

COMPARACIÓN DEL MÉTODO ALEMÁN (HOMOGENEIDAD) Y AMERICANO (PG – GRADE) DE LOS CÁLCULOS DE REUSABILIDAD PORCENTUAL DEL RAP EN LA NUEVA MEZCLA

Telma Keppler

¹ infraTest Test Systems GmbH, Brackenheim, Alemania, t.keppler@infraTest.net

Resumen

El reciclaje y la reutilización de pavimentos de asfalto recuperados (RAP) comenzaron hace más de 30 años. Cada año, alrededor de 50 millones toneladas de RAP se producen en Europa y una gran cantidad de estas 50 millones toneladas es reutilizada. El objetivo es alcanzar el 100%. En muchos países europeos, el uso del RAP es una práctica común. El asfalto es 100% reciclable/reutilizable y, para el desarrollo sostenible se debe alentar su reciclaje/reutilización. Los procesos de reutilización del asfalto siguieron evolucionando, en los últimos años ha habido un progreso cuantitativo, es decir, un aumento de las tasas de reutilización en diferentes tipos de asfalto y un progreso cualitativo donde se ha puesto énfasis en la efectividad de la reutilización del asfalto recuperado y en la producción más eficiente a nivel energético. El RAP se puede reutilizar para producir una nueva mezcla asfáltica. Emulsiones, espuma de asfalto, agentes rejuvenecedores o aglutinantes asfálticos vírgenes se pueden utilizar, añadiéndolos a la nueva mezcla asfáltica. Este documento proporciona datos sobre la reutilización del asfalto en Europa y Alemania y compara los métodos alemanes (homogeneidad) y estadounidenses (PG-grade) de los cálculos de reusabilidad porcentual y la evaluación de la calidad del RAP en la nueva mezcla. Este documento también aborda las consideraciones de la legislación alemana, los aspectos económicos y las cuestiones técnicas y contractuales, así como los aspectos medioambientales.

Palabras clave: contenido de aglutinante asfáltico bituminoso, extracción de aglutinante asfáltico bituminoso, mezclas de asfalto, Reciclaje de asfalto, pavimento asfáltico recuperado, normas europeas, RAP, HMA, ASTM 8159.

1 Carreteras y Reglamentos

La red de carreteras de Alemania posee cerca de 13.000 kilómetros de Red Primaria (Grandes Autopistas), 39.500 Km de carreteras secundarias y cerca de 67.000 puentes sobre la responsabilidad del gobierno federal.

Además, son 86.000 km de carreteras estatales (red terciaria y carreteras provinciales) en la jurisdicción de los estados. Las condiciones de tráfico pesado en las calles y carreteras tienen una participación cada vez mayor y requiere un cuidado especial en lo que se refiere al dimensionamiento y la implementación de las características teóricamente calculadas en la construcción de las carreteras.

El número de vehículos en las carreteras, principalmente los comerciales ha aumentado mucho en los últimos años. Son más de 2 mil millones de kilómetros recorridos en el año.

Más del 90% de la red de carreteras total tiene una superficie de asfalto.

Más de 300 Millones de toneladas de asfalto caliente se producen al año en Europa y aproximadamente 5 Millones de toneladas de mezclas frías.

Hay más de 4.000 lugares de producción de asfalto en Europa y más de 10.000 empresas participan en la producción y/o en la aplicación del asfalto.

La construcción en general está determinada por los reglamentos existentes que se siguen rígidamente. Los estándares para la pavimentación de carreteras dentro y fuera de las zonas edificadas están definidas en las "Directrices para la estandarización de la superestructura de áreas de tráfico"

(RstO) y en las "Directrices para la estandarización de la superestructura en la renovación de áreas de tráfico" (RstO- E).

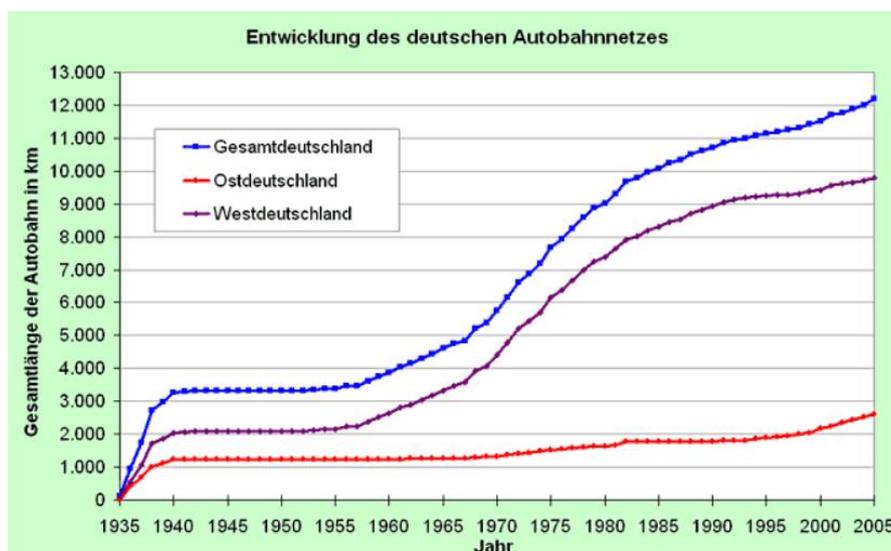


Figura 1. Desarrollo de la red de autopistas alemanas (acumulativa)

En la presentación de propuestas para obras de carreteras, es imprescindible además de comprobar la calidad y adoptar una clasificación adecuada de las etapas de la obra, comprobar el uso de altas tasas de asfalto reciclado.

De acuerdo con la "ley de la economía circular y la seguridad de la gestión ambientalmente racional de los desechos" (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG), que ha existido desde el 06 de octubre de 1996, el asfalto debe ser reciclado al 100%, o al menos 90%.

¿Pero cómo comprobar la calidad? ¿Cómo asegurarse de que el material utilizado es realmente el adecuado? ¿Cómo saber si la mezcla atenderá realmente la demanda presupuestada de tráfico, variaciones climáticas y cómo saber cómo será el comportamiento de la nueva mezcla en 5 o 10 años?

Todos los elementos y etapas pueden y deben ser estudiados y evaluados a través de pruebas de laboratorio realizadas de acuerdo con las normativas vigentes en el país.

Las dependencias funcionales de construcción, propiedad de los materiales, tráfico, carga y clima deben ser conocidas y evaluadas en profundidad para satisfacer las especificaciones de la demanda.

En Alemania las normas vigentes son las normativas nacionales TP "Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau" (pruebas técnicas para asfalto en carreteras), realizadas por la Sociedad de investigación para el transporte por carretera y transportes generales (FGSV), que es una asociación técnica y científica. La sociedad FGSV actúa en cooperación con el Instituto Alemán de Normalización (DIN) y con comités de los órganos competentes en el Comité Europeo de Normalización (CEN) y contribuye también a la creación de las normas europeas (EN).

2 Utilización de asfalto reciclado

En Alemania, se producen más de 11 Millones de toneladas de RAP cada año a partir del cual se reutilizan cerca de 90%. En los Estados Unidos son cerca de 85% de los 93 Millones de toneladas producidos.

Una de las razones por que no puede reutilizarse el 100% del asfalto es la presencia de asbesto que se considera tóxico. Antiguamente se utilizaba asbesto la construcción de carreteras y hoy esto es considerado carcinogénico y debe primero comprobarse que el asfalto a ser fresado no está contaminado para poder reutilizarlo.

En los Países bajos existen plantas especiales que pueden quemar este material. Otro uso es el llamado “downcycling” o capa inferior de la pista.

En Alemania existen 650 plantas productoras de mezclas asfálticas con una producción actual de 41 Millones de toneladas siendo en torno de 10 Millones de toneladas de asfalto reciclado reutilizable, lo que significa cerca del 25% de la producción. En los Estados Unidos Este porcentaje es muy similar: 1.158 plantas productoras de mezclas asfálticas producen 330 mil toneladas de mezclas de las cuales 25% es reciclado.

Tabla 1. Producción de mezclas asfálticas. Fuente: Siteb

País	Producción mezclas asfálticas (t)	Producción asfalto reciclado (t)	Reutilización del asfalto reciclado (%)
Turquía	46.200.000	1.200.000	3
Alemania	41.000.000	11.500.000	90
Francia	35.400.000	6.900.000	64
Italia	22.300.000	10.000.000	20
Reino Unido	19.200.000	5.000.000	80
España	13.300.000	205.000	85
Países Bajos	9.700.000	4.500.000	90
EE.UU.	332.000.000	80.000.000	95
Europa	300.000.000	56.000.000	75

3 Costo y Economía anual

Hoy el valor de la tonelada de la mezcla asfáltica es de 56€. En Alemania se utilizan 41 Millones de toneladas al año de mezclas lo que significa un costo de más de 2 billones de euros. Pero tenemos 10 Millones de toneladas de material reciclado que se puede reutilizar lo que significa una economía de casi un 25% en las construcciones de carreteras, en otras palabras, unos 500 millones euros.

Tabla 2. Valor de la tonelada de mezcla asfáltica

	Valor	€/T	Millones €
Precio de 41 Millones de toneladas de mezclas	41	56	2296
Áridos	95%	30	1168
Aglutinante asfáltico	5%	550	1127
Precio del asfalto reciclado	10	2	20
Áridos reciclados	95%	30	285
Aglutinante asfáltico reciclado	5%	550	275
Precio de 41 Millones de toneladas de mezclas	41	56	2296
ECONOMÍA ANUAL			~ 500 Mill €

El costo de la producción baja a 1,7 billones.

A partir del principio que el 5% de esos 10 Millones de toneladas es aglutinante asfáltico, por el precio actual de 450-600 € la tonelada, eso significa en euros alrededor de 280 millones de euros. Los áridos por su vez cuestan en Alemania 30 € a tonelada. A partir del principio que el 95% de esos 10 Millones de toneladas son áridos, tendremos casi 300 millones de euros de economía.

El material reciclado es de gran valor comercial y fuera de eso, el valor de la reducción y optimización de recursos naturales:

A partir del principio, el 5% de esos 10 Millones de toneladas es aglutinante asfáltico, tendremos casi 520.000 t de aglutinantes asfálticos reciclados.

A partir del principio que el 95% de esos 10 Millones de toneladas son áridos, tendremos casi 9,9 Millones de toneladas de áridos que se ahorraron.



Figura 2. Economía agregados y cemento asfáltico. Fuente: EAPA

Para la protección ambiental sostenible, las tecnologías modernas para la producción de asfalto implican una reducción masiva de las emisiones de CO₂, un consumo de energía significativamente menor durante el secado y el calentamiento de la materia prima, pero también un potencial de ahorro de la potencia de accionamiento instalada eléctricamente.

Hay una ecuación muy simple, que es: "Consumo de energía significa emisiones de CO₂ y emisiones de CO₂ significa costos de producción".

4 Requisitos previos para alta tasa de reciclaje

Los prerequisites técnicos para una alta tasa de utilización del material reciclado impone altas exigencias a los productores de asfalto y su planta. La producción de una nueva mezcla de asfalto utilizando asfalto reciclado requiere algunos cambios tecnológicos en la planta, con el objetivo de agregar más partes de asfalto reciclado.

La extracción y recuperación selectiva, la molienda de los gránulos, la adición selectiva, el almacenamiento adecuado para la gestión selectiva basada en tipos y el almacenamiento en seco son algunos de los requisitos que son básicos para el uso de reciclado.

Aparte de eso, el suave calentamiento del asfalto es de crucial importancia aquí. El mayor desafío es conseguir que el RAP **sea calentado a la temperatura necesaria** sin dañarlo y causando el mínimo envejecimiento del aglutinante asfáltico.

Diferentes tecnologías están disponibles en la producción de asfalto, dependiendo de la cuota de reciclaje deseada:

- Sistemas para la adición en frío de material con ascensor y admisión en mezclador - para uso con hasta 25% de material RAP
- Secador de anillo central para uso con hasta 40% de material RAP
- Secador DC para uso de hasta 60% de material reciclado caliente
- Secador de contracorriente para el uso de material 100% reciclado en caliente 165°C
- Secador de contracorriente para el uso de material 100% reciclado en caliente 125°C

Cuanto más eficiente y sofisticada es la planta, más reciclado se puede agregar, tomando en consideración también los demás aspectos ya mencionados, como por ejemplo tipo de carpeta.

5 Métodos de cálculo del porcentaje de reutilización de RAP en la nueva mezcla

5.1 El método de la homogeneización

El procedimiento para determinar la cantidad máxima de adición de granulado de asfalto en la nueva mezcla se describe en el Anexo D del Reglamento alemán TL Asphalt-StB 07.

El principio de la homogeneización utilizado en Alemania dice que la uniformidad de la mezcla es fundamental y debe evaluarse por referencia a una gama de características de los materiales contenidos en la mezcla. Para caracterizar el material reciclado, se toman al menos 5 muestras de cada 500 toneladas de un lote "iniciado" y se examinan sus características principales:

- Determinación del Contenido de aglutinante asfáltico [M .-%] según la norma EN 12697-1 o ASTM 8159
- Determinación de la Penetración según la norma DIN EN 1426
- Determinación del Punto de ablandamiento anillo y bola (TR & B) [° C] según la norma DIN EN 1427
- Determinación de la distribución del tamaño de los áridos:
 - Fracción de granulado <0,063 mm [M .-%]
 - Fracción de granulado de 0,063 - 2 mm [M. -%]
 - Fracción de granulado > 2 mm [M .-%]



Figura 3. Pruebas de las características de los materiales en el método de la homogeneización

5.1.1 Determinación del contenido de aglutinante asfáltico en la mezcla asfáltica

Una de las atribuciones más importantes y fundamentales de la norma EN 12697 es la primera parte (EN 12697-1) que trata de la determinación del contenido de aglutinante asfáltico en la mezcla asfáltica.

En los Estados Unidos la norma ASTM D 8159 acaba de ponerse en acción y el método estándar de combustión utilizado en el pasado está condenado a desaparecer.

La determinación del contenido de aglutinante asfáltico en las mezclas asfálticas recicladas es generalmente un proceso de trabajo intensivo, con el uso de solventes, predominantemente los hidrocarburos clorados, lo que puede ser muy perjudicial para la salud y el medio ambiente.

Sin embargo, equipos modernos y de alta tecnología consiguen extraer y recuperar todo el aglutinante asfáltico contenido en una mezcla asfáltica usando un sistema de extracción automático, haciendo este trabajo en un ambiente cerrado, seguro y respetuoso con el medio ambiente, con foco en la sustentabilidad.



Figura 4. Asphalt analyser (infraTest) para extraer y recuperar el aglutinante asfáltico

Un fallo en la determinación de la cantidad de aglutinante asfáltico bituminoso, puede llevar a errores considerables en una obra de carreteras, tanto el exceso como la falta de aglutinante asfáltico presente en la mezcla asfáltica, pueden causar grandes defectos de la carretera.

Los defectos por error en el contenido de aglutinante asfáltico como exudación y grietas por fatiga se producen por mezclas con mayor porcentaje de aglutinante asfáltico y por un porcentaje menor, respectivamente.

Otras fallas como baja estabilidad, baja resistencia al grieta por fatiga, corrugación, deformaciones plásticas, desgarramientos, baja fricción neumático / pavimento, oxidación acelerada y permeabilidad excesiva afectan directamente la comodidad del usuario, la seguridad en la vía y durabilidad del revestimiento.

5.1.2 Determinación de la cantidad de adición del RAP

Para la evaluación de la homogeneidad, se debe tomar una muestra y examinarla en sus 5 características principales. La adición máxima resultante de la homogeneidad del granulado de asfalto es el menor de los valores determinados para esas características (contenido de aglutinante asfáltico, punto de reblandecimiento de anillo y bola y conteos de partículas de áridos de 0 a 0.063 mm, de 0.063 a 2 mm y > 2 mm), Con la ayuda del nomograma (Figura 4.), podemos ver el máximo posible del RAP en la nueva mezcla.

Tabla 3. Cuadro de intervalos

	Anillo y Bola (TR & B) [° C]	Contenido de cemento asfáltico [M .-%]	Fracción de granulado <0,063 mm [M .-%]	Fracción de granulado entre 0,063 y 2 mm [M .-%]	Fracción de granulado > 2 mm [M .-%]
Muestra 1	66,4	5	9,9	37,7	52,4
Muestra 2	62	5,8	11,3	35,2	53,5
Muestra 3	64	4,9	9,3	29,8	60,9
Muestra 4	66,6	6	6,7	31,5	61,8
Muestra 5	66	5,1	12,1	33,8	54,1
Media	65	5,34	9,86	33,6	56,54
Intervalo	4,6	1,1	5,4	7,9	9,4

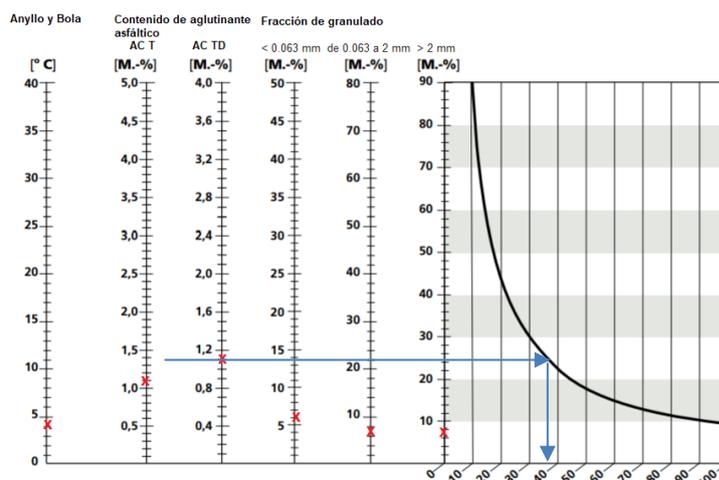


Figura 5. máxima cantidad de adición %

Las cantidades máximas de adición también dependen del tipo de capa. Para su uso en la capa base, la capa especial base y rodamiento, debe aplicarse la fórmula 1 para todas las características, para su uso en hormigón y para las capas superiores (binder y rodamiento) debe aplicarse la fórmula 2.

$$Z_i = \frac{0,5 \cdot T_{zul,i}}{a_i} \cdot 100 \quad (1)$$

$$Z_i = \frac{0,33 \cdot T_{zul,i}}{a_i} \cdot 100 \quad (2)$$

Donde Z_i es la Posible cantidad de suministro de asfalto reciclado en M.-%, a_i es la envergadura de la función (diferencia entre el valor más grande y el más pequeño de la serie de medición de valores atípicos) y $T_{zul,i}$ es la tolerancia total (véase el cuadro D. 1)

Es necesario determinar todos los valores de Z_i . El menor valor determina la cantidad máxima posible de asfalto reciclado.

Tabla 4. Cuadro de tolerancia $T_{zul, i}$ de características relevantes dependiendo del tipo de capa.

Característica	$T_{zul,i}$	
	Capa de rodamiento, binder y capas especiales de rodamiento e base	Capa de base
Anillo y Bola [°C]	8	8
Contenido de aglutinante [M.-%]	1,0	1,2
Fracción de áridos < 0,063 mm [M.-%]	6,0	10,0
Fracción de áridos 0,063 bis 2 mm [M.-%]	16,0	16,0
Fracción de áridos > 2 mm [M.-%]	16,0	18,0

5.2 El método PG-Grade

El sistema (PG) es el método para categorizar un cemento asfáltico utilizando su rendimiento observado a diferentes temperaturas. Fue originalmente desarrollado durante el programa de desarrollo de la investigación en marcha (SHRP) 1990's y se llamó "SuperPave."

Las propiedades físicas del cemento asfáltico cambian con la temperatura. Es más rígida a temperaturas bajas y más suave a temperaturas altas. El PG grade se clasificó y se seleccionó también para cumplir los criterios de rendimiento en alta y baja temperatura con un cierto nivel de fiabilidad.

Esto aumenta la resistencia a la deformación permanente (rutting) a altas temperaturas y aumenta la resistencia a fisuras térmica a bajas temperaturas.

La guía nacional actual para determinar el ajuste del grado del cemento asfáltico en mezclas de HMA que incorporan RAP tiene tres niveles.

Tabla 5. Guía de selección de aglutinantes para mezclas de RAP según AASHTO M 323

Grado PG recomendado del cemento asfáltico virgen	Rango de porcentajes
Ningún cambio en el grado PG solicitado	< 15%
Cemento asfáltico virgen un grado más suave de lo normal (por ejemplo, seleccione PG 58-28 si normalmente se usaría PG 64-22)	15 - 25%
Seguir las recomendaciones de cálculo de PG del cemento asfáltico de la mezcla	> 25%

Para porcentajes de RAP superiores al 25 por ciento, los procedimientos para desarrollar una nueva mezcla se suministran en el apéndice de **AASHTO M 323**. El objetivo es determinar el grado PG del aglutinante asfáltico recuperado y saber la cantidad de ese reciclado que se puede adicionar a la nueva mezcla, respetando el grado PG especificado para la nueva mezcla.

5.2.1 Ensayos necesarios

El objetivo del proceso de evaluación es determinar las propiedades más importantes de los materiales para llegar a una combinación óptima que permita satisfacer los requisitos de la nueva mezcla. Los pasos específicos del proceso de evaluación de materiales y de diseño de mezclas son los siguientes:

- Obtener muestras de campo representativas de la mezcla reciclada.
- Realizar los ensayos de laboratorio:
 - Recuperación del aglutinante asfáltico de la mezcla reciclada
 - Punto de llama
 - Viscosidad Dinámica (trabajabilidad)
 - Ensayo reológico de corte dinámico (DSR) del aglutinante asfáltico virgen
 - RTFOT – Envejecimiento a corto plazo
 - Ensayo reológico de corte dinámico (DSR) del aglutinante asfáltico envejecido en RTFOT
 - PAV – Envejecimiento a largo plazo
 - Ensayo reológico de corte dinámico (DSR) del aglutinante asfáltico envejecido en PAV
 - BBR – ensayo con reómetro de viga de flexión del aglutinante asfáltico envejecido en PAV
- Calcular el grado PG del aglutinante asfáltico reciclado

- Calcular la cantidad de RAP permitida



Figura 6. Pruebas de las características de los materiales en el método de la homogeneización

5.2.1 Procedimientos para la determinación de la cantidad de adición del RAP

Los procedimientos para determinar la cantidad de adición del RAP en una nueva mezcla pueden ser realizados por dos métodos:

A - Conociendo el grado final deseado PG (temperatura crítica) de la mezcla, las propiedades físicas (y la temperatura crítica) del aglutinante recuperado del RAP y las propiedades físicas (y la temperatura crítica) del aglutinante virgen.

B - Conociendo la tasa deseada de RAP en la nueva mezcla.

La temperatura crítica (T_c) es el valor de temperatura exacto para cada criterio de resistencia.

El muestreo consiste en tomar una serie de muestras aleatorias de un lote de RAP, un mínimo de 5, preferiblemente 10 o más muestras. El proceso consume mucho tiempo pero es necesario para garantizar una mezcla adecuada.

Una vez recuperado el aglutinante asfáltico del RAP (5.1.1), nos movemos a la determinación de las temperaturas críticas de los aglutinantes asfálticos del RAP para todos los pasos específicos del proceso de evaluación de materiales:

$$\text{DSR Original } G^*/ \text{sen} \delta \geq 1 \text{ kPa}$$

$$T_c \text{ alta (AltaOrig)} = \left(\frac{\log(1,0) - \log(G1)}{a} \right) + T1$$

$$\text{DSR RTFOT } G^*/ \text{sen} \delta \geq 2,2 \text{ kPa}$$

$$T_c \text{ alta (RTFOT)} = \left(\frac{\log(2,2) - \log(G1)}{a} \right) + T1$$

DSR PAV $G^*(\sin \delta) \leq 5000$ kPa

$$T_{c \text{ alta (PAV)}} = \left(\frac{\log(5000) - \log(G_1)}{a} \right) + T_1$$

Donde G_1 es el valor $G^*/\sin \delta$ a una temperatura específica T_1 , a es la inclinación de la curva de temperatura de rigidez, siendo $a = \Delta \log(G^*/\sin \delta) / \Delta T$

Calcular las temperaturas críticas para las temperaturas bajas:

BBR $S \leq 300$ Mpa

$$T_{c \text{ baja (S)}} = \left(\frac{\log(300) - \log(S_1)}{a} \right) + T_1$$

Donde S_1 es el valor S a una temperatura específica T_1 , a es la inclinación de la curva de temperatura de rigidez, siendo $a = \Delta \log(S) / \Delta T$

BBR $m \geq 0.300$

$$T_{c \text{ baja (m)}} = \left(\frac{0.300 - m_1}{a} \right) + T_1$$

Donde m_1 es el valor m a una temperatura específica T_1 , a es la inclinación de la curva de temperatura de rigidez, siendo $a = \Delta \log(m) / \Delta T$

$$\%RAP = \frac{T_{Blend} - T_{Virgin}}{T_{RAP} - T_{Virgin}}$$

Donde T_{Virgin} es la temperatura crítica del asfalto virgen (Conocido), T_{Blend} es la temperatura crítica del asfalto de la mezcla final (Conocido) y T_{RAP} es la temperatura crítica del asfalto del RAP (Calculado).

6 Conclusión

La reutilización del RAP y también las leyes circulares de residuos deberían ser reguladas y actualizadas por las regulaciones de los países, con el objetivo de proteger los recursos naturales y el medio ambiente. La industria necesita un marco positivo para la innuevación y las inversiones necesarias para un mayor desarrollo y aprovechamiento del RAP. La mezcla de asfalto con niveles extremadamente altos de gránulos de asfalto ("asfalto verde", "100% reciclaje") es posible pero aún no es ejecutable en rangos más amplios por falta de reglas explícitas.

A pesar de que las reglas y los métodos europeos y estadounidenses son muy diferentes, los dos se basan en procedimientos de pruebas muy elaborados que requieren equipos costosos y sofisticados, también mucho tiempo de laboratorio, pero con la ventaja de una gran reducción en los costos posteriores de materiales, emisiones de CO_2 y un mayor beneficio a largo plazo cuando pensamos en mantenimiento.

Las reglas de control de calidad para la extracción y caracterización de aglutinantes asfálticos bituminosos también deberían ser actualizadas toda vez que el uso de solventes de hidrocarburos clorados sólo debería permitirse en ambiente de ciclo cerrado, como se indica en las normas EN 12697-1 y ASTM 8159.

La confiabilidad de los ensayos aumenta la confiabilidad de los resultados finales, factor esencial para el éxito de las obras viales.

7 Referencias

- [1] European Asphalt Pavement Association: www.eapa.org. *Arguments to stimulate the government to promote asphalt reuse and recycling; Asphalt in figures 2016*
- [2] Patrick Scholl, 2018. *Autobahnen und Bundesstraßen*
- [3] J. Hutschenreuther, T. Worner (2010). *Asphalt in Strassenbau*: Kirschbaum Verlag.
- [4] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen FGSV (2112). *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen RStO 12*.
- [5] K. SCHINDLER - NordLabor GmbH – *Die neue TP – Asphalt 2008*
- [6] DIN EN 13108 -1, 2008. *Bituminous mixtures, Material specifications Part 1*
- [7] DIN EN 12697 -1, 2012. *Test methods for hot mix asphalt Part1-Soluble binder content*
- [8] V. ROOT, 2008. *Einführung der Europäischen Normen*.
- [9] Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG 2017. *Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen*.
- [10] Deutscher Asphaltverband e. V. *Wiederverwendung von Asphalt*
- [11] Hohenloher Asphalt-Mischwerke GmbH & Co. KG . *Wiederverwendung von Asphalt*
- [12] ASTM D 8159, 2017. Quantitative determination of asphalt in asphalt mixtures and pavement samples using automated solvent extraction method, draft.
- [13] AASHTO M 323, 2010. *Standard Specification for Superpave Volumetric Mix Design, " Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC*.
- [14] NAPA, Lanham, MD. *Recycling Hot Mix Asphalt Pavements: National Asphalt Pavement Association (2007). Information Series 123*.
- [15] IMT M.I. Yelitza Ayala del Toro, 2018. *Selección del PG Grado para RAP*
- [16] Bernucci, L.B., Da Motta, L. M. G., Ceratti, J.A.P., Soares, J.B. *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro
- [17] Petrobras. Adeda, 2006.
- [18] InfraTest. *Asfalto-betún. Catálogo y manual*, 2012 <http://www.infratest.net>