $S_m$ ), utilizando el mismo esfuerzo ( $\sigma$ ) con el que se realizará el mencionado ensayo. Con la prueba de fatiga se obtiene el número de aplicaciones de carga requeridas para alcanzar la rotura o una deformación máxima de 5 mm. El tiempo de carga es de 120 milisegundos y la temperatura para el estudio es de 20°C. Considerando el coeficiente de Poisson ( $\mu$ ) con un valor de 0,35, es posible calcular la deformación unitaria por tracción inicial ( $\epsilon$ ) según la (Ecuación 3):

$$\epsilon(\text{mm/mm}) = \frac{\sigma(\text{kPa}) \cdot (1+3\mu)}{S_m(\text{kPa})} \quad (3)$$



En la (Figura 2) se representan las líneas de ajuste obtenidas. Es importante mencionar que según las exigencias referidas para el caso de la fatiga se indica que si los puntos para la mezcla analizada caen por debajo de la línea correspondiente al percentil (línea negra punteada), el comportamiento estimado será inadecuado. Si los puntos se ubican por encima de la línea del promedio (línea negra discontinua), el comportamiento estimado será satisfactorio. Entre ambas líneas el comportamiento puede considerarse como tolerable.

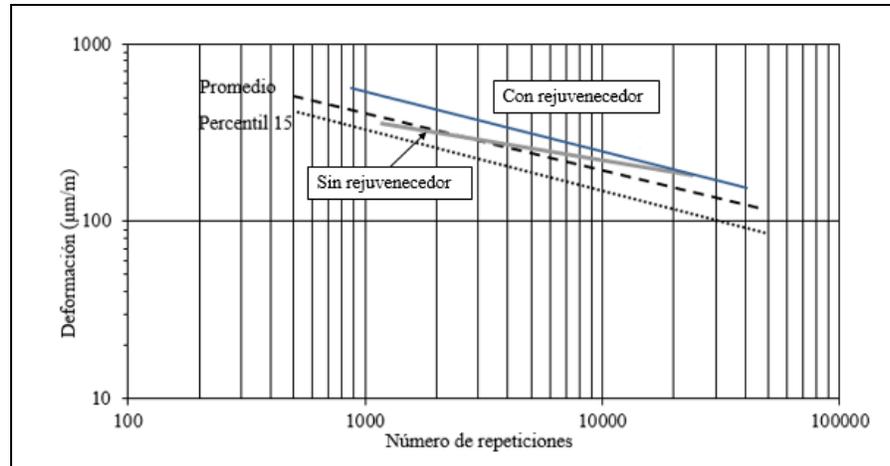


Figura 2. Resultados de los ensayos de fatiga

Como se aprecia en la (Figura 2) la línea de tendencia del asfalto con rejuvenecedor se ubica por encima de la línea denominada promedio, lo que indica un comportamiento adecuado frente a la fatiga según el criterio propuesto. Para el asfalto base (sin rejuvenecedor) el comportamiento está entre tolerable y adecuado.

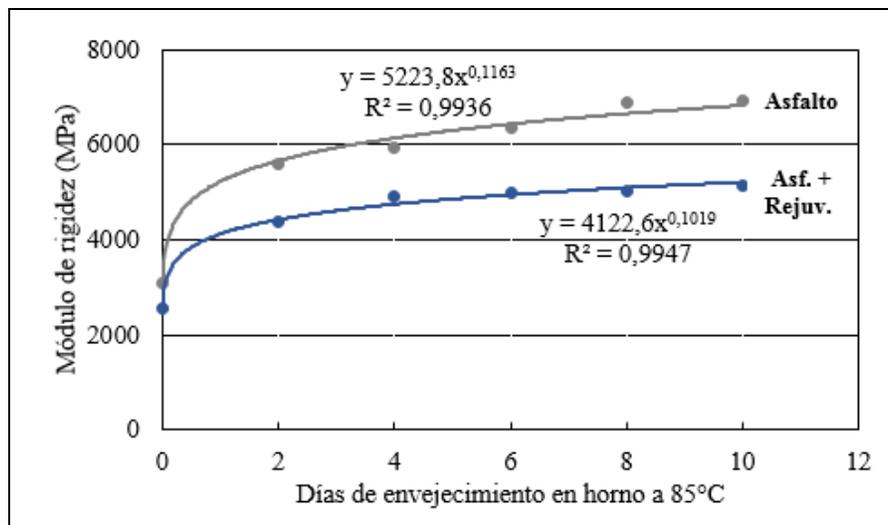
## 6. Estudio de mezclas envejecidas en laboratorio

A partir de los análisis anteriores puede afirmarse que ambas mezclas presentan comportamientos aceptables, siendo este un resultado de mucho interés. Sin embargo, hay que considerar que en todas las pruebas realizadas las mezclas no han sufrido ningún proceso de envejecimiento a largo plazo. Por esta razón, y teniendo en cuenta que el comportamiento a la fatiga es uno de los más importantes en los pavimentos asfálticos del Ecuador, se decidió confeccionar juegos de briquetas con las mezclas estudiadas para evaluar su desempeño luego de un proceso de envejecimiento en el laboratorio.

Esta evaluación consistió en mantener las briquetas 8 días en un horno a 85°C para desarrollar un envejecimiento a largo plazo, que puede estimarse aproximadamente en más de 9 años o más de 18 años, en dependencia de si la zona es seca - con congelación o bien húmeda - sin congelación (Bell et al., 1994). Estas estimaciones fueron obtenidas para algunos cementos asfálticos norteamericanos colocados en distintas regiones de ese país, por lo que deben considerarse solo como referencias. Para considerar el efecto del envejecimiento con los días en el horno se midieron los módulos de rigidez cada dos días en briquetas de ambas combinaciones durante un período de tiempo de 10 días. Los resultados obtenidos pueden apreciarse en la (Tabla 8) y en la (Figura 3). Se realizaron además pruebas de fatiga a los 4 y 8 días.

**Tabla 8.** Módulos de rigidez en briquetas con diferentes tiempos de envejecimiento

Mezcla	Briqueta	Tiempos de envejecimiento				
		2 días	4 días	6 días	8 días	10 días
Asfalto Base	1	6071	6392	6485	7053	7203
	2	5571	5828	6537	7021	6736
	3	5126	5628	5997	6627	6856
	Promedio	5589	5949	6340	6900	6932
	Desv. Estándar	473	396	298	237	243
	Coef. Variación	8,5	6,7	4,7	3,4	3,5
Asfalto + Rejuvenecedor	1	4470	5508	5615	5530	5648
	2	4250	4673	4789	4873	5064
	3	4385	4551	4612	4660	4682
	Promedio	4368	4911	5005	5021	5131
	Desv. Estándar	111	521	535	453	487
	Coef. Variación	2,5	10,6	10,7	9,0	9,5



**Figura 3.** Variación de los módulos de rigidez con los días en horno

Como se aprecia en la (Figura 3) el módulo de rigidez promedio de las mezclas correspondientes al asfalto base se tiende a estabilizar en un valor cercano a los 7000 MPa a los 8 días, mientras el módulo promedio de la mezcla con rejuvenecedor se estabiliza en un valor aproximado de 5000 MPa a partir de los 4 días. Es decir, que al momento de aproximarse a una máxima rigidez en la mezcla producto del envejecimiento, el empleo del rejuvenecedor en una dosificación de 2,5% en peso permite una disminución del módulo de 2000 MPa, que representa el 28,6%, lo que debe generar un impacto positivo en el comportamiento a la fatiga.

Los resultados de la mezcla con el asfalto sin aditivos, mostrados en la (Figura 3), son más bajos que los obtenidos en un estudio precedente (Cedeño, 2015), donde para la mezcla empleada se obtuvo a los 8 días módulos cercanos a 9000 MPa. En esta diferencia de valores habría que considerar, entre otros, la calidad de los agregados minerales empleados.



Los resultados de las pruebas de fatiga realizadas a las dos mezclas bajo condiciones de no envejecimiento y luego de 8 días de envejecimiento se muestran en la (Figura 4). Como se puede observar la mezcla con rejuvenecedor tiene un comportamiento mucho mejor a la fatiga en ambas condiciones, desplazándose desde una posición “satisfactoria” a una “tolerable”, mientras que la mezcla sin rejuvenecedor culmina los 8 días en un estado “inadecuado”.

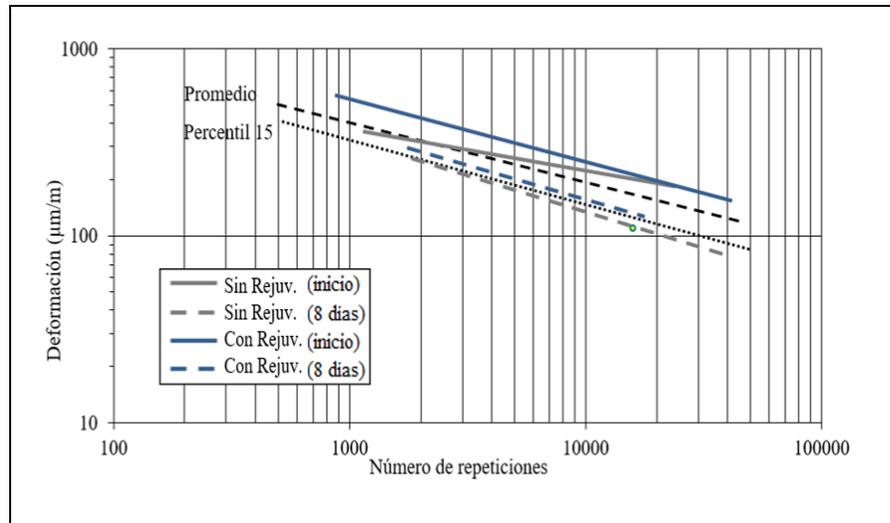


Figura 4. Resultados de ensayos de fatiga con mezclas envejecidas

## 7. Conclusiones

El rejuvenecedor empleado como aditivo para el asfalto ecuatoriano AC 20 permite cumplir las exigencias correspondientes al residuo de la prueba RTFO, lo que técnicamente es muy conveniente para contrarrestar las fallas usuales que se presentan en nuestros pavimentos asfálticos. Por otra parte, los estudios adicionales mediante los parámetros  $\Delta T_c$  y Glover – Rowe, así como la temperatura de transición, todos asociados al comportamiento ante las temperaturas intermedias, muestran un gran potencial para su aplicación. Para el residuo del PAV en el asfalto base, tanto el valor de  $\Delta T_c$  como la temperatura de transición se encuentran en zona de agrietamiento de acuerdo a los criterios manejados, lo que nos permite identificar esta problemática en nuestro asfalto. La adición del rejuvenecedor mejoró notablemente el comportamiento evaluado con esos criterios.

Los resultados de los ensayos a las mezclas asfálticas, sin envejecimiento, muestran que las mezclas confeccionadas con ligante sin y con rejuvenecedor cumplen las exigencias de desempeño realizadas con el equipo NAT. Sin embargo, en las pruebas a probetas con envejecimiento a largo plazo (8 días en horno a 85°C), se pudo observar que el efecto de dicho envejecimiento impacta con mayor fuerza en la mezcla con el asfalto base sin rejuvenecedor, en la que el módulo de rigidez se estabilizó aproximadamente en 7000 MPa; mientras que el módulo obtenido con rejuvenecedor lo hizo en un valor de 5000 MPa. Esto denota que la adición de dicho producto permitiría obtener una mezcla menos rígida en el tiempo.

Al analizar las leyes de fatiga para las dos mezclas, al término del proceso de envejecimiento indicado, se puede concluir que el rejuvenecedor mejora el desempeño de la mezcla debido a que la línea de ajuste correspondiente se encuentra por encima de la línea del Percentil 15, calificándola como una mezcla “tolerable”. Por otro lado, la línea de ajuste para la mezcla con asfalto sin rejuvenecedor se encuentra por debajo del mencionado límite, llegando a niveles “inadecuados”.

En general, aunque la aplicación directa de rejuvenecedores al cemento asfáltico produce una disminución de su viscosidad original, con ellos se pueden producir mezclas asfálticas que presenten un comportamiento satisfactorio en nuestras condiciones climáticas. Especialmente el comportamiento ante la fatiga, que es nuestro mayor problema, se ve significativamente favorecido.

## 8. Recomendaciones

Promover una especificación técnica particular para facilitar el empleo del rejuvenecedor estudiado, así como investigar su comportamiento en mezclas asfálticas producidas con agregados de diferentes composiciones mineralógicas.

## 9. Referencias

- Anderson, M., King, G., Hanson, D., and Blankenship, P. (2011).** Evaluation of Relationship between Asphalt Binder Properties and Non-Load Related Cracking. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT)*, 80: 615-664.
- Anderson, M. (2016a).** Delta Tango Charlie. *ASPHALT. The Magazine of the Asphalt Institute*, 31 (1): 42-43.
- Anderson, M. (2016b).** The KISS Principle. *ASPHALT. The Magazine of the Asphalt Institute*, 31 (3): 41-42.
- Arámbula, E.; Kaseer, F.; Epps, A.; Yin, F.; García, L. (2018).** Evaluation of Recycling Agent Dosage Selection Methods for Asphalt Mixtures with High RAP and RAS Contents. *Construction and Building Materials*, 158: 432-442, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.024>
- ASTM D4791. (2010).** Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate. ASTM International, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM D2419. (2014).** Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate. ASTM International, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- Bell, C.A.; Wieder, A.J.; Fellin, M.J. (1994).** Laboratory Aging of Asphalt-Aggregate Mixtures: Field Validation. SHRP-A-390. Págs. 3-8. National Research Council, Washington, D.C. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-A-390.pdf>
- Cedeño, D.A. (2015).** Variación de la resistencia a la fatiga en las mezclas asfálticas con el incremento en el módulo resiliente por envejecimiento. Tesis. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/3579>. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
- Cooper Research Technology Limited. (2002).** NU-10 & NU- 5. Operation & Maintenance Manual. United Kingdom.
- European Committee of Standardization. (2012).** CEN 12697. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalts. Part 26. English version. Brussels.
- García, L.; Kaseer, F.; Arámbula, E.; Epps, A.; Morian, N.; Pournoman, S.; Hajj, E. (2018).** The crossover temperature: significance and application towards engineering balanced recycled binder blends, *Road Materials and Pavement Design*, págs: 1-22. DOI: 10.1080/14680629.2018.1447504
- Icaza, K.A.; Mera, W.A. (2018).** Influencia de los asfaltos mejorados con rejuvenecedores en el comportamiento de las mezclas asfálticas. Tesis. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/11229>. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- INEN 857 (2010).** Norma Técnica. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 2515 (2010).** Norma Técnica. Productos derivados de petróleo. Cemento asfáltico. Clasificación por viscosidad. Requisitos. Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 860 (2011).** Norma Técnica. Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles. Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 863 (2011).** Norma Técnica. Áridos. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio. Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 3030 (2017).** Norma Técnica. Productos derivados de petróleo. Ligante asfáltico de acuerdo con el grado de desempeño. Requisitos. Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- King G.; Anderson M.; Hanson D.; Blankenship P. (2012).** Using Black Space Diagrams to Predict Age-Induced Cracking. En 7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements (págs. 453 - 463).
- Li, X.; Marasteanu, M.O.; Williams, R.C.; Clyne, T. (2008).** Effect of Reclaimed Asphalt Pavement (Proportion and Type) and Binder Grade on Asphalt Mixtures. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2051): 90-97, <https://doi.org/10.3141/2051-11>
- Mogawer, W.; Bennert, T.; Daniel, J.S.; Bonaquist, R.; Austerman, A.; Booshehrian, A. (2012).** Performance Characteristics of Plant Produced High RAP Mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, 13: 183-208, <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.657070>
- MOP (2002).** Especificaciones técnicas para la construcción de carreteras y puentes. Quito: MOP-001-F.
- Vila, R.; García, G.; Jaramillo, J.G.; Troya, H. (2017).** Estudio del asfalto ecuatoriano a temperaturas intermedias con la tecnología SUPERPAVE. En XIX Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. (págs. 1-10). Medellín.
- Vila, R. (2017).** Estudios y propuestas sobre la calidad de los asfaltos y las mezclas asfálticas en Ecuador, págs. 87-92. Dirección de Publicaciones. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. ISBN: 978-9942-904-80-5.

