

IAG351-06-2013
EXPERIENCIA DE RECICLADO EN MÉXICO: CARACTERIZACIÓN DE
AGENTES REJUVENECEDORES PARA RAP EMPLEANDO EL
MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES (UCL)
EXPERIÊNCIA DE RECICLAGEM NO MÉXICO: CARACTERIZAÇÃO DE
AGENTES PARA REJUVENESCIMENTO PARA RAP POR MÉTODO DE
CARACTERIZAÇÃO UNIVERSAL PARA LIGANTES (UCL) ®

Ing. José Luis del Castillo Castillo
Asistente de Docencia. Departamento de Ingeniería Civil
Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey.
Monterrey, México.
A00599093@itesm.mx

Dr. Carlos Humberto Fonseca Rodríguez
Director del Centro de Diseño y Construcción.
Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey.
Monterrey, México
carlos.fonseca@itesm.mx

Ing. Rodolfo Villalobos Dávila
Director General
PETROTEKNO, S.A. de C.V.
Monterrey, México
rvillalobosdavila@yahoo.com.mx

Resumen

El proyecto emplea el Método Universal de Caracterización de Ligantes, UCL, desarrollado por la Universidad Politécnica de Cataluña, para caracterizar diversos agentes rejuvenecedores adicionados a la Mezcla Asfáltica Reciclada (RAP por sus siglas en inglés, Reclaimed Asphalt Pavement). La primera parte de la investigación consistió en evaluar el contenido de Cemento Asfáltico en la mezcla asfáltica reciclada, RAP, mediante un proceso de extracción, empleando un solvente dentro de un ambiente controlado. Conocido el porcentaje de cemento asfáltico en el RAP, se determina la cantidad de cemento asfáltico faltante y se restablece con el agente rejuvenecedor.

Se emplearon cuatro tipos de Agentes Rejuvenecedores a base de maltenos y polímero SBS. Se empleó con materiales pétreos virgen, cemento asfáltico AC-20, Cemento Asfáltico Modificado PG76-22 y PG82-22. En varias dosificaciones, se evaluaron las Pérdida al Cántabro siguiendo la Metodología UCL, y se generó la Curva de Estado, a seis diferentes temperaturas: -20 °C, -10 °C, 0 °C, 25 °C, 40 °C y 60°C; la Curva de Adhesividad Pasiva, antes y después de la acción del agua a 60°C durante 24 horas; y la Curva de Envejecimiento, a temperatura de 163°C en un horno con circulación de aire forzada, durante 4 y 8 horas.

En México, el pavimento reciclado como material para emplearse en nuevas carpetas asfálticas es de muy poco uso. El tener un método de recuperación, tratamiento y empleo del 100 % de RAP, en la manufactura de carpetas asfálticas, permite ahorros en energía, disminuye las emisiones de CO₂, la explotación de canteras y un menor consumo de cemento asfálticos de material nuevo. Todo esto se traduce en menos impacto al medio ambiente y menos costos, haciendo el reciclaje de mezclas asfálticas un proceso cien por ciento sustentable.

Resumo

O projeto utiliza método universal para Caracterização de pastas, UCL, desenvolvido pela Universidade Técnica de Catalunha, para caracterizar vários agentes rejuvenescedores adicionados ao asfalto reciclado Mix (RAP por sua sigla em Inglês, regenerada asfalto). A primeira parte da pesquisa foi avaliar o teor de cimento asfáltico em asfalto reciclado, RAP, por um processo de extração com um solvente dentro de um ambiente controlado. Sabendo que a percentagem de cimento asfáltico na RAP, determinar a quantidade de falta de cimento e asfalto restaurado com agente rejuvenecedor.

Foram utilizados quatro tipos de agentes com base Rejuvenescer maltenos e polímero SBS. Materiais de pedra foram usados com virgem asfalto cimento AC-20 Modificado cimento asfáltico PG76 e PG82-22-22. Em várias dosagens foram avaliadas de acordo com a perda de Cántabro metodologia UCL, e gerado o estado de curva, de seis diferentes temperaturas: -20 ° C, -10 ° C, 0 ° C, 25 ° C, 40 ° C e 60 ° C; Curva passiva adesão antes e depois da acção de água a 60 ° C durante 24 horas, e a curva de envelhecimento, a uma temperatura de 163 ° C num forno com circulação forçada de ar durante 4 e 8 horas.

No México, o material do pavimento reciclado e usado em novo asfalto é de muito pouca utilidade. Tendo um método de recuperação, de tratamento e de utilização de 100% de RAP, no fabrico de camadas de asfalto, permite a poupança de energia, as emissões de CO₂, redução de pedreiras e dá um consumo inferior de material de asfalto novo cimento . Tudo isso significa menor impacto ambiental e menor custo, tornando a reciclagem de misturas asfálticas cem por cento processo sustentável.

INTRODUCCIÓN

En el mundo, la industria del pavimento asfáltico reciclado ha tenido gran éxito. Las primeras fechas del reciclaje de pavimento asfáltico datan de 1915 (FHWA-SA-98-042, 1997), pero no se volvió una práctica común hasta los principios de los años 70's como resultado de que los precios del asfalto se fue a las nubes debido al embargo de Arabia al petróleo. Las tecnologías de pavimentos asfálticos reaccionaron a esta situación desarrollando métodos para reducir la demanda del ligante asfáltico, y por consecuencia, reducir los costos. Al material recuperado mediante estos procesos se le conoce como RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) que es el término dado para aquellos materiales de pavimento removidos o reutilizados que contienen cemento asfáltico y material pétreo (FHWA-RD-97-148, 1997).

Por ser México un país productor de petróleo, el asfalto es usado con mayor frecuencia para la construcción de carreteras, esta es una gran área de oportunidad para la industria del reciclado. En el país, el recuperar el pavimento asfáltico es una práctica casi nula, cuando se encuentra en malas condiciones o envejecido, este se extrae, en las mejores ocasiones se recupera y utiliza, pero en la mayoría de los casos se tira en un banco de desperdicio o incluso sobre el derecho de vía. Entre las motivaciones para reciclar se incluyen beneficios económicos como ahorros en la

compra y transportación al sitio de materiales, y beneficios ambientales tales como la reducción de emisiones y del empleo de combustibles.

OBJETIVO

El objetivo de este escrito es el presentar los resultados obtenidos de caracterizar y comparar el desempeño de 4 diferentes agentes rejuvenecedores empleados en la fabricación de mezclas asfálticas incorporando el 100 % de material reciclado RAP. Para caracterizar dichos agentes rejuvenecedores, se decidió emplear el Método Universal de Caracterización de Ligantes UCL, el cual fue desarrollado y patentado en el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña y está basado en el ensayo Cántabro de pérdidas por desgaste descrito en la norma española con designación NLT-352/00 y que utiliza la máquina de los Ángeles que se describe en la norma NLT-149/191 sin la carga abrasiva.

ANTECEDENTES

En investigaciones recientes, donde se han diseñado y estudiado nuevos métodos de caracterización de cementos asfálticos, se han enfocado en buscar métodos que puedan determinar su calidad, evaluando sus pruebas en el laboratorio, así como el comportamiento que este tendrá en el pavimento, evaluando propiedades de las mezclas asfálticas en servicio. Los métodos actuales para definir las propiedades y el comportamiento de los cementos asfálticos que han seguido estos criterios son: los métodos convencionales, el método Qualagon, el método Superpave de SHRP y el método UCL.

El conocimiento del comportamiento del cemento asfáltico convencionalmente se ha realizado mediante pruebas como lo es la penetración, el punto de reblandecimiento, la viscosidad, la densidad, entre otras, sin embargo, si se caracterizan tanto cementos asfálticos convencionales o modificados, se puede incurrir en errores, ya que los valores evaluados pueden estar en rangos similares para dos asfaltos diferentes. Esto puede llevar a identificar cementos asfálticos diferentes o de diversas procedencias como materiales idénticos que cumplen con normas o especificaciones que rigen en un sitio, sin embargo, el comportamiento bajo condiciones de trabajo puede ser totalmente distinto. El método Qualagon fue desarrollado por el laboratorio Shell de Amsterdam (KSLA), y toma a consideración 4 aspectos importantes que deben cubrir las propiedades de los cementos asfálticos: homogeneidad, cohesión, adhesividad y durabilidad. El producto final del método SHRP ("Strategic Highway Research Program") es conocido como SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements), divide el estudio de los materiales en cuatro rangos de temperaturas: trabajabilidad ($T_a > 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), roderas ($45 < T_a < 85\text{ }^{\circ}\text{C}$), rotura por fatiga ($0 < T_a < 45\text{ }^{\circ}\text{C}$) y rotura térmica ($-40 < T_a < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) y propone nuevos métodos de ensayo: envejecimiento, reómetro de corte dinámico, viscosímetro rotatorio, reómetro de viga a flexión y tensión directa. El método UCL valora el comportamiento de los cementos asfálticos como parte integrante de la mezcla asfáltica, mediante la evaluación de las propiedades fundamentales de cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad y durabilidad.

El pavimento asfáltico tendido en las calles se va envejeciendo. Los rejuvenecedores son agentes que por su composición reintegran las propiedades que el pavimento asfáltico va perdiendo con el paso de los años. En un estudio realizado por el “Asphalt Rubber Service Technology” (ARTS), Clemson University, South Carolina, se observó que al utilizar agentes rejuvenecedores se podía incorporar a las mezclas asfálticas de un 40 a un 48% de material RAP mientras que al no emplearlos este rango de valores se reduce en un 10%.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Teniendo como objetivo el caracterizar rejuvenecedores como agentes que restablezcan propiedades sobre asfaltos envejecidos se decidió utilizar el método UCL ya que es eficaz y sencillo de emplear. Miró Recasens menciona en su trabajo de tesis doctoral, que el método fue desarrollado con la finalidad de valorar los cambios en la cohesión de mezclas de granulometría abierta. Dicha cohesión es proporcionada a la mezcla principalmente por la capa continua de ligante que cubre cada una de sus partículas. Sin embargo, existen otros factores que influyen en la pérdida por desgaste, tanto del árido como del asfalto. Para acotar estos otros factores, el método elimina la incertidumbre en el uso de las partículas más finas del pétreo tomando solo lo más grueso. En este estudio, realizado en el Laboratorio de Asfaltos del Departamento de Ingeniería Civil del ITESM, Campus Monterrey, se decidió utilizar el 80% del material que pasa la malla No. 4 y se retiene en la No. 8, así como el 20% que pasa la No. 8 y se retiene en la No. 30, sobre un total de 1,000 gr de pétreo. Una vez establecida la granulometría queda como única variable hipotética el tipo y naturaleza del ligante, el cual debe de ser un 4.5% en relación al peso del agregado.

Al utilizar mezclas asfálticas recicladas se tiene que realizar un análisis de lo que las contiene. De la norma ASTM D2172 “Methods for Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving” se empleó el método B para la extracción cuantitativa del asfalto, encontrando que para la granulometría establecida el contenido de asfalto promedio es de 3.07%. Por lo que se decidió adicionar 1.43% en rejuvenecedor para cubrir la cantidad de 4.5% que la metodología propone. La experimentación se enfocará en tres propiedades: la consistencia del ligante o susceptibilidad térmica, la adhesividad pétreo-ligante y el envejecimiento de la mezcla. Se midió el porcentaje de pérdida por desgaste que sufren probetas fabricadas según la norma ASTM D6926 “Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus”, utilizando una energía de compactación de 50 golpes por cara, y probadas en la máquina de los Ángeles sin la carga abrasiva. En la Tabla 1 se observa el plan de trabajo de la primera etapa en la cual se fabricaron 648 pastillas. Por cada temperatura, para cada propiedad y por cada tipo de asfalto se triplicaron las pruebas. Así mismo, se caracterizaron 4 rejuvenecedores tomando como material pétreo el contenido en RAP y 4 asfaltos testigo: el contenido en el pavimento reciclado, AC-20, y 2 asfaltos modificados, PG 76-22 y PG 82-22, en los últimos 3 se utilizó la piedra caliza como agregado pétreo. En la Tabla 2 se observa la segunda etapa del plan de trabajo en la cual se realizarán un total de 288 pastillas en 12 tipos de asfaltos, y que no se presentan en este escrito por motivos de tiempo.

Tabla 1. Plan de trabajo primera etapa

#	Tipo de Asfalto	No. de Pruebas	Tipo de Pétreo	Cantidad de Pastillas por Prueba											Total	
				Curva de Estado						Adhesividad		Envejecimiento				
				-20 °C	-10 °C	0 °C	25 °C	40 °C	60 °C	25 °C	60 °C Baño María→ 25 °C	25 °C	163 °C x 4 hrs	163 °C x 8 hrs		
1	Recuperado de RAP	3	Contenido en RAP	3	3	3	3	3	3	3*	3	3*	3	3	81	
2	Rejuvenecedor 1	3	Contenido en RAP	3	3	3	3	3	3	3*	3	3*	3	3	81	
3	Rejuvenecedor 2	3	Contenido en RAP	3	3	3	3	3	3	3*	3	3*	3	3	81	
4	Rejuvenecedor 3	3	Contenido en RAP	3	3	3	3	3	3	3*	3	3*	3	3	81	
5	Rejuvenecedor 4	3	Contenido en RAP	3	3	3	3	3	3	3*	3	3*	3	3	81	
6	AC 20	3	Caliza	3	3	3	3	3	3	3*	3	3*	3	3	81	
7	PG 76-22	3	Caliza	3	3	3	3	3	3	3*	3	3*	3	3	81	
8	PG 82-22	3	Caliza	3	3	3	3	3	3	3*	3	3*	3	3	81	
Nota: Los valores con * son las pastillas que corresponden a la misma temperatura.															Total	648

Tabla 2. Plan de trabajo segunda etapa

#	Tipo de Asfalto	No. de Pruebas	Tipo de Pétreo	Cantidad de Pastillas por Prueba											Total	
				Curva de Estado						Adhesividad		Envejecimiento				
				-20 °C	-10 °C	0 °C	25 °C	40 °C	60 °C	25 °C	60 °C Baño María→ 25 °C	25 °C	163 °C x 4 hrs	163 °C x 8 hrs		
1	AC 20 Env + Rej 1	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
2	AC 20 Env + Rej 2	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
3	AC 20 Env + Rej 3	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
4	AC 20 Env + Rej 4	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
5	PG 76-22 Env + Rej 1	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
6	PG 76-22 Env + Rej 2	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
7	PG 76-22 Env + Rej 3	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
8	PG 76-22 Env + Rej 4	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
9	PG 82-22 Env + Rej 1	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
10	PG 82-22 Env + Rej 2	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
11	PG 82-22 Env + Rej 3	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
12	PG 82-22 Env + Rej 4	2	Caliza	3	-	-	3	-	3	3*	3	-	-	-	24	
Nota: Los valores con * son las pastillas que corresponden a la misma temperatura.															Total	288

ANALISIS DE RESULTADOS

Los asfaltos junto con los rejuvenecedores fueron caracterizados utilizando los métodos convencionales. Se evaluó la densidad relativa, punto de reblandecimiento, penetración (100 gr, 5 seg, 25°C), índice de penetración, recuperación elástica por torsión y viscosidad Brookfield. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Características de los diferentes Cementos Asfálticos y Agentes Rejuvenecedores

#	Características	Unidad	Pétreo Vírgen			Pavimento Reciclado (RAP)			
			AC 20	PG 76-22	PG 82-22	RAP	Rej. 1	Rej. 2	Rej. 3
1	Densidad Relativa 25 °C	gr/cm ³	1.021	1.022	1.031	1.059	1.020	1.022	1.023
2	Punto de Reblandecimiento Anillo y Bola	°C	44.750	57.000	55.250	75.250	42.750	47.000	45.250
3	Penetración (100 gr, 5 seg, 25 °C)	0.1 mm	80.250	59.333	56.000	16.667	124.167	109.500	108.833
4	Índice de Penetración		-1.5	0.8	0.3	1.2	-0.9	0.1	-0.4
5	Recuperación Elástica por Torsión	%	9.250	59.000	54.250	9.000	37.500	34.500	36.500

En la Tabla 4 se muestran los resultados del valor promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de los parámetros de densidad aparente, y vacíos en la mezcla asfáltica para cada uno de los 8 casos estudiados. Para el parámetro de densidad aparente se puede ver que el coeficiente de variación oscila entre 0.47% y 1.55%, y para el parámetro de vacíos entre 1.64% y 11.81%.

Tabla 4. Parámetros medidos de probetas fabricadas

Parámetro	Unidad	Pétreo Virgen			Pavimento Reciclado (RAP)				
		AC 20	PG 76-22	PG 82-22	RAP	Rej. 1	Rej. 2	Rej. 3	Rej. 4
Densidad Aparente									
Valor Promedio	gr/cm ³	1.9851	1.9720	1.9748	2.1659	2.2561	2.2575	2.2562	2.2506
Desviación Estándar	gr/cm ³	0.0093	0.0200	0.0106	0.0197	0.0349	0.0206	0.0160	0.0158
Coeficiente de Variación	%	0.47	1.02	0.54	0.91	1.55	0.91	0.71	0.70
Vacíos en la Mezcla									
Valor Promedio	%	22.17	22.70	22.65	15.41	11.58	11.53	11.58	11.80
Desviación Estándar	%	0.36	0.79	0.42	0.77	1.37	0.81	0.63	0.62
Coeficiente de Variación	%	1.64	3.46	1.84	4.98	11.81	6.99	5.41	5.24

El asfalto proporciona cohesión entre las partículas del pétreo, esta propiedad cambia a diferentes temperaturas. El método UCL define los estados de consistencia de una mezcla al variar la temperatura dando pie a la curva de estado de la mezcla. Se definieron 6 temperaturas: -20, -10, 0, 25, 40 y 60 °C. En la Figura 1 se puede ver que los 4 rejuvenecedores tienen un excelente desempeño y no hay una gran variación entre ellos. A -20°C se presenta una pérdida del 20%, y conforme la temperatura de prueba va aumentando la pérdida va disminuyendo, es así como de los 25°C hacia los 60°C vemos como la pérdida es menor al 10%. Por otra parte, la Figura 2 muestra que los rejuvenecedores mejoran el desempeño de mezcla 100% RAP a lo largo de toda la curva de estado en más del 20%, principalmente en la zona de temperaturas elevadas.

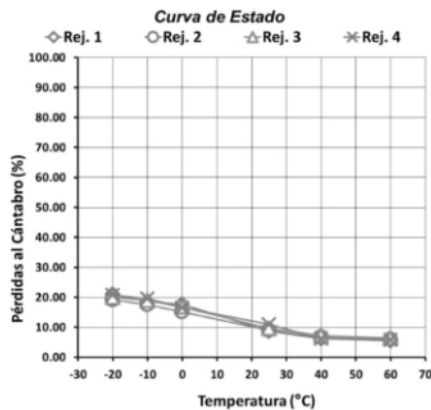


Figura 1. Gráfico de curva de estado Rejuvenecedores

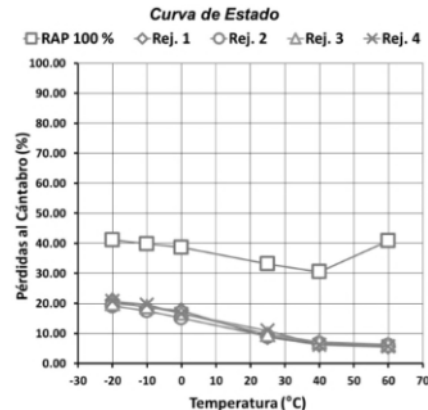


Figura 2. Gráfico de curva de estado Rejuvenecedores vs. RAP 100%

En la Figura 3 se observa como los rejuvenecedores muestran un mejor comportamiento que un AC-20, tanto a temperaturas bajas como en altas. En el AC-20, a -20°C se presenta una pérdida del 58% mientras que en los rejuvenecedores es del 20%, una mejora del 38%. A 60°C vemos como el AC-20 tiene una pérdida del 32% mientras que en los rejuvenecedores es del 6%, una mejora del 26%. También se ve como la curva del AC-20 es un tipo de “U” debido al comportamiento en los extremos, mientras que para los rejuvenecedores la curva se suaviza. En la Figura 4 y en la Figura 5 vemos la comparación con 2 asfaltos modificados, PG 76-22 y PG 82-22. En ellas, se puede observar que la curva de los asfaltos modificados tiene un comportamiento casi lineal en las zonas calientes a diferencia de las zonas frías.

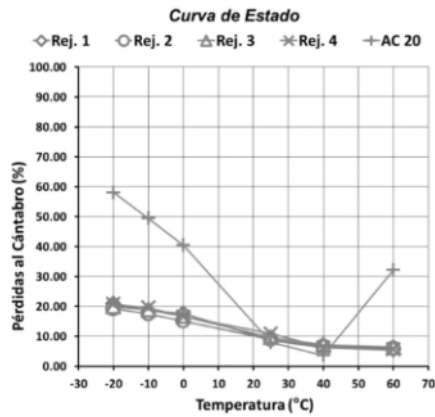


Figura 3. Gráfico de curva de estado Rejuvenecedores vs. AC-20

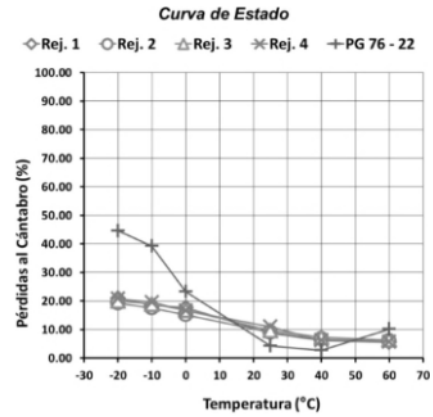


Figura 4. Gráfico de curva de estado Rejuvenecedores vs. PG 76-22

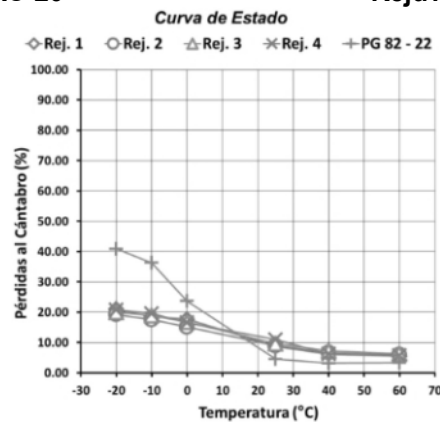


Figura 5. Gráfico de curva de estado Rejuvenecedores vs. PG 82-22

El asfalto debe de tener la capacidad de envolver al material pétreo dando cohesión a la mezcla y evitando el efecto de desenvuelta del agua. En las siguientes figuras se observará el comportamiento típico de una mezcla asfáltica sumergida en agua comparándola con una probada en seco.

En la Figura 6 se muestra como las diferencias en seco y húmedo para los rejuvenecedores son mínimas. Por otra parte en la Figura 7 al comparar también el testigo de RAP sin rejuvenecedor podemos observar como las pérdidas se van hasta un 40 % en un ambiente húmedo lo cual es un 10% mayor que en un ambiente seco.

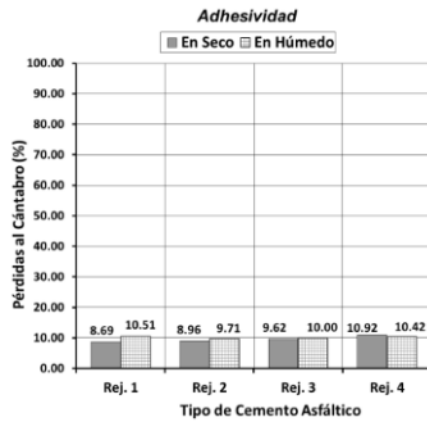


Figura 6. Gráfico de adhesividad Rejuvenecedores

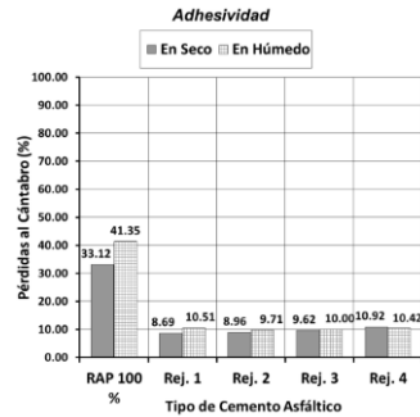


Figura 7. Gráfico de adhesividad Rejuvenecedores vs. RAP 100%

En las Figuras 8, 9 y 10 se presentan los resultados de adhesividad de asfaltos convencionales. Comparando contra los rejuvenecedores, para el cemento asfáltico AC-20 la mejora en un ambiente húmedo es muy grande, mientras que para un PG 72-22 y un PG 82-22 también hay mejoras pero tan solo del 5%.

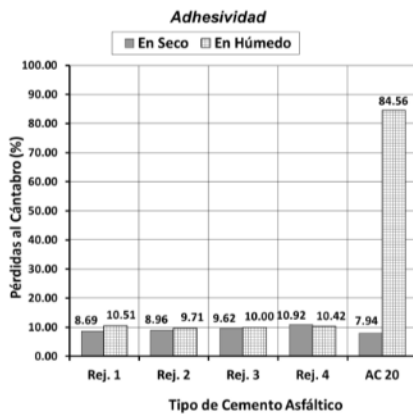


Figura 8. Gráfico de adhesividad Rejuvenecedores vs. AC-20

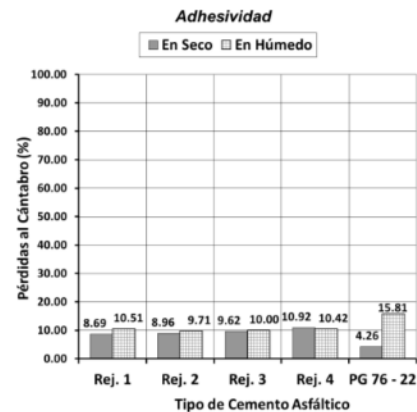


Figura 9. Gráfico de adhesividad Rejuvenecedores vs. PG 76-22

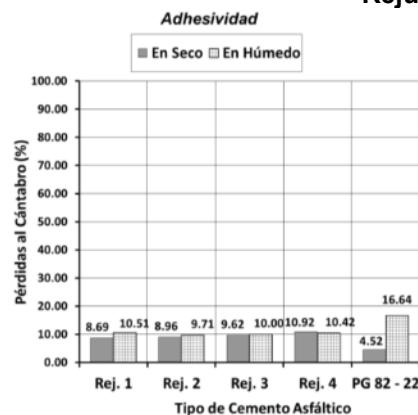


Figura 10. Gráfico de adhesividad Rejuvenecedores vs. PG 82-22

Los asfaltenos y maltenos, que componen al asfalto, se pierden en el proceso de oxidación, esto provoca que la durabilidad de la mezcla varíe de acuerdo a las condiciones de trabajo y a los agentes atmosféricos a los cuales se somete con el paso del tiempo. Vemos en la Figura 11 que la variación en cuestión de envejecimiento para los rejuvenecedores es casi imperceptible. Mientras que en la Figura 12 se ve como en el caso del RAP sin rejuvenecedor se tiene una pérdida del 30% en comparación de los agentes rejuvenecedores que es del 10%.

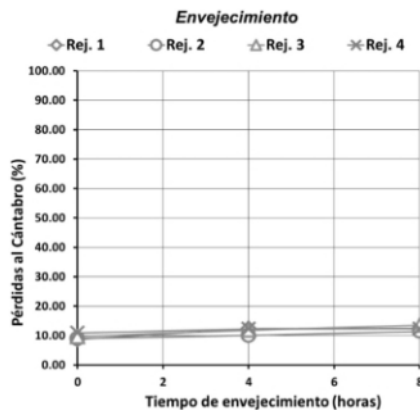


Figura 11. Curva de envejecimiento Rejuvenecedores

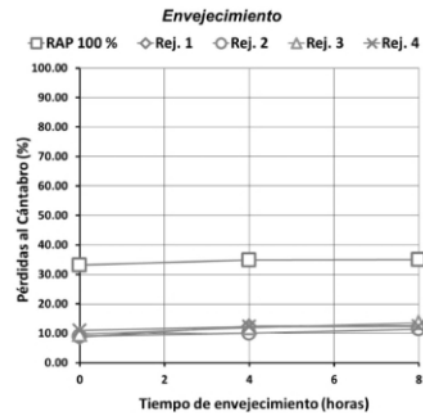


Figura 12. Curva de envejecimiento Rejuvenecedores vs. RAP 100%

En las Figuras 13, 14 y 15 vemos como para el caso del asfalto AC-20, PG 76-22 y PG 82-22 a medida que el envejecimiento es más prolongado las pérdidas van aumentando. Al llegar a las 8 horas a 163 °C se tiene una pérdida para los 3 asfaltos entre el 30 y 40% mientras que en los rejuvenecedores no aumenta más del 10%.

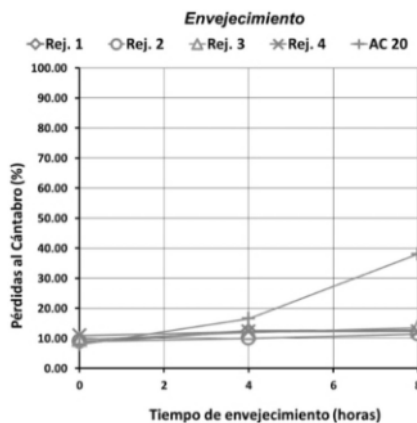


Figura 13. Curva de envejecimiento Rejuvenecedores vs. AC-20

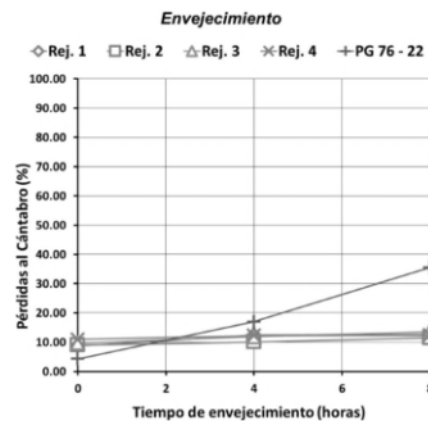


Figura 14. Curva de envejecimiento Rejuvenecedores vs. PG 76-22

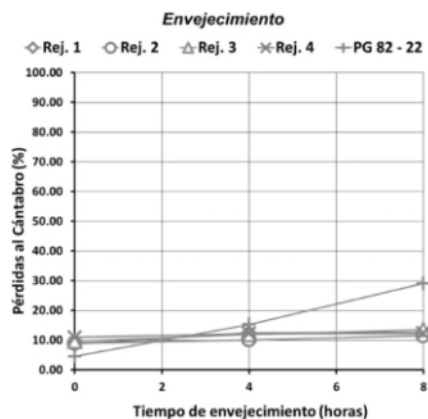


Figura 15. Curva de envejecimiento Rejuvenecedores vs. PG 82-22

CONCLUSIONES

El método UCL es una alternativa sencilla y práctica al no requerir de aparatos de prueba muy sofisticados, pero arroja resultados contundentes. Presenta una alternativa viable para identificar el comportamiento de diferentes ligantes en diferentes condiciones de temperatura, por la acción del agua y bajo procesos de oxidación. Con ello se puede inferir cuando un cemento asfáltico contribuye a mejorar la durabilidad de las mezclas asfálticas.

Los agentes rejuvenecedores caracterizados mediante el método UCL mejoraron el comportamiento de una mezcla asfáltica reciclada de tal forma que presentaron un mejor desempeño que los cementos asfálticos convencionales y modificados, ya que se observó una menor pérdida por desgaste en las tres propiedades estudiadas: estados de consistencia, adhesividad y envejecimiento. En el caso de las curvas de estado, se observa como la acción de los agentes rejuvenecedores hace que las pérdidas al Cántabro sean similares en las temperaturas de estudio, a diferencia de los asfaltos convencionales y modificados que presentan pérdidas muy elevadas a altas y bajas temperaturas. Por otra parte, en los gráficos de adhesividad se observó como los diferentes agentes rejuvenecedores proporcionan un mejor comportamiento a la acción de desenvuelta del agua, principalmente cuando se emplea AC-20, con el cual se obtienen pérdidas hasta de un 80%. Por último, en las curvas de envejecimiento a 163°C a 4 y 8 horas se observa con la incorporación de rejuvenecedores un comportamiento casi lineal en sus pérdidas, es decir, hay pocos cambios con el tiempo de envejecimiento. Con el cemento asfáltico tipo AC-20, PG 76-22 y PG 82-22, se presenta lo contrario.

En general se puede concluir que el método UCL permitió un análisis preciso del comportamiento de un agente rejuvenecedor, y que los caracterizados presentaron un desempeño bastante estable a lo largo de las diversas propiedades que se evaluaron. En estudios posteriores se evaluará al agente rejuvenecedor acotando las pruebas, utilizando agregado pétreo virgen y un cemento asfáltico oxidado, simulando su envejecimiento a lo largo del tiempo.

REFERENCIAS

- Kandhal, P.S., and R.B. Mallick, (1997), *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Government – Participant’s Reference Book*, Report No. FHWA-SA-98-042, National Center for Asphalt Technology, Auburn, Al.
- Warren, C., Collins, R., MacKay, M., and Emery, J. (1997), *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction*, Report No. FHWA-RD-97-148, Washington, D.C.
- Shen, J., Amirkhanian, S., and Jennifer Aune Miller, J. A., (2007), *Effects of Rejuvenating Agents on Superpave Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement*, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, May.
- Normativa Española, NLT-149, (1991), *Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de los Ángeles*. CEDEX, Madrid, España.
- Normativa Española, NLT-352, (2000), *Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste*. CEDEX, Madrid, España.
- Miro Recasens, J., (1994), *Metodología para la caracterización de ligantes asfálticos mediante el empleo del ensayo cántabro*. Barcelona, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Fonseca Rodríguez, C., Serment Guerrero, V. y Villalobos Dávila, R., (1999), *Estudio Experimental en Laboratorio Aplicando el Método UCL en la Caracterización de Cementos Asfálticos en México*. 10 CILA Congreso Iberoamericano del Asfalto. Asociación Española de Carreteras. Sevilla, España.
- ASTM D2172 “Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving”
- ASTM D6926 “Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus”