Susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas.

un nuevo método de laboratorio

Ing. Mario Arce.

Aspectos generales:

La tecnología de mezclas asfálticas en caliente ha desarrollado una importante gama de opciones constructivas y de diseño estructural, para enfrentar la demanda permanente de las carreteras con pavimentos más durables y de menores requerimientos de conservación.

Las sobre-capas asfálticas de uso generalizado en conservación, rehabilitación y reconstrucción de carreteras, deben ser capaces de rendir un óptimo desempeño ante condiciones muy diversas, como por ejemplo:

•Cambios bruscos de temperatura, ya sea diarios o estacionales.
•Sellado de capas existentes: porosas, fisuradas o envejecidas.
•Resistencia a la propagación de grietas, provenientes de las capas inferiores.
•Corrección de las deformaciones superficiales del pavimento (alta rugosidad).
•Resistencia a las deformaciones permanentes, consecuencia de altas temperaturas y cargas transmitidas por altos volúmenes de camiones que transitan a muy bajas velocidades (caso de pendientes fuertes).
•Resistencia a la fatiga, inducida por el efecto de repetición de cargas, especialmente en los períodos del año donde las capas granulares y la sub-rasante presentan sus valores de módulo más bajos.
•Resistencia al pulimento y al desgaste superficial, como resultado de la acción abrasiva de las llantas.
•Capacidad para conservar sus propiedades físico-mecánicas y de adhesividad ante el efecto del clima (sol y lluvia).
•Alta adherencia vehículo-pavimento en condiciones lluviosas (hidroplaneo o derrape).

Para enfrentar estas exigencias de desempeño se han formulado múltiples soluciones, que combinan aspectos como los siguientes:

•Tamaño máximo del agregado (desde mezclas finas hasta el uso de agregado de gran tamaño).
•Contenido de vacíos en la mezcla (mezclas densas, abiertas y drenantes).
•Cambios en la estructura interna resistente de las partículas, por readecuación de textura y forma de los agregados, y a cambios en la "forma" de la curva granulométrica.
•Incorporación de asfaltos según: zona climática, velocidad de los vehículos y solicitaciones de tránsito (clasificación de asfaltos por grado de desempeño PG del SHRP).
•Producción de mezclas asfálticas recicladas.
•Incorporación de relleno mineral de aportación: cal y cemento, especialmente.
•Incorporación de aditivos para mejorar la adhesividad agregado-ligante (aditivos químicos activantes de adhesividad).
•Incorporación de aditivos para mejorar las propiedades reológicas del asfalto y de la mezcla, como por ejemplo: látex, polímeros y caucho reciclado.
•Incorporación de plástico reciclado (tecnología desarrollada en Costa Rica).
•Incorporación de aditivos rejuvenecedores del asfalto.

Uno de los problemas típicos de las capas asfálticas, es la pérdida de adhesividad agregado-ligante, por efecto del clima. En países tropicales con altos niveles de precipitación esta problemática se torna especialmente importante. Desde este

punto de vista, para garantizar un buen comportamiento de la mezcla a largo plazo, existen diferentes formas de condicionamiento (intemperismo acelerado) y modelos de laboratorio, que permiten predecir el desempeño de estos materiales durante su vida útil.

En algunas investigaciones se han utilizado otros métodos de envejecimiento que son variantes de los anteriores, donde se combinan la saturación, la temperatura alta del agua y el congelamiento.

Modelo de Intemperismo en el Laboratorio:

Conviene tener presente que el condicionamiento en laboratorio, es un proceso de intemperismo acelerado, que pretende simular la situación que se presentará en el pavimento durante su vida útil como consecuencia de los factores climáticos. Algunos de estos procedimientos de laboratorio son:

- El método de inmersión a 60°C durante 24 horas.
- El método de Lottman y Lottman Modificado, que introducen el requerimiento de saturación entre 60 y 80 % y un ciclo de congelamiento a -18°C.
- El procedimiento de la Rueda de Hamburgo, que consiste en sumergir el espécimen a 50°C (aunque éste pueda variar de 25°C a 70°C) y luego someterlo a un ciclo de cargas con una rueda metálica.

Para climas tropicales con altos niveles de precipitación, estos métodos deprediccion presentan importantes limitaciones como modelos que intentan simular las condiciones climáticas, excepto la Rueda de Hamburgo, que considera simultáneamente el efecto de las cargas repetidas con la pérdida de adhesividad. El primero (24 horas de inmersión a 60°C), resulta insuficiente como procedimiento acelerado de deterioro en el laboratorio, sobre todo cuando se trata de zonas muy lluviosas, y más aún si se analizan mezclas abiertas, y el segundo no guarda relación directa con las condiciones climáticas reales a que estará sometido el pavimento durante su vida útil, pues el nivel inferior de temperatura no corresponde con la realidad.

Ante esta situación se han ensayado dos modelos de intemperismo a escala de laboratorio, esto es: ciclos de inmersión-secado, que consiste en ciclos sucesivos donde la mezcla se sumerge en agua durante 8 horas, luego se seca en un horno a 110°C hasta completar las 24 horas. Por medio de este procedimiento se ensayaron especímenes a 10 y 25 ciclos, y los resultados no fueron satisfactorios, pues no se detectó suficiente consistencia en los valores obtenidos al fallar los especímenes. También se ha ensayado el procedimiento de inmersión a largo plazo, por cuanto permite predecir con mayor certeza el efecto del agua sobre las propiedades de la mezcla. Se aplicó este método de ensayo en pavimentos ya construidos y se encontró bastante consistencia entre los resultados de laboratorio y el comportamiento real de la mezcla en la carretera.

Este método de inmersión a largo plazo (curva de pérdida de resistencia hasta 240 horas), permite también analizar comparativamente la efectividad de diferentes aditivos, y selecciona con suficiente certeza el de mejor desempeño. Se han analizado en el laboratorio algunos aditivos, que en el corto plazo de inmersión (24 horas), muestran un comportamiento satisfactorio, sin embargo, ante el intemperismo a largo plazo, han mostrado ser deficientes.

Adicionalmente, este método de condicionamiento a largo plazo, permite evaluar de forma más confiable, el efecto de los vacíos en la durabilidad de la mezcla, pues es un método de laboratorio más sensible ante este parámetro (vacíos).

Modelos de Falla a Escala de Laboratorio:

Igual que existen diferentes procedimientos de intemperismo acelerado en el laboratorio, también se cuenta con diferentes modelos de falla, que miden el cambio en las propiedades mecánicas, antes y después, del proceso de intemperismo o condicionamiento.

Los modelos de falla más usuales, utilizando carga estática son: resistencia a compresión inconfinada, resistencia a tensión diametral y la estabilidad Marshall. No obstante, este último modelo de falla no es recomendable utilizarlo, debido a que por la forma de cargar el espécimen induce una distribución de esfuerzos internos que es poco sensible al fenómeno que se pretende detectar (pérdida de adhesividad agregado-ligante).

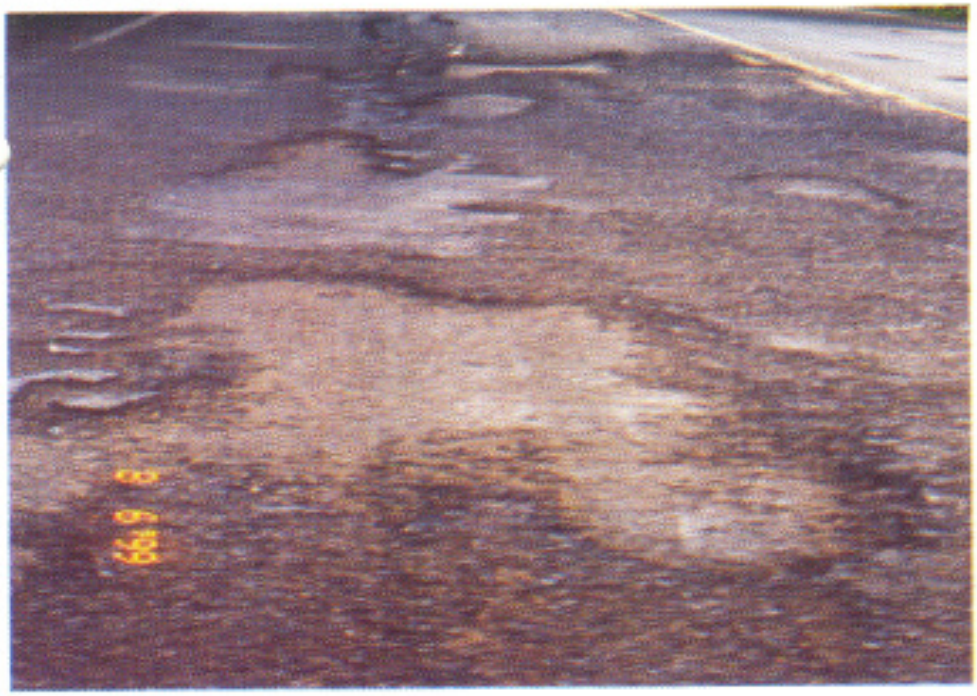
También existen los modelos que aplican solicitaciones dinámicas, siendo el de uso más generalizado, bajo esta modalidad de cargas repetidas, la Rueda de Hamburgo y la determinación del módulo resilente, antes y después, del intemperismo en laboratorio, aunque también se han sometido especimenes condicionados a falla por fatiga y a deformaciones permanentes. Los resultados obtenidos en estos análisis suministran importante información, para interpretar con mayor propiedad, el desempeño a largo plazo de los pavimentos (especialmente ante fallas prematuras por fatiga o deterioro superficial por desprendimiento de agregados) y para mejorar las estrategias de conservación.

Finalmente, las pistas de laboratorio, a escala reducida o a escala natural, también permiten monitorear el efecto del clima en el cambio de las propiedades mecánicas y reológicas de la mezcla.

Otros Métodos de Envejecimiento Acelerado:

Existen otros métodos de envejecimiento del asfalto, pero no determinan el efecto combinado agregado-ligante. Los ensayos típicos: son el de película delgada en horno convencional (AASHTO T-179), o en horno rotatorio vertical (AASHTO T-240), que simula el efecto del proceso de producción y colocación de la mezcla en las propiedades físico-mecánicas y reológicas del ligante asfáltico, antes y después del proceso de envejecimiento.

Existen también ensayos directos para determinar la adhesividad agregado-ligante, como por ejemplo el porcentaje de partículas totalmente recubiertas de asfalto. Si el resultado de esta prueba resulta negativo, es un claro indicativo de falta de adhesividad, caso contrario, no es criterio suficiente para garantizar un buen comportamiento de la mezcla en el largo plazo.



Factores que Afectan la Adhesividad Agregado-Ligante:

El primer aspecto para una buena adhesividad, lo determina la naturaleza mineralógica del agregado y los componentes polares del asfalto. No obstante, la afinidad por el agua de las partículas minerales, hace que se generen tensiones superficiales que tienden a desprender la película de asfalto que recubre el agregado, en este caso el polvo mineral (filler) de tipo hidrofílico, adherido a las partículas de mayor tamaño, puede propiciar una alta sensibilidad de la mezcla ante la presencia del agua.

Además de las características constitutivas del agregado, del polvo mineral y del asfalto, el fenómeno de adhesividad se ve afectado por factores exógenos como: el contenido de vacíos de la mezcla, el espesor de la película del ligante (dependiente éste del tipo de ligante y de la temperatura de mezclado), la susceptibilidad del asfalto al envejecimiento y por las condiciones climáticas, especialmente la lluvia y los rayos solares.

Manifestaciones de Deterioro en Pavimentos Construidos con Mezclas Sensibles al Clima:

Cuando una mezcla presenta problemas de resistencia al intemperismo, prematuramente se manifiestan deterioros típicos en el pavimento especialmente:

•Micro-fisuración prematura. Esta forma de deterioro se puede presentar durante el primer invierno, y tiende a avanzar hacia la formación de

agrietamiento más severo, que da origen a la formación de baches. Cuanto mayores son los vacios de la mezcla, con mayor severidad se presenta este fenómeno.

•Desprendimiento de partículas. En mezclas con desempeño deficiente ante el efecto del agua, se aprecia un evidente fenómeno de desprendimiento superficial de partículas. Algunas veces este desprendimiento se inicia en la fracción fina, consecuencia de la hidrofilia del relleno mineral o de la propia fracción fina. Cuando la mezcla es susceptible al agua, se puede observar un mayor desprendimiento de partículas en aquellos puntos de la carretera donde hay árboles grandes, debido a que estos mantienen más humedad en el pavimento, efecto del goteo después de la lluvia y de la sombra que proyectan. Si no se les da un tratamiento preventivo, estas mezclas manifiestan un deterioro acelerado al poco tiempo de haber sido colocadas.

•Incremento de las deformaciones permanentes asociadas con la pérdida de adhesividad. Este fenómeno se aprecia claramente en el laboratorio, en el ensayo de la Rueda de Hamburgo (Wheel-Tracking Device).

Estas manifestaciones de deterioro, consecuencia de la susceptibilidad al agua de la mezcla, se explica en virtud de que ésta experimenta cambios en sus propiedades mecánicas, que se pueden detectar por medio de los ensayos "antes-después" del condicionamiento, al evaluar parámetros como los siguientes: resistencia a compresión, resistencia a tensión, módulo dinámico, capacidad a fatiga y deformación permanente.

Resultados Experimentales:

En un estudio realizado por S. Shatnawi en el Departamento de Transportes de California (Ref. 1), se ensayaron varios tipos de mezclas, condicionadas en el laboratorio según el método AASHTO T-283, utilizando las siguientes variables experimentales:

•Cuatro tipos de agregado.
•Tres contenidos de asfalto (óptimo y óptimo±0.5).
•Dos diferentes contenidos de cal hidratada.
•Dos tipos de mezcla con caucho, abiertas y densas.
•Diferentes contenidos de vacios.

Los especimenes se fallaron a tensión diametral (carga estática) y también se ensayaron a fatiga, en viga con deformación controlada (método AASHTO A-003).

Se condicionaron de la siguiente forma (AASHTO T-283):

•A temperatura ambiente durante 72 a 96 horas.
•Saturación parcial al vacio de 60 a 80 %.
•Congelamiento por 16 horas a 18°C (0°F).
•Sumergidos a 60°C por 24 horas.
•Sumergidos a 25°C, 2 horas antes de ser ensayados.

Las vigas para el ensayo de fatiga se condicionaron de la siguiente forma:

•Saturación parcial al vacio de 60 a 80%.
•Tres ciclos que consiste cada uno en: sumergir 5 horas a 60°C, 4 horas a 25°C (sumergido) y finalmente un ciclo de 5 horas a 18°C.

En la tabla No. 1 se presentan los resultados más importantes obtenidos en el ensayo a tensión diametral.

En síntesis se observa lo siguiente:

Agregado Tipo 1:

•El porcentaje de esfuerzo remanente aumenta con el contenido de asfalto, independientemente de la cantidad de vacíos.
•Al disminuir los vacíos, prácticamente no varia el porcentaje de esfuerzo residual.
•La magnitud del esfuerzo residual aumenta significativamente al disminuir los vacíos.
•El máximo esfuerzo residual se obtiene en el óptimo de asfalto, para ambos contenidos de vacíos.

Agregado tipo 2:

•Respecto al cambio en el contenido de vacíos y el porcentaje de asfalto se aprecia el mismo comportamiento observado en el agregado tipo 1.
•La incorporación del caucho no mejoró las propiedades de adhesividad.
•La incorporación de cal produce un incremento significativo en los esfuerzos remanentes, especialmente para los contenidos bajos de vacíos, donde se midió un aumento de resistencia a tensión de hasta más del 250%, al comparar con el porcentaje óptimo de asfalto.

Tabla No 1. Esfuerzo remanente de tensión en función de los vacios y del contenido de asfalto.

Tipo agregado	% asfalto	% Vacios	% T.D.R.(1)	Esfuerzo de tensión (condicionado) (kg/cm²)	Razón de esfuerzos remanentes
Tipo 1	Op - 0.5	12.88	67	5.3	1.0
	Optimo	10.99	81	10.8	2.04
	Op + 0.5	9.78	83	7.7	1.45
	Op - 0.5	7.61	63	11.3	2.15
	Optimo	8.12	86	15	2.83
	Op + 0.5	7.35	85	10.9	2.06
Tipo 2	Op - 0.5	9.38	43	6.29	1.0
	Optimo	11.44	54	5.2	0.84
	Op + 0.5	12.79	55	7.1	1.15
Tipo 2 con 1.5% cal	Op - 0.5	12.79	83	7.1	1.15
	Optimo	11.33	99	8.5	1.37
	Op + 0.5	10.88	91	9.7	1.56
Tipo 2 con 2% cal	Op - 0.5	12.71	79	6	0.97
	Optimo	10.03	104	9	1.45
	Op + 0.5	9.44	93	8.4	1.35
Tipo 2	Op - 0.5	8.0	47	9.7	1.56
	Optimo	9.77	54	5.8	0.94
	Op + 0.5	8.08	56	7.5	1.21
Tipo 2 con 1.5% cal	Op - 0.5	8.7	86	13.9	2.24
	Optimo	6.98	101	15.5	2.50
	Op + 0.5	7.80	94	13	2.10
2% cal	Op - 0.5	6.92	98	16.6	2.68
	Optimo	9.43	104	11.3	1.82
	Op + 0.5	7.92	92	10.2	1.65
Tipo 2 Graduación densa	Optimo	0.83	54	5.2	0.84
Tipo 2 Con caucho	Optimo	7.30	60	6.7	1.08
Tipo 2 Con caucho	Optimo	6.33	48	4	0.65

Fuente: Referencia (1)

(1): Tensión diametral retenida

Ensayo de fatiga con deformación controlada

En la Tabla No 2 se encuentran los resultados del ensayo a fatiga con deformación controlada. Se realiza el ensayo con dos niveles de deformación unitaria, se determina la rigidez y el número de ciclos de carga, para especímenes moldeados al 95% de compactación.

Tabla No 2. Capacidad a fatiga y rigidez de mezclas condicionadas.

Tipo agregado	% asfalto	Condicionada	N° ciclos	Razón de fatiga	Deformación (μ- strain)	Rigidez (kg/cm²)	Razón de Rigidez
2	Op - 0.5	No	162850	1.48	200	49.2	0.89
	Op - 0.5	Si	30620	0.28	200	26.79	0.48
	Op - 0.5	No	16600	0.15	300	42.67	0.77
	Op - 0.5	Si	5100	0.05	300	11.42	0.21
	Optimo	No	110040	1.00	200	55.54	1.00
	Optimo	Si	77420	0.70	200	27.34	0.49
	Optimo	No	21850	0.20	300	56.1	1.01
	Optimo	Si	6190	0.06	300	41.2	0.74
Tipo 2 con 1.5 de cal	Op - 0.5	No	239440	2.18	200	70.13	1.26
	Op - 0.5	Si	721640	6.56	200	71.08	1.28
	Op - 0.5	No	58880	0.54	300	68.85	1.24
	Op - 0.5	Si	182580	1.66	300	64.11	1.15
3	Optimo	No	69290	0.37	200	41.84	0.62
	Optimo	Si	14210	0.07	200	30.13	0.44
	Optimo	No	8540	0.05	300	31.93	0.47
	Optimo	Si	3240	0.02	300	27.74	0.41
	Op - 0.5	No	189480	1.00	200	67.92	1.00
	Op - 0.5	Si	54620	0.29	200	57.21	0.84
	Op - 0.5	No	23660	0.12	300	63.98	0.94
	Op - 0.5	Si	8290	0.04	300	53.08	0.78

Fuente: Referencia (1)

Puede observarse que el agua afecta directamente la adhesividad del ligante con las partículas, pero también inside en otros parámetros de calidad muy importantes para el pavimento, como son la capacidad a fatiga y el módulo de rigidez.

Es muy notoria la diferencia del número de ciclos, especialmente afectada por tres factores: disminución del contenido de asfalto, el efecto de condicionamiento y la magnitud de la deformación unitaria.

Especímenes deteriorados al someterlos a un proceso de inmersión de largo plazo (mezcla susceptible al efecto del agua)

Referencias:

-Shatnawi, Shakir. Moisure Sesitivity Evaluation of Binder-Aggregate Mixtures. California Department of Transportation. 1997.

-Brown, Stephen f. Achievements and Challenges in Asphalt Pavement Engineering. University of Maryland. 1997.

-Senn, Kevin. Development of Performance Prediction Models for Dry-No Freeze and Dry-Freeze Zones. Nichols Consulting Engineers, Reno, USA. 1997.

-Solis C., Daniel. Uso de Relleno Mineral Calizo en Mezclas Asfálticas. Proyecto de Tésis. Universidad de Costa Rica. 1997.

-Fritz J., Jooste. Comparison of Accelerated Pavement Test Results With Long Term Pavement Behaviour and Performance. Department of Public Transportation and Roads South Africa. 1998.

-Francken, Louis. Recent Activities of RILEM TC 152-PBM "Performance of Bituminous Materials". Centre de Rechenches Routiers. Belgium. 1997.

-Aschenbrener, Tim. Evaluation of Hamburg Wheel - Tracking Device to Predict Moinsture Damage in Hot Mix Asphalt. Colorado Department of Transportation. 1997.

-Witczar, M. W. Superpave Support and Performance Models Management: Evaluation of the SHRP Performance Models System. University of Maryland, 1997.

-Heikkjamasa, H. S. Development of Deterioration Models for Cold Climate Using Long-Term Pavement Field Data. Technical Research Centre of Finlgnd. 1997.