

# EMULSIONES ASFALTICAS POR GRADO DE DESEMPEÑO

Santiago Kröger<sup>1</sup>, Ignacio Kröger<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> GRUPO BITAFAL, Colonia Nicolich, Uruguay, santiago@bitafal.com.uy

<sup>2</sup> GRUPO BITAFAL, Colonia Nicolich, Uruguay, ignacio@bitafal.com.uy

## Resumen

Las especificaciones habituales de las emulsiones se basan en ensayos empíricos que poca correlación tienen con el comportamiento en obra o durante la vida útil del tratamiento superficial. Esto lleva a que la selección de la emulsión para un tipo de obra, tráfico o lugar geográfico se base en la experiencia previa de los actores llevando a una incertidumbre en el desempeño de las mismas.

Recientemente se ha publicado el NCHRP Report 837, que compila el trabajo de muchos años en el desarrollo de un sistema de grado por desempeño de emulsiones asfálticas en EEUU. Este documento detalla especificaciones y ensayos para emulsiones usadas en tratamientos bituminosos, microaglomerados en frío y riegos de liga y se lo ha denominado Emulsion Performance Grade (EPG) como corolario del ya implantado sistema PG de los asfaltos usados en mezclas asfálticas.

Por las razones antes expuestas quisimos saber dentro del abanico de emulsiones que habitualmente se usan en Uruguay cuales cumplirían con las especificaciones del EPG y a partir de eso proponer mejoras en las especificaciones actuales para evitar usar productos inadecuados para nuestro clima y los tráficos previstos.

Esto ha llevado a reducir el rango de penetraciones del residuo de las emulsiones y elevar el mínimo de recuperación elástica.

Por otra parte los resultados de este trabajo permiten hacer una tabla de uso sobre la mejor emulsión a usar en cada región de nuestro país que aseguren el éxito del trabajo.

**Palabras Clave:** Emulsiones, Performance Grade, Tratamientos superficiales.

## 1 Introducción

Los tratamientos superficiales son de las técnicas de pavimentación más usadas en Uruguay desde rutas de primer orden hasta caminos departamentales de importancia. Desde hace una década que las emulsiones asfálticas vienen ganando terreno en detrimento del uso de diluidos asfálticos y más aún, en los últimos años, los proyectos de la DNV (Dirección Nacional de Vialidad) incluyen casi exclusivamente emulsiones asfálticas modificadas.

La calidad del ligante es crucial para el correcto desempeño del tratamiento superficial pero las especificaciones vigentes actualmente se basan en propiedades empíricas y de difícil correlación con el desempeño del tratamiento en sí.

En Uruguay las especificaciones de las emulsiones modificadas se basan en la norma argentina IRAM 6698 que usa el sistema de clasificación por penetración. En el mismo, se permite una penetración de la emulsión desde 50 a 200 dmm sin especificar para que temperaturas de uso, región geográfica ni tipo de tráfico esperado.

Esta laxitud en la especificación ha llevado a que existan algunos inconvenientes tanto en la aparición de desprendimientos prematuros de áridos como en el “sangrado” (que no es lo mismo que exudación ya que depende de la viscosidad del ligante) de los tratamientos en época estival. A pesar de que las especificaciones se cumplieron, es claro que no es suficiente ni está relacionada con el uso que se le está dando al ligante en cuestión.

Por otra parte muchos de los requisitos sobre la emulsión tampoco se relacionan con el uso de la misma, su capacidad de ser bombeada, regada o mezclada con el árido de forma adecuada ni de su escurrimiento una vez aplicada.

### 1.1 Emulsiones por grado de desempeño

Como parte del proyecto NCHRP 09-50 “Performance-Related Specifications for Asphaltic Binders Used in Preservation Surface Treatments” (“Especificaciones basadas en desempeño para ligantes asfálticos usados en tratamientos superficiales”) se han propuesto especificaciones y ensayos basados en desempeño para tratamientos bituminosos, microaglomerados en frío y riegos de niebla los cuales se compilan en el NCHRP Report 837. A este sistema se lo ha denominado Emulsion Performance Grade (EPG) como corolario del ya implantado sistema PG de los asfaltos usados en mezclas asfálticas.

El EPG incluye tanto las condiciones de la emulsión fresca como del residuo correlacionadas con las condiciones de ejecución y de vida en servicio respectivamente. El proyecto ha logrado correlacionar las especificaciones de los ligantes usados en tratamientos superficiales con medidas de desempeño considerando las condiciones climáticas y de tráfico a las que se verá sometido el mismo.

Uno de los puntos mas importantes de este nuevo sistema es la capacidad de evaluar si el ligante es capaz de resistir efectivamente todo el rango de temperaturas y tráfico al que se verá expuesto. [1]

### 1.2 Fallas de los tratamientos superficiales

Los tratamientos superficiales pueden fallar por diversas razones. Las fallas mas comunes de los tratamientos bituminosos o riegos de sello son los desprendimientos de áridos, la exudación o el sangrado del ligante mientras que para los microaglomerados en frío (micros) son además de estos ítems el ahuellamiento y la fisuración térmica. En todo caso esta nueva especificación se centra en las fallas relacionadas directamente con el desempeño del ligante en cada tipo de tratamiento.

Los desprendimientos de áridos pueden ser tempranos por falta de curado de la emulsión o en el largo plazo tanto por el daño por agua como por pérdida de cohesión del ligante a bajas temperaturas. El EPG se centra en este último ya que es el directamente vinculado a la calidad del ligante pero aconseja evaluar durante el diseño de un tratamiento los otros factores que van a depender del tipo de árido seleccionado y de las condiciones de ejecución.

En cuanto al sangrado, el mismo se debe a la viscoplasticidad del ligante y a pesar de que puede aparecer junto con la exudación no son lo mismo. La exudación se debe a problemas de diseño o constructivos por lo que el EPG solo va a evaluar la capacidad de resistir el sangrado que tengan el residuo de las emulsiones.

Un razonamiento similar se da para los micros. En este caso, el ahuellamiento se debe también a la viscoplasticidad del residuo a altas temperaturas mientras que la fisuración térmica se debe a rigidez del ligante a bajas temperaturas.

### 1.3 Ensayos propuestos por el EPG

Los ensayos seleccionados para evaluar las características de las emulsiones buscaron aprovechar equipamientos ya existentes en la mayoría de los laboratorios como el viscosímetro Brookfield o el Reómetro de corte dinámico (DSR por sus siglas en inglés) así como mantener algunos ensayos tradicionales que siguen siendo útiles para la especificación de las mismas.

En la Figura 1 se esquematizan los ensayos utilizados con las propiedades a medir al residuo de emulsión para cada tipo de tratamiento superficial así como de la emulsión fresca.

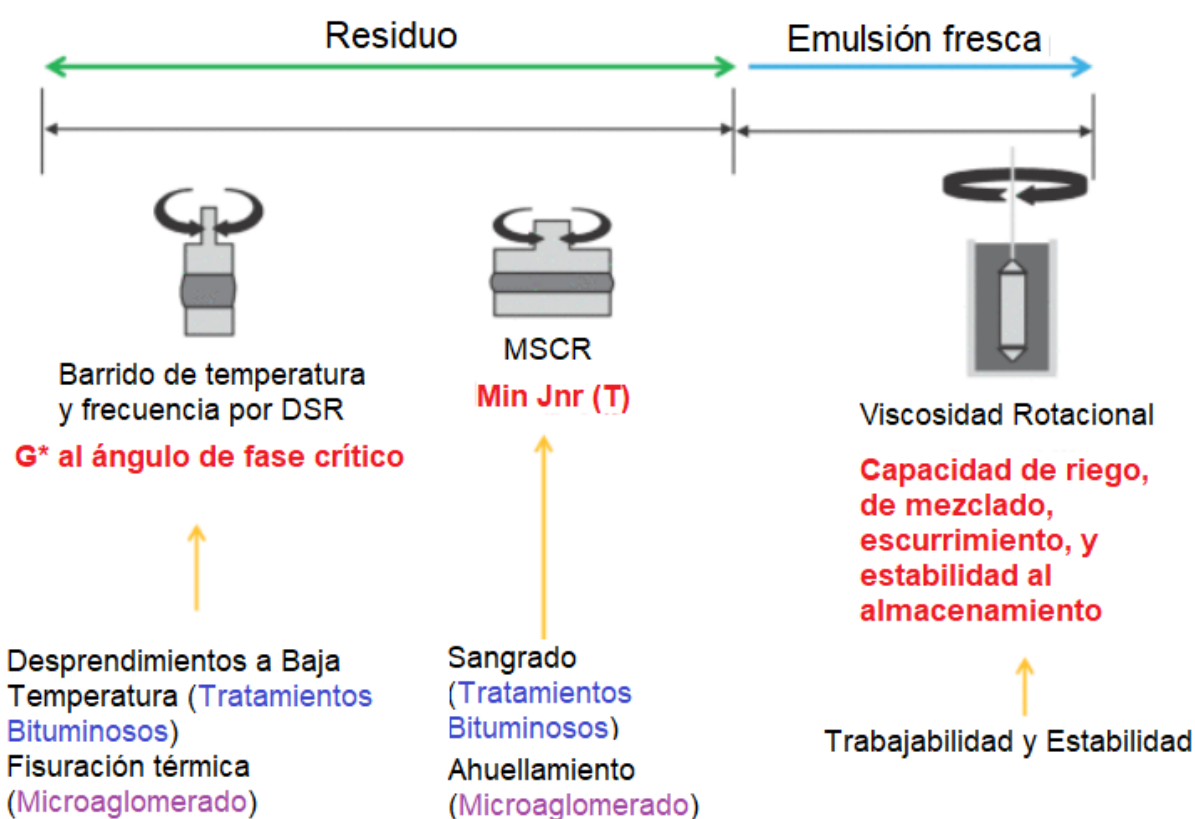


Figura 1. Ensayos del EPG [1]

#### 1.3.1 Sobre la emulsión

En cuanto a los ensayos propuestos sobre la emulsión la Tabla 1 detalla los mismos:

Tabla 1. Ensayos sobre la emulsión fresca

Propiedad	Método de ensayo	Parámetros medidos
Estabilidad al almacenamiento	ASTM D6930 modificada	A: Viscosidad Rotacional B: Ratio de separación a 24 h C: Ratio de estabilidad a 24 h

Capacidad de riego	AASHTO TP 48 modificada	Viscosidad rotacional a alta cizalla
Capacidad de mezclado		Viscosidad rotacional a 5 RPM
Escurrecimiento		Viscosidad rotacional a baja cizalla
Demulsibilidad	AASHTO T 59	Mantienen los parámetros originales
Carga de partícula		
Tamiz		
% de residuo		

Se incorpora el viscosímetro Brookfield como herramienta para los ensayos de estabilidad al almacenamiento y para evaluar las propiedades de la emulsión durante su manejo y aplicación.

Los ensayos mencionados al final de la Tabla 1 son los mismos que están vigentes en la normativa actual que siguen siendo útiles por describir parámetros útiles del desempeño de la emulsión.

### 1.3.2 Sobre el residuo

Para la obtención del residuo se ha definido la aplicación del ensayo AASHTO PP72 Método B, en el cual el residuo se obtiene en capa fina a baja temperatura (60 °C) durante 6 horas. Este método se seleccionó debido a que se precisa poca cantidad de material, a que se conservan las propiedades de los modificadores usados en la emulsión y a que no se envejece el residuo. [1]

En cuanto a los ensayos propuestos sobre los residuos la Tabla 2 detalla los mismos:

Tabla 2. Ensayos sobre el residuo

Tipo de tratamiento	Propiedad	Método de ensayo	Parámetros medidos
Tratamiento Bituminoso	Sangrado a alta temperatura	MSCR (AASHTO T 350)	Creep no recuperable, $J_{nr}$
	Desprendimiento a baja temperatura	Barrido de Frecuencias en DSR	Módulo ( $G^*$ ) al $\delta_{crítico}$
Microaglomerado en frío	Ahuellamiento a alta temperatura	MSCR (AASHTO T 350)	Creep no recuperable, $J_{nr}$
	Fisuración térmica a baja temperatura	Barrido de Frecuencias en DSR	Módulo ( $G^*$ ) al $\delta_{crítico}$

El estudio ha determinado una buena correlación entre estos ensayos con las fallas de cada tipo de tratamiento.

### 1.4 Rangos de temperaturas y tráfico

Usando los conceptos desarrollados en el programa SHRP (Strategic Highway Research Programme) en cuanto a los rangos de temperaturas a los cuales los ligantes para mezclas asfálticas debían soportar se desarrollaron los rangos para el EPG.

Para altas temperaturas se determinó que, al ser en la superficie del pavimento la aplicación de estos tratamientos, debían correrse los rangos en +3°C. Por ejemplo

un asfalto con PG 58 o PG 64 pasarían a ser EPG 61 o EPG 67, de esta forma los mapas ya elaborados respecto al PG pueden trasladarse a este nuevo sistema. Este mismo desplazamiento de temperaturas se debe hacer para la temperatura mínima.

Para el caso de Uruguay según los datos climáticos obtenidos en los últimos 40 años, tenemos dos rangos de temperaturas para cubrir todo el país con un 98% de confiabilidad, un EPG 61-7 y un EPG 67-7 como se muestra en la Figura 2.

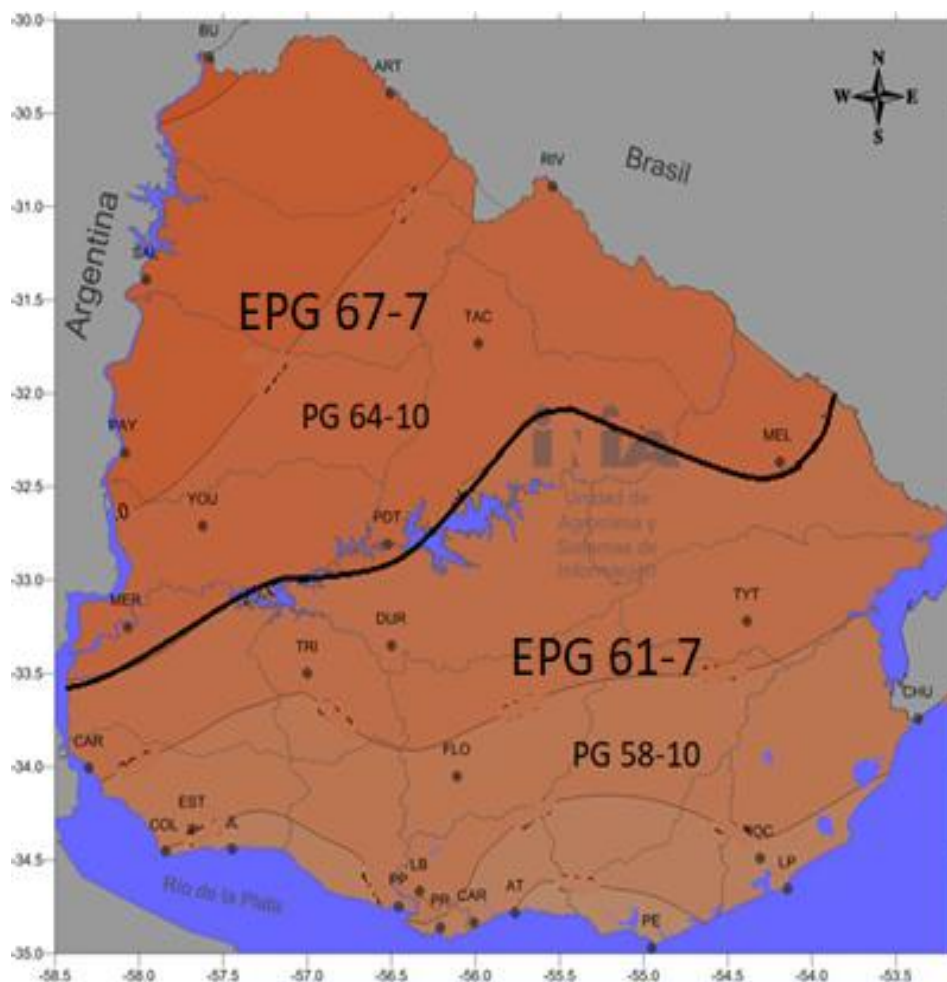


Figura 2. Mapa de temperaturas de Uruguay

En cuanto a los tráficos se definieron los siguientes rangos en EPG:

- Tráfico Bajo: 0-500 TMDA
- Tráfico Medio: 501-2500 TMDA
- Tráfico Alto: 2501-20000 TMDA

Para Uruguay difícilmente estemos en Tráfico Alto para un tratamiento superficial y la mayoría de las condiciones serán para tráficos Medios o Bajos.

### 1.5 Normativa de emulsiones en Uruguay

Actualmente están vigentes las especificaciones mencionadas en el Pliego de Vialidad para las emulsiones convencionales y lo indicado en la norma IRAM 6698 para emulsiones modificadas como indica la Tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones de emulsiones para tratamientos superficiales en Uruguay

Ensayo	Norma	Condiciones	Unidades	Pliego	IRAM 6698		
				Vialidad	Modificadas		
				Convencional	CRR 1m	CRR 2m	CRC m
				CRS-2			
Ensayos sobre la emulsión							
Viscosidad Saybolt- Furol	ASTM D244	25°C	s	-	≥ 20	-	≤ 50
		50°C		20 - 100	-	≥ 40	-
Asentamiento		5 días	%	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
Estabilidad de almacenamiento		24 horas	%	≤ 1	-	-	-
Tamiz (850 µm)			%	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Desemulsibilidad		DSS	%	≥ 40	-	-	-
Carga de la partícula		-	-	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
Mezcla con cemento		-	%	-	-	-	≤ 2
Residuo por destilación		-	%	≥ 65	≥ 63	≥ 67	≥ 60
Aceite destilado		-	%	≤ 3	≤ 3	≤ 3	-
Ensayos sobre el residuo de la emulsión							
Penetración	ASTM D5	100 g, 25°C	dmm	100-250	50-200	50-200	50-200
Punto de ablandamiento	ASTM D36	-	°C	-	≥ 40 ≥ 50	≥ 40 ≥ 50	≥ 40 ≥ 50
Recuperación elástica por torsión	IRAM 6830	25°C	%	-	≥ 12	≥ 12	≥ 12
Ductilidad	ASTM D113	25°C	cm	≥ 40	-	-	-
		5°C	cm	-	≥ 10	≥ 10	≥ 10
Punto de ruptura Fraas	IRAM 6831	-	°C	-	≤ -10	≤ -10	≤ -10
Solubilidad en 1,1,1 -tricloroetano	ASTM D2042	-	%	≥ 97,5	≥ 95	≥ 95	≥ 95

De esta Tabla se desprende que las propiedades del residuo de las emulsiones están basadas en el sistema por penetración y con un rango muy amplio, que por ejemplo en las emulsiones modificadas puede ir desde emulsiones duras (50 dmm) a muy blandas (200 dmm). Por otra parte los requisitos de elasticidad se controlan con una recuperación torsional elástica mínima y con el punto de ruptura Fraas.

Existiendo un rango tan amplio de penetraciones y considerando que no es exigente en el contenido de polímero, hace varios años se definieron los siguientes subrangos de calidad del residuo de la emulsión dentro de lo que la especificación solicita como lo indica la Tabla 4.

Tabla 4. Subrangos de calidad del residuo de la emulsión

Ensayo	Rango	Tipo
Penetración (100 g, 25°C, 5 s)	50-80 dmm	Dura (D)
	80-120 dmm	Media (M)
	120-200 dmm	Blanda (B)
Recuperación Torsional Elástica	12-25%	P12
	25-40%	P25
	>40%	P40

De esta forma a partir de cada una de las emulsiones modificadas especificadas logramos una combinación de 9 tipos de emulsiones diferentes para ajustarnos a las condiciones particulares de cada obra.

Con estas emulsiones se han realizado cientos de km de tratamientos superficiales en Uruguay y hemos observado comportamientos muy buenos en la mayoría de los casos cuando se realiza el tratamiento en buena época y se dosifica y ejecuta correctamente.

Pero en cuanto vienen los fríos y con ello los desprendimientos de áridos por falta de curado, se comienzan a utilizar emulsiones mas blandas y se aumentan las dosificaciones de emulsión que conlleva a problemas una vez que llega el verano nuevamente debido al sangrado y las exudaciones que terminan en levantamiento del tratamiento y posteriores baches.

En nuestra experiencia, para el caso de las emulsiones Duras tipo P40 los resultados son siempre buenos pero para emulsiones Blandas tipo P12 o incluso P25 o P40, a pesar de ser modificadas presentan un mal comportamiento frente al calor.

A partir de estos inconvenientes es que se desarrolla el trabajo a continuación intentando ajustar la penetración y grado de modificación de las emulsiones usadas en el país utilizando técnicas de avanzada y de esa forma proponer un cambio en la especificación vigente.

## 2 Desarrollo

Nos centraremos principalmente en los residuos de las emulsiones ya que las demás características mencionadas en la Tabla 1 y Tabla 3 coinciden o son fácilmente corregibles a partir del contenido de asfalto de la emulsión.

Para ello se han realizado diversas emulsiones tanto convencionales como modificadas cubriendo el rango de penetraciones y de recuperación torsional elástica (% RTE) de la Tabla 4.

Se tomaron los extremos de las emulsiones tipo Duras (50 y 80 dmm) y un punto intermedio (65 dmm), luego un punto intermedio de las emulsiones Medias (100 dmm) y finalmente un intermedio de las Blandas (140 dmm). Luego todas estas emulsiones fueron modificadas utilizando látex SBR como modificador en diferentes porcentajes para cumplir con los rangos (P12, P25 y P40).

Las razones de esta selección es que ya suponíamos que los extremos del rango de las Medias y Blandas (120 y 200 dmm) no iban a cumplir de ninguna forma con la

especificación EPG. De todas formas hicimos el punto de 140 dmm ya que es el promedio habitual de penetración cuando se utiliza un asfalto tipo 150/200 para la elaboración de las emulsiones Blandas para ver que resultado se obtenía sobre este tipo de residuo.

Una vez obtenidas y ensayadas de forma tradicional estas emulsiones, se obtuvieron los residuos a partir del método AASHTO PP72 Método B y se les realizaron los ensayos indicados en la Tabla 2.

Finalmente se realizaron los ensayos de MSCR y de barrido de frecuencias a estos residuos obtenidos.

Los parámetros de evaluación sobre las temperaturas y tráficos que deben soportar cada una de estas emulsiones para el caso de ser usadas en Uruguay se indican en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de evaluación sobre el residuo recuperado para Uruguay

Métodos de ensayo	EPG 61-7	EPG 67-7
	Temperatura de ensayo (°C)	
Resistencia al sangrado y al ahuellamiento MSCR AASHTO T 350 Respuestas medidas: Creep compliance no recuperable, Jnr Tráfico Bajo: Max. Jnr a 3.2 kPa, 8 kPa <sup>-1</sup> Tráfico Medio: Max. Jnr a 3.2 kPa, 5.5 kPa <sup>-1</sup> Tráfico Alto: Max. Jnr a 3.2 kPa, 3.5 kPa <sup>-1</sup>	61	67
Resistencia a la pérdida de piedra a bajas temperaturas Barrido de frecuencias y temperaturas en DSR Respuestas medidas: G* al ángulo de fase crítico, δc Tráfico Bajo: Max. G* a δc: 30 MPa Tráfico Medio: Max. Max. G* a δc: 20 MPa Tráfico Alto: Max. G* a δc: 12 MPa	5 y 15 °C	
	Ángulo de fase crítico, δc (°)	
	54 o 50	54 o 50

## 2.1 Ensayo MSCR (AASHTO T 350)

Con este ensayo obtenemos los Creep no recuperables (Jnr) que usaremos para saber si el ligante resiste el sangrado o el ahuellamiento según el tráfico previsto a la temperatura máxima de la zona en donde será aplicado dentro del país.

Los resultados obtenidos para las diferentes emulsiones se presentan en la Tabla 6 donde cada emulsión está identificada con la penetración del residuo y el grado de modificación.

Tabla 6. Resultados del MSCR

Emulsión	Jnr a 3.2 kPa (kPa <sup>-1</sup> )	
	61°C	67°C
50	5.43	13.46
50 P12	4.3	9.34
50 P25	3.08	8.16
50 P40	2.11	4.91
65	6.14	14.13
65 P12	6.21	11.38
65 P25	4.46	9.7



65 P40	2.51	6.48
80	9.86	22.3
80 P12	7.52	17.33
80 P25	5.57	12.13
80 P40	4.28	8.91
100	14.37	28.37
100 P12	11.09	22.09
100 P25	9.13	18.3
100 P40	8.05	14.86
140	27.88	54
140 P12	28.5	52.58
140 P25	25.54	43.03
140 P40	20.18	44.26

A partir de estos resultados podemos graficar los Jnr a 3.2 kPa e identificar los parámetros establecidos en la propuesta de especificación de EPG para identificar que tipo de emulsión cumple o no cumple. Como el peor resultado sería un Jnr a 3.2 kPa de  $8 \text{ kPa}^{-1}$  se especifica ese límite tal como se muestra en la Figura 3.

De esta forma es fácilmente detectable los rangos de penetración y de modificación del residuo para cumplir con lo indicado.

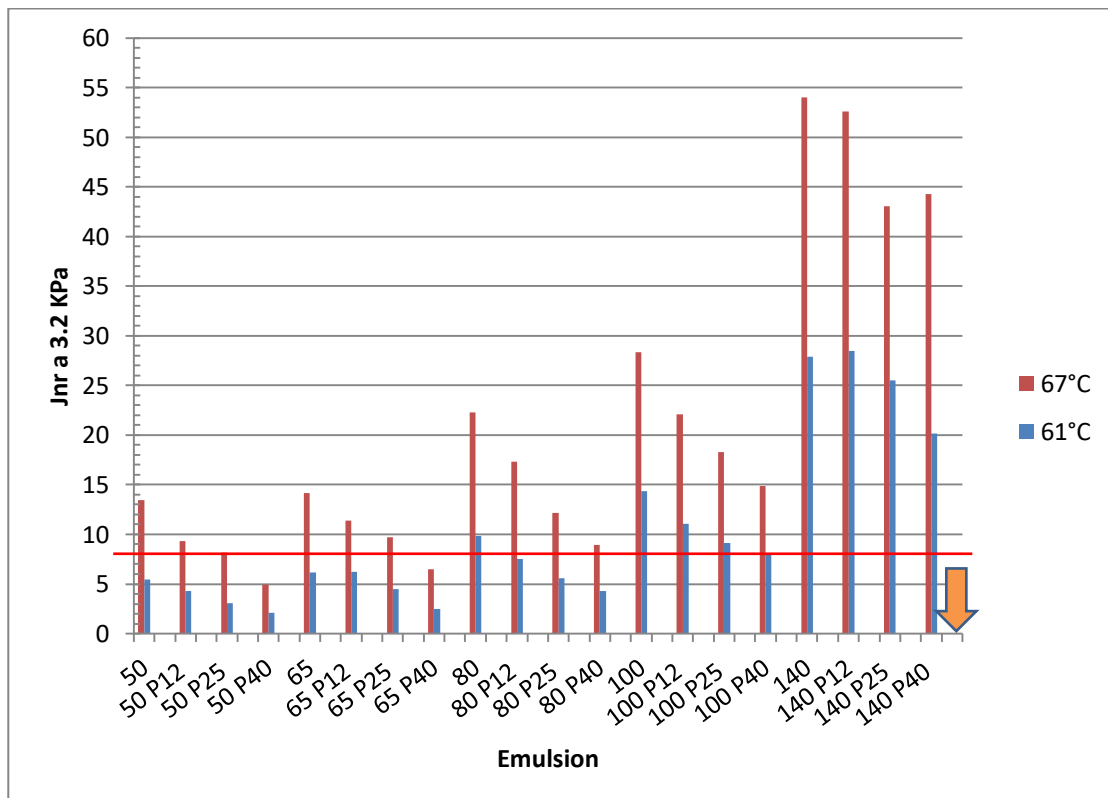


Figura 3. Jnr a 3.2 kPa para las diferentes emulsiones en estudio

Un primer vistazo a esta Figura permite concluir que la mayoría de las emulsiones ni siquiera llegan a cumplir los requisitos para tráficos bajos, dentro de las cuales, la emulsión Blanda (140) se despega del límite significativamente.

Los resultados a la temperatura de ensayo de 61°C muestran que debajo de la penetración 80 todas las emulsiones cumplen con el criterio para tráficos bajos. Por ende debemos restringir el rango de penetraciones en nuestra especificación para valores entre 50 y 80 dmm (Duras) ya que para mayores penetraciones sería necesario modificar de manera muy significativa el asfalto para cumplir con el criterio.

En cuanto a las emulsiones convencionales la situación es crítica ya que la especificación prevista en el Pliego de Vialidad prevé un rango entre 100 y 250 dmm sin contemplar las emulsiones duras directamente.

Es importante notar como el valor de modificación mínimo solicitado por la norma (P12) permite que una emulsión convencional logre mejorar casi en un 20% los valores de Jnr, lo que demuestra el aporte del polímero al desempeño de la emulsión incluso en tan bajas cantidades.

Para temperaturas de 67°C los resultados son mas ajustados y solamente las emulsiones P40 cumplen con el criterio para tráficos bajos en penetraciones de 65 dmm y por debajo. De todas formas los resultados para el límite de las duras (80) está muy cerca de ese límite y podríamos concluir que para el norte del país deberían utilizarse solamente emulsiones Duras altamente modificadas (D P40).

Como para ambas temperaturas de ensayo solamente se cumplen los requisitos de Jnr para penetraciones de entre 50 y 80 dmm, realizamos una clasificación mas ajustada por tipo de tráfico para este rango. Esto nos lleva a hacer la Figura 4 en la cual se indican, además del máximo Jnr a 3.2 kPa de 8 kPa<sup>-1</sup> para tráficos bajos, el de tráficos medios (5.5 kPa<sup>-1</sup>) y tráficos altos (3.5 kPa<sup>-1</sup>).

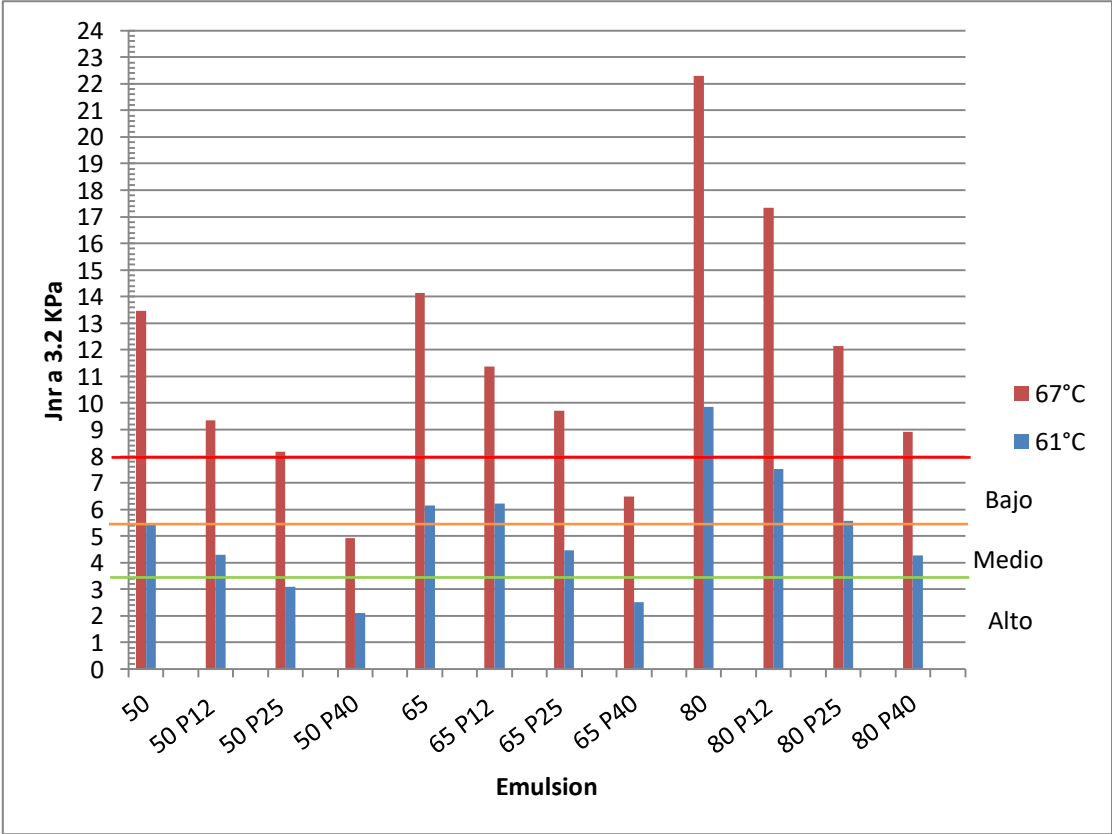


Figura 4. Clasificación de emulsiones por temperatura y tráfico

En esta Figura se puede ver como para el sur del país (EPG 61) todas las emulsiones modificadas de entre 50 y 80 dmm son adecuadas para tráficos bajos mientras que solo las emulsiones de P25y P40 son adecuadas para tráficos medios y por último solamente las emulsiones P40 para tráficos altos.

Por otra parte, para el norte del país (EPG 67) es necesario recurrir a emulsiones de entre 50 y 80 dmm con un grado de modificación P40 o superior solamente para cumplir con el criterio de tráficos bajos (que es lo habitual para esa zona del país) y medios si tendemos a la penetración de 50 dmm.

Este primer ensayo nos deja con un trabajo muy importante por delante de mejorar tanto las especificaciones como las emulsiones modificadas, donde deberemos incrementar la cantidad de polímero así como del tipo de polímero y forma de emulsionado.

## 2.2 Barrido de frecuencias a 5 y 15°C

En cuanto a los ensayos realizados a bajas temperaturas para determinar la resistencia a la pérdida de piedra a bajas temperaturas se realizaron los mismos siguiendo los lineamientos planteados en el Anexo 2 del Report 837.

Utilizando las ecuaciones de Christensen-Anderson-Marasteanu indicadas en el Anexo mencionado se lograron ajustar las curvas maestras para 15°C, luego de lo cual se interpolaron los ángulos de fase críticos ( $\delta_c$ ) indicados en el EPG según la temperatura mínima prevista para obtener las frecuencias reducidas. Con esa frecuencia reducida se obtuvieron los módulos complejos ( $G^*$ ) de cada emulsión.

En el caso de los tratamientos bituminosos y para una temperatura mínima de -7°C el  $\delta_c$  es de 54°, en cambio para los microaglomerados en frío el  $\delta_c$  es de 50°.

Siendo un ensayo relativamente largo y con un análisis matemático posterior complejo, se realizaron los casos extremos primero para determinar el rango de  $G^*$  que íbamos a obtener y para luego realizar las demás emulsiones.

Los resultados de esta primera etapa se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados del barrido de frecuencias a 5 y 15°C

Emulsión	$G^*$ a $\delta_c$ (MPa)	
	54°	50°
50	3.9	5.8
50 P12	3.1	5.5
50 P25	2.4	4.1
50 P40	1.3	3.1
140	6.2	10.1
140 P12	5.8	10.2
140 P25	5.3	9.8
140 P40	5	8.8

Los resultados obtenidos muestran que todas las emulsiones ensayadas tienen un buen comportamiento a la temperatura de -7°C ya que presentan un  $G^*$  bastante por debajo del máximo previsto hasta para altos tráficos (12 MPa).

Por otra parte si hacemos un comparativo de las emulsiones ensayadas como se puede ver en la Figura 5, se puede ver como a menor penetración y mayor contenido de polímero, menor  $G^*$ .

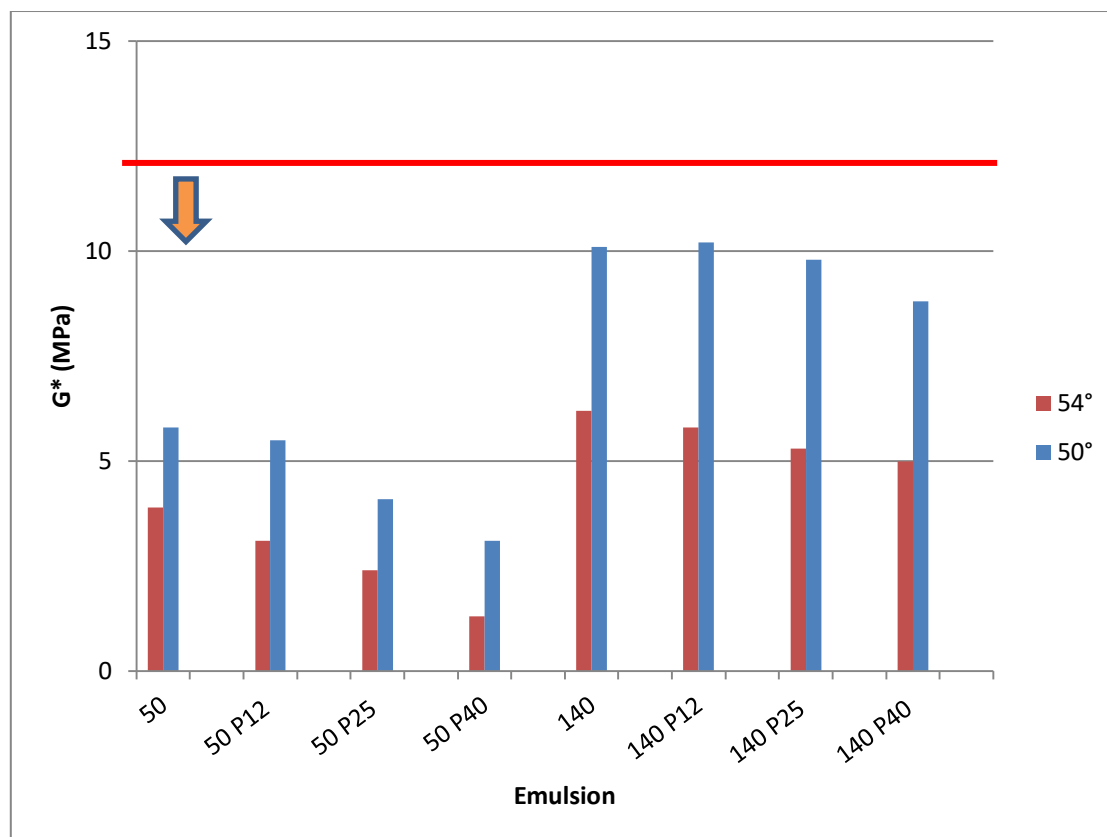


Figura 5. Comparativo del  $G^*$  al  $\delta_c$

A pesar de que esperábamos este resultado en cuanto al contenido de polímero no esperábamos que la emulsión blanda diera un comportamiento peor que la dura ya que es lo que estamos habituados a observar a bajas temperaturas. Según algunas observaciones realizadas en obra y con los ensayos de placa Vialit a 10°C que realizamos las emulsiones blandas tienen un comportamiento mucho mejor frente a los desprendimientos de áridos debido a bajas temperaturas.

Este tema nos deja con la duda sobre el tratamiento matemático realizado de nuestra parte o si la norma propuesta contempla temperaturas tan altas (-7°C es el máximo).

De todas formas no realizamos el resto de las emulsiones previstas ya que serían casos intermedios a estos presentados.

### 2.3 Propuesta para Uruguay

De los resultados obtenidos podemos proponer una nueva tabla de uso de emulsiones para Uruguay considerando que deben hacerse siempre con penetraciones de entre 50 y 80 dmm (Duras). La Tabla 8 indica los grados de modificación posibles para cada región y tipo de tráfico.

Tabla 8. Tabla de uso de emulsiones para Uruguay

Tráfico	Zona climática	
	EPG 61-7	EPG 67-7
Alto	P40	-
Medio	P25 Y P40	P40 (cerca de 50 dmm)
Bajo	Convencional, P12, P25 Y P40	P40

Estos resultados son muy similares a las observaciones que venimos haciendo desde hace un tiempo ya basados en la experiencia en obra y en el seguimiento de los tramos que han sido exitosos y de los que han fracasado.

### 3 Conclusiones

Se realizó un estudio sobre el grado de desempeño un amplio rango de residuos de emulsiones utilizadas en Uruguay para tratamientos superficiales. Es un primer acercamiento a la nueva propuesta de Emulsion Performance Grade como nueva herramienta para clasificación de emulsiones.

A partir de los resultados del Ensayo MSCR (AASHTO T 350) pudimos determinar:

- La mayoría de las emulsiones que se usan en Uruguay no cumplen con los requisitos mínimos para soportar el sangrado o ahuellamiento a altas temperaturas.
- El rango de penetraciones debe ser restringido entre 50 a 80 dmm tanto para emulsiones modificadas como convencionales.
- Se logró una tabla de uso de emulsiones para cada región y tipo de tráfico ajustada para Uruguay en la cual se muestra imprescindible el uso de emulsiones modificadas.

A partir de los resultados del Barrido de frecuencias a 5 y 15°C pudimos determinar:

- Las temperaturas mínimas en Uruguay no son tan extremas por lo que todas las emulsiones tanto convencionales como modificadas cumplen con lo especificado hasta para tráficos altos.

### 4 Trabajo Futuro

Es necesario centrar nuestro trabajo en emulsiones con mayor grado de modificación para llegar a cumplir con los tráficos medios y altos para la región norte del país en el ensayo de MSCR.

Debemos seguir estudiando el tratamiento matemático del barrido de frecuencias para verificar que estemos en lo cierto en cuanto a que todas las emulsiones cumplen.

En paralelo estudiar otros modificadores y otras formas de emulsionado para mejorar los parámetros con costos competitivos.

Trabajar en conjunto con la administración para modificar las especificaciones, tanto sea restringiendo la actual a lo mencionado anteriormente o implementando el EPG como forma de clasificación.

## **5 Referencias**

[1] NCHRP Research Report 837. "*Performance-Related Specifications for Asphaltic Binders Used in Preservation Surface Treatments*". Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, 2017