

CARACTERIZACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

Ing. José Pablo Aguiar Moya, Ph.D.

Unidad de Materiales y Pavimentos, PITRA, LanammeUCR

Correo electrónico: jose.aguiar@ucr.ac.cr

Por la ubicación geográfica que presenta Costa Rica, el país está sujeto a uno de los más altos niveles de precipitación a nivel mundial. Por tanto, como es de esperarse, el daño por humedad es la modalidad de deterioro que afecta principalmente los pavimentos nacionales. Sin embargo, y a pesar de la gran importancia de este fenómeno, pocos estudios se han realizado para realmente verificar la afinidad de los agregados que se utilizan en la construcción de carreteras con el asfalto que se importa al país.

El daño por humedad está muy relacionado con el enlace por cohesión, que involucra la fuerza de cohesión del asfalto y con el enlace por adhesión, que más bien tiene que ver con la fuerza de interacción entre el agregado y el asfalto (Cheng, 2002). No obstante, dentro de las metodologías de diseño más utilizadas actualmente, estas propiedades no son algo que se consideren al nivel de detalle que realmente se requiere. Es por esta razón que a nivel mundial se está dando una fuerte tendencia por estudiar y entender todos los fenómenos que están involucrados en este tipo de interacción.

¿Pero cómo se origina el daño por humedad? Existen varios estudios que señalan varias razones como las fuentes del fenómeno que se da entre el interface del mástico y la superficie del agregado (falla por adhesión) y en la estructura interna del mástico (falla por cohesión). En general, se tiene que el tipo de falla que puede ocurrir depende principalmente en las propiedades del mismo material. Sin embargo, hay varios factores adicionales al mástico que también afectan la susceptibilidad de la mezcla asfáltica como lo son la adición de un modificante al asfalto y el uso de antistrip líquido o cal hidratada (Howson et al., 2007). También se ha observado

que un incremento en el pH del agua presente en la interface entre el asfalto y el agregado tiene un efecto importante en el debilitamiento del enlace por adhesión entre los dos materiales (Scott, 1982).

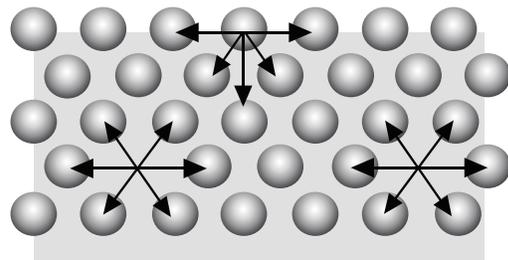
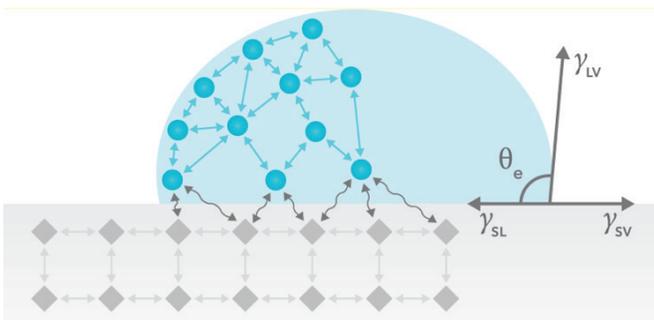
Una revisión bibliográfica por Tarrer y Wagh (1991) indicó que al menos 6 mecanismos de falla diferentes pueden ser asociados con el daño por humedad y los desprendimientos de agregado, los cuales pueden ocurrir individual o simultáneamente. Estos mecanismos son: separación, desplazamiento, emulsificación espontánea, presión de poro, socavación hidráulica y efectos ambientales.

La separación se distingue del desplazamiento en que el agua penetra a la superficie del agregado a causa de una discontinuidad en la película de asfalto que recubre el agregado, la cual puede ser el resultado de un recubrimiento inadecuado o de una ruptura en la película asfáltica. La emulsificación espontánea sucede cuando el agua y el asfalto se combinan para formar una emulsión, un fenómeno que se amplifica con la presencia de emulsificantes como arcillas minerales y algunos aditivos para asfalto. La presión de poro también puede generar daño por humedad en mezclas asfálticas con altos contenidos de vacíos, como lo es el caso de mezclas abiertas en las que el agua puede circular entre los poros interconectados. El problema es aún más complejo cuando existe agua atrapada en los poros no permeables. Por último, la socavación hidráulica ocurre únicamente en la superficie del pavimento y es resultado del efecto de las llantas de los vehículos en pavimentos mojados, sobre los cuales generan altas presiones delante de la llanta y succión detrás de la misma (Fromm, 1974; Scott, 1982).

Figura 1. Daño por humedad en vías nacionales.



Figura 2. Componentes de tensión superficial libre.



Sin embargo, todos los mecanismos anteriores son el resultado de que la energía superficial libre del agua es inferior a la del asfalto, lo que significa que el agua presenta mayor humectabilidad (habilidad de un líquido para mantener contacto con una superficie sólida) del agregado (Majidzadra et al., 1968).

La energía superficial libre es una propiedad físico-química que corresponde a la energía necesaria para crear una nueva unidad de área superficial en un material, bajo condiciones de vacío. Esta es una propiedad fundamental de cada material y afecta las características superficiales y las interacciones entre fases con otros materiales como lo son la adsorción, humectabilidad, adhesión entre otras. Por tanto, cambios termodinámicos en la energía libre superficial de adhesión y cohesión están relacionados con la posible separación entre las fases de agregado y asfalto, o con grietas que pueden ocurrir en el mástico. De la misma forma, estos cambios están directamente relacionados con el "healing" de fracturas entre las superficies del asfalto y el agregado o dentro de la estructura del mástico (Cheng, 2002)

Ensayos para Medición del Daño por Humedad

A la fecha existe gran cantidad de métodos para caracterizar la susceptibilidad al daño por humedad en mezclas asfálticas. La mayoría de estos ensayos tienden a ser empíricos y buscan evaluar que tan resistente es una mezcla asfáltica a la humedad, sin realizar ninguna distinción entre los distintos mecanismos de falla que fueron anteriormente mencionados. Algunos ejemplos de ensayos que han sido implementados en las especificaciones a nivel mundial son: el ensayo de ebullición (ASTM D 3625), el ensayo de ebullición de Texas (Tex-530-C), ensayo estático de inmersión (AASHTO T 182), ensayo Lottman, Lottman modificado (AASHTO T283), ensayo de acondicionamiento de Tunnicliff y Root (Tunnicliff y Root, 1984), inmersión-compresión (AASHTO T 165), desnudamiento de película (California Test 302), método ultrasónico (Vuorinen et al., 1999), Rueda de Hamburgo (AASHTO T 324) y los ensayos de desempeño Superpave (creep estático, deformación permanente a carga repetida y módulo dinámico) con sistema de acondicionamiento ambiental.

Adicional a los ensayos empíricos o de desempeño anteriores, también existen ensayos basados en propiedades termodinámicas para cuantificar la afinidad del agregado al asfalto o viceversa. Este tipo de análisis evalúan las propiedades micro-mecánicas asociadas con fallas por adhesión o cohesión y requieren de mediciones de la energía superficial libre o algún otro indicador de la misma.

La energía superficial libre puede ser clasificada con base en el origen de las fuerzas intermoleculares que la generan en: + (monopolar ácido), - (monopolar básico) y LW (apolar ó Lifshitz-van der Waals) (Hansen, 2004; Hunter et al., 2001; Solaimanian et al., 2007). La energía superficial libre total es una combinación de estos componentes y puede ser utilizada

Figura 3. AASHTO T 283



Figura 4. AASHTO T 324



Figura 5. Equipo PATTI.



Figura 6. Falla por (a) cohesión y (b) adhesión.

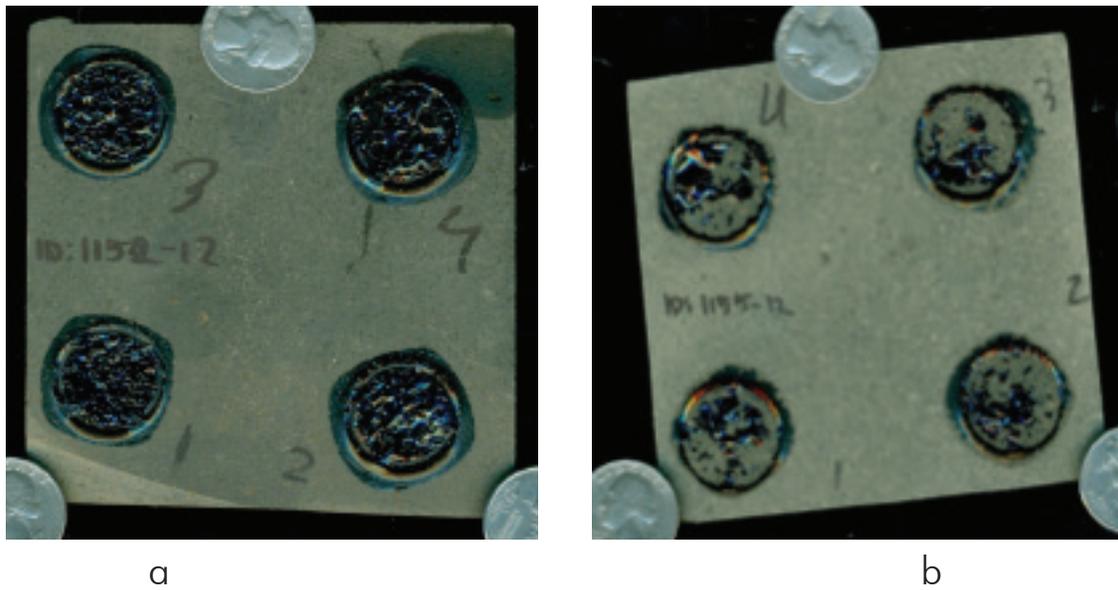
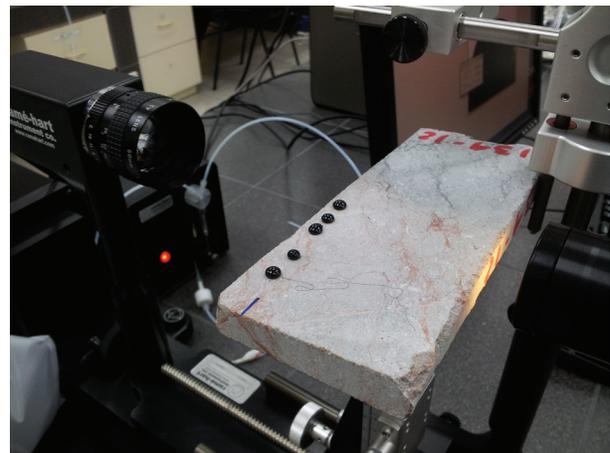
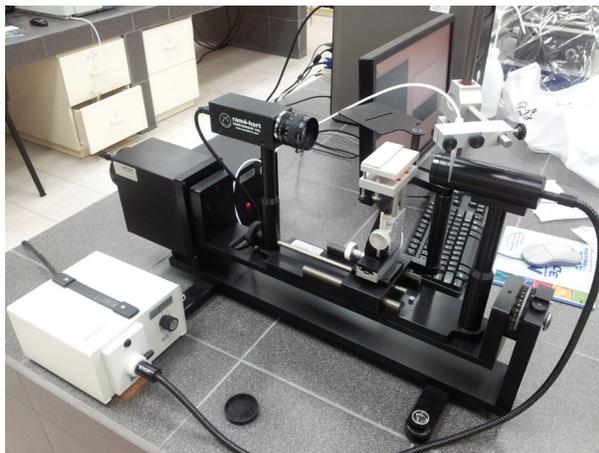


Figura 7. Goniómetro/Tensiómetro. Fuente: Lanotec, CeNAT.



para calcular el trabajo de adhesión si los componentes para el agregado y el asfalto son conocidos. Este tipo de análisis generalmente involucra el uso de un Equipo de Absorción y Adsorción Universal (USD por sus siglas en inglés) para la medición de la energía superficial libre en el agregado y el método del Plato Wilhelmy o el método de la Gota Sésil (Sessile Drop) para la estimación de la energía libre superficial en el asfalto. No obstante, equipos como el USD no son comercializados y requieren el desarrollo del mismo dentro del laboratorio interesado en medir estas propiedades.

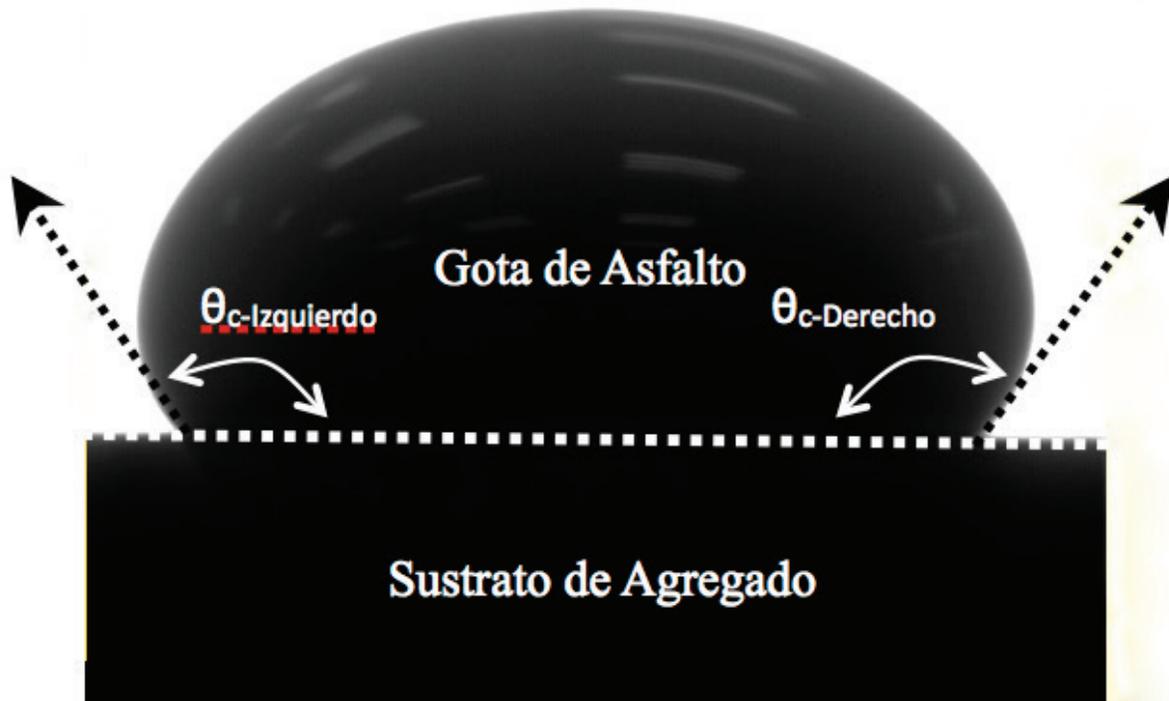
Investigación Actual en LanammeUCR

Dada la importancia y el costo asociado al daño por humedad que sufren los pavimentos nacionales, el LanammeUCR está desarrollando un proyecto de investigación que busca calibrar

el ensayo AASHTO T 283 a la realidad nacional. Esto puesto que se ha identificado que dicho ensayo, en la modalidad en que se realiza actualmente, no es capaz de discriminar adecuadamente entre mezclas asfálticas que son susceptibles al daño por humedad y mezclas que no lo son. El esquema experimental del proyecto involucra el análisis de distintas fuentes de agregado y uso de aditivos modificantes, antistrip líquido o cal. El ensayo se realizará sometiendo las mezclas a distintos ciclos de congelamiento-descongelamiento para acelerar el proceso de deterioro causado por la humedad. Lo anterior será complementado con la evaluación de desempeño de las mezclas mediante los ensayos de Superpave y mediante análisis de fatiga.

Simultáneamente también se realizarán mediciones con el equipo neumático para evaluación de adhesión a tensión (PATTI

Figura 8. Ángulo de contacto.



por sus siglas en inglés), el cual fue recientemente adaptado a mezclas asfálticas en la Universidad de Wisconsin–Madison. El ensayo permite identificar si el tipo de falla que ocurre entre una muestra de agregado y una de asfalto es debido a la adhesión entre las fases o más bien a la fuerza de cohesión o durabilidad del asfalto y la estructura del mástico. Se ha observado que el ensayo es capaz de distinguir diferencias en dichas propiedades cuando se usan aditivos modificantes.

Por su parte, para caracterizar la humectabilidad de la superficie del agregado por el asfalto, se están realizando mediciones del ángulo de contacto (θ_c). Este ensayo permite cuantificar que tan fuerte es la interacción de las moléculas del asfalto con las del agregado, relativo a las interacciones internas de cada material. El ángulo de contacto entre la interface sólido/líquido y el interface sólido/vapor es medido mediante goniometría.

El goniómetro utiliza una cámara de alta resolución y software para capturar y analizar dicho ángulo. Ángulos pequeños indican afinidad entre los materiales mientras que ángulos de alta magnitud indican incompatibilidad. El equipo también funciona como tensiómetro, por lo que permitirá a futuro la estimación de la energía superficial libre del asfalto.

En resumen, con todos los ensayos anteriormente mencionados, y otras tecnologías que están por implementarse (medición de energía superficial libre), se espera poder generar una especificación de resistencia al daño por humedad que esté debidamente calibrada para las condiciones climáticas y tipos de material que se utilizan en la construcción de pavimentos con mezcla asfáltica en Costa Rica. Esto con la finalidad de asegurar la calidad y durabilidad de las mezclas asfálticas nacionales.

Referencias

Cheng, D. Surface Free Energy of Asphalt-Aggregate System and Performance Analysis of Asphalt Concrete Based on Surface Free Energy. Ph.D. Dissertation. 2002.

Fromm, H.J. The Mechanisms of Asphalt Stripping from Aggregate Surfaces, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 43, 1974, pág. 191-223.

Hansen, F. K. The Measurement of surface energy of polymer by means of contact angles of liquids on solid surfaces. A short overview of frequently used methods. Oslo, 2004.

Howson, J., Masad, E. A., Bhasin, A., Castelo, V., Arambula, E., Lytton, R, Little, D. System for the Evaluation of Moisture Damage Using Fundamental Material Properties. Reporte FHWA/TX-07/0-4524-1. Texas, 2007.

Hunter, E. R., Ksaibati, K. Evaluating Moisture Susceptibility of Asphalt Mixes. Reporte MPC02-138. Wyoming, 2001.

Majidzadra, K., Brovold, F.N. State of the Art: Effect of Water on Bitumen-Aggregate Mixtures. Highway Research Board Special Rept. 98. Washington, D.C., 1968.

Scott, J. A. N. Adhesion and Disbonding Mechanisms of Asphalt Used in Highway Construction and Maintenance. Actas de la Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 47, pág. 19-24 Minnesota, 1982.

Solaimanian, M., Bonaquist, R. F., Tandon, V. Improved Conditioning and Testing Procedures for HMA Moisture Susceptibility. Reporte NCHRP 589. Washington, D.C., 2007.

Tarrer, A. R., Wagh, V. The Effect of the Physical and Chemical Characteristics of the Aggregate on Bonding. Reporte SHRP-A/UIR-91-507. Washington, D.C., 1991.

Tunncliff, D., Root, R. Use of Antistripping Additives in Asphaltic Concrete Mixtures. Reporte NCHRP No. 274. Washington, D.C., 1984.

Vuorinen, M.J. Valtonen, J.P. A new ultrasound method for measuring the resistance to stripping. Taller Eurobitume 99: performance related properties for bituminous binders. European Bitumen Association. Luxemburgo, 1999.

Programa de Infraestructura del Transporte - PITRA

Ing. Luis Guillermo Loría, PhD.
Coordinador General

Ing. Fabián Elizondo
Subcoordinador

Unidades

Unidad de Auditoría Técnica

Ing. Wendy Sequeira, MScE.
Coordinadora

Unidad de Materiales y Pavimentos

Ing. José Pablo Aguiar, PhD.
Coordinador

Unidad de Evaluación de la Red Vial

Ing. Roy Barrantes
Coordinador

Unidad de Gestión Municipal

Ing. Jaime Allen, MSc.
Coordinador

Unidad de Desarrollo y Actualización de Especificaciones Técnicas

Ing. Raquel Arriola
Coordinadora

Unidad de Puentes

Ing. Roy Barrantes
Coordinador

Unidad de Seguridad Vial y Transporte

Ing. Diana Jiménez, MSc., MBA
Coordinadora