



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

REPORTE: LM-PI-UMP-038-R3

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE ADHESIÓN ASFALTO - AGREGADO EN COSTA RICA

Preparado por:

Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica

Diciembre, 2017

Documento generado con base en el Art. 6, inciso g) de la Ley 8114 y lo señalado en el Cap. IV, Art. 66 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

Preparado por: Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-
LanammeUCR jose.aguiar@ucr.ac.cr




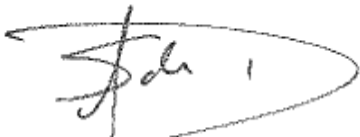



| | | |
|--|---|--|
| 1. Informe LM-PI-UMP-038-R3 | | 2. Copia No. 1 |
| 3. Título y subtítulo: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE ADHESIÓN ASFALTO - AGREGADO EN COSTA RICA | | 4. Fecha del Informe DICIEMBRE, 2017 |
| 7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440 | | |
| 8. Notas complementarias | | |
| 9. Resumen <i>El daño por humedad es uno de los tipos de falla más severas en las mezclas asfálticas, y comúnmente se relaciona con un detrimento en los enlaces adhesivos y cohesivos. En consecuencia, se han utilizado varios parámetros que tienen en cuenta las características adhesivas y cohesivas de asfaltos y agregados para seleccionar combinaciones de materiales resistentes a la humedad. Típicamente, dichos parámetros están relacionados con la extracción, y son útiles para caracterizar el potencial de extracción de un par determinado de aglutinante-agregado. Sin embargo, dado que el daño inducido por la humedad es un proceso complejo que va más allá del desmonte, en este estudio se ha propuesto otro parámetro fisicoquímico relacionado con la compatibilidad de los materiales del pavimento con el agua. Se encontró que la compatibilidad del agregado y aglutinante con el agua se relaciona adecuadamente con el rendimiento mecánico de la mezcla de asfalto resultante sometida a niveles severos de humedad. Por lo tanto, el parámetro propuesto ayuda a obtener una perspectiva más integral del fenómeno de daños por humedad y permite evaluar la propensión con la que una mezcla de asfalto puede colapsar en presencia de agua.</i> | | |
| 10. Palabras clave Adhesión, Cohesión, Energía Superficial, Desempeño | 11. Nivel de seguridad: Ninguno | 12. Núm. de páginas 17 |
| 13. Preparado por: | | |
| Quim. Alejandra Baldi Sevilla M.Sc Investigadora UMP  Fecha: 14/12/17 | Quim. Jorge Salazar Delgado Investigador UMP  Fecha: 14/12/17 | Ing. Ellen Rodríguez Castro Investigadora UMP Jefa Laboratorio Ligantes Asfálticos  Fecha: 14/12/17 |
| 14. Revisado por: Ing. José Pablo Aguiar Moya, Ph.D. Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 14/12/17 | | 15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loria Salazar, Ph.D. Coordinador General PITRA  Fecha: 14/12/17 |



TABLA DE CONTENIDOS

| | pág. |
|--|------|
| Índice de Figuras _____ | 4 |
| Índice de Tablas _____ | 5 |
| 1. Resumen ejecutivo _____ | 6 |
| 2. Metodología _____ | 7 |
| 2.1. Diseños de mezcla y modificación de carpeta _____ | 7 |
| 2.2. Ensayo de módulo dinámico _____ | 8 |
| 2.3. Mediciones de energía superficial _____ | 8 |
| 3. Resultados y discusión _____ | 9 |
| 4. Conclusiones _____ | 13 |
| 5. Referencias _____ | 14 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | pág. |
|---|------|
| Figura 1. Correlación entre los indicadores mecánicos y fisicoquímicos de la susceptibilidad al daño por humedad de las mezclas asfálticas _____ | 11 |
| Figura 2. Correlación entre el rendimiento mecánico de daños por humedad de las mezclas asfálticas y la compatibilidad del asfalto con el agua _____ | 13 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Propiedades volumétricas de las mezclas _____ | 8 |
| Tabla 2. Energía superficial de asfaltos y agregados _____ | 9 |
| Tabla 3. Resultados de E*R y ER _____ | 10 |
| Tabla 4. Compatibilidad del agua con el asfalto y el agregado _____ | 12 |



1. Resumen ejecutivo

El daño por humedad es un proceso indeseable que resulta en la pérdida de propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica. Por lo tanto, la aproximación de la resistencia a la humedad de los materiales del pavimento se ha convertido en un tema de investigación importante (Taylor y Khosla, 1983; Kiggundu y Roberts, 1988; Terrel y Shute, 1989; Little y Jones, 2002). Como consecuencia, se han desarrollado una gran cantidad de pruebas para evaluar el comportamiento de daño por humedad de una mezcla de asfalto. Desafortunadamente, la mayoría de las pruebas de laboratorio no muestran una buena correlación con el rendimiento en el campo de las mezclas de asfalto. Grenfell (2014) atribuyó estas inconsistencias al hecho de que las pruebas relacionan el daño por humedad a las propiedades mecánicas del asfalto, ignorando la contribución de las propiedades fisicoquímicas de los materiales individuales a la durabilidad de la mezcla. Con base en esta afirmación, se destaca la necesidad de tener una perspectiva integral del daño por humedad para evaluar la susceptibilidad de los pavimentos a ser deteriorados por el agua.

En este sentido, es necesario considerar que hay muchos factores involucrados en la falla de una mezcla asfáltica expuesta a la humedad, como las propiedades físicas y químicas de los materiales (Majidzadeh y Bemolold, 1968), las condiciones ambientales, las características del pavimento como el contenido de vacíos (Terrel y Shute, 1989; Masad, Arambula, Ketcham, Abbas y Martin, 2007) contenido de asfalto (Hicks, 1991), contenido agregado fino (Cheng, Little, Lytton y Horst, 2003), carga de tráfico, permeabilidad (Choubane, Page y Musselman, 1998), entre otros. Dada la complejidad del daño por humedad, Kakar y sus colaboradores (Kakar, Hamzah y Valentin, 2015) reflexionaron sobre la inconveniencia de desarrollar una prueba de laboratorio que considere todos los factores involucrados en dicho proceso, sin embargo, al aplicar medidas y parámetros más precisos es posible para mejorar la correlación entre los resultados de las pruebas de laboratorio y el comportamiento en el campo de las mezclas expuestas al agua.

En este estudio, las propiedades químicas de los materiales se consideran clave para describir la susceptibilidad del pavimento ante el daño por humedad. Específicamente, se ha elegido la energía superficial para evaluar la resistencia a la humedad de los aglutinantes y agregados mediante parámetros físico-químicos tales como adherencia (W_{AB}), el potencial de desnudamiento (W_{wet}) y relación de energía (ER) (Little y Bhasin, 2006). Sin embargo, tales los parámetros describen el comportamiento termodinámico de la interfaz asfalto-agregado sometida a agua y, por lo tanto, es necesario evaluar si sirven como buenos indicadores de la respuesta global del pavimento en



condiciones húmedas. Además, se reconoce la necesidad de un parámetro más integral que describa las interacciones entre el agua y los materiales del pavimento que podrían servir para predecir su susceptibilidad al daño por la humedad.

Por lo tanto, en el presente informe se muestran los resultados de evaluar la viabilidad de ER para predecir la susceptibilidad al agua en mezclas de asfalto. Para lograr este objetivo, los valores de ER para varias combinaciones de asfalto-agregado se relacionaron con el comportamiento mecánico de las mezclas de asfalto correspondientes sometidas a humedad. Además, se proponen nuevos parámetros fisicoquímicos para evaluar el potencial de daño por humedad de las mezclas de asfalto que pueden correlacionarse con su rendimiento en el campo.

2. Metodología

2.1. Diseños de mezcla y modificación de carpeta

El asfalto se modificó con 2% de SBS; 1% de cal; 2% de SBS + 1% de cal; 0.5% de antidesnudante líquido (LAS), por separado. Los porcentajes se expresan en peso de asfalto, a excepción del asfalto modificado con cal, cuyo peso de cal se expresa en peso de agregado seco. Los aditivos se incorporaron con un agitador de cortante a una temperatura que variaba entre 154-177°C (dependiendo del aditivo) hasta alcanzar homogeneidad.

Se diseñaron y produjeron 11 mezclas en el laboratorio utilizando dos fuentes de agregado (gravas) y los asfaltos anteriores. Las mezclas producidas con asfalto sin modificar se mantuvieron como control. Las mezclas producidas fueron con un tamaño máximo nominal de agregado (NMAS) de 9.5 mm y 12.5 mm. Las propiedades volumétricas de las mezclas se muestran en la Tabla 1.



Tabla 1. Propiedades volumétricas de las mezclas

| Fuente de agregado | Mezcla | % Contenido de asfalto | % Vacíos en el agregado | % Vacíos de aire | %Vacíos llenos de asfalto | Razón polvo/asfalto |
|--------------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 1 (9.5NMAS) | Control | 6.5 | 15.5 | 4.0 | 73.7 | 1.0 |
| | 2% SBS | 6.5 | 15.8 | 4.1 | 74.3 | 1.0 |
| | 1% Cal | 6.7 | 16.3 | 4.2 | 74.4 | 0.9 |
| | 0.5% LAS | 6.5 | 15.9 | 4.0 | 72.7 | 1.0 |
| 1 (12.5NMAS) | Control | 7.0 | 15.8 | 4.0 | 74.5 | 1.1 |
| | 2% SBS | 6.5 | 15.1 | 4.0 | 73.3 | 1.2 |
| | 2%SBS+1%Cal | 6.3 | 14.3 | 4.0 | 72.0 | 1.3 |
| | 0.5% LAS | 6.5 | 14.7 | 4.0 | 72.7 | 1.2 |
| 2 (9.5NMAS) | Control | 6.6 | 15.6 | 4.0 | 74.5 | 1.1 |
| | 1% Cal | 6.5 | 15.6 | 4.0 | 74.4 | 1.1 |
| | 0.5% LAS | 6.4 | 15.2 | 4.0 | 73.8 | 1.1 |

2.2. Ensayo de módulo dinámico

La susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas se probó de acuerdo con AASHTO TP79 (2012). El procedimiento permite la estimación del módulo dinámico (E^*) de muestras acondicionadas y no acondicionadas. La razón entre los módulos de las muestras acondicionadas y no acondicionadas, denotado como E^*R (Ecuación 1), se usa como indicador de la susceptibilidad a la humedad de las muestras. Se consideró que los valores de E^*R de 0.8 o más son indicadores de mezclas que son más resistentes al daño inducido por la humedad.

$$E^*R = E^*(\text{acondicionado}) / E^*(\text{seco}) \quad \text{Ec. 1}$$

El acondicionamiento de las muestras consistió en someter las mezclas a un ciclo de congelación/descongelación. Durante el acondicionamiento por congelación, las muestras saturadas al vacío se mantuvieron a -18°C durante 16 horas, y para el acondicionamiento en descongelación, las muestras se mantuvieron a 60°C durante 24 horas en un baño de agua (AASHTO T 283, 2014). El acondicionamiento se aplicó para obtener una simulación más adecuada de las severas condiciones de humedad a las que se somete el pavimento durante su vida útil (Vargas-Nordbeck, Leiva-Villacorta, Aguiar-Moya y Loria-Salazar, 2016).

2.3. Mediciones de energía superficial

La medición de la energía superficial de asfaltos y agregados requiere una superficie sólida del material. En el caso del asfalto, la superficie sólida se preparó vertiendo una cantidad fija de asfalto sobre un portaobjetos de vidrio y luego calentando hasta homogeneidad. En cuanto a los agregados, las



gravas de río no trituradas fueron cortadas, pulidas, lavadas con agua destilada y secadas en un horno durante al menos 2 horas. Las muestras de asfaltos y agregados se dejaron alcanzar 20°C en un desecador antes de la prueba. Las mediciones se realizaron con un goniómetro a una temperatura ambiente de 20°C y consistieron en colocar una gota de disolvente sobre la superficie sólida de interés. El ángulo de contacto formado entre el sólido y el disolvente está relacionado con la energía de la superficie mediante la ecuación 2 (Little y Bein, 2006; Aguiar-Moya, Salazar-Delgado, Baldi-Sevilla, Leiva-Villacorta y Loria-Salazar, 2015).

$$\gamma_L (\cos\theta_{LS}) = 2 (\gamma_S^{LW} \gamma_L^{LW})^{1/2} + 2 (\gamma_S^+ \gamma_L^-)^{1/2} + 2 (\gamma_S^- \gamma_L^+)^{1/2} \quad \text{Ec. 2}$$

donde θ es el ángulo de contacto medido y los subíndices S y L se refieren a sólido y líquido, respectivamente.

La estimación de los componentes de energía de superficie de asfaltos y agregados requiere un mínimo de tres líquidos de sonda para calcular un conjunto de ecuaciones lineales (Hefer, Bhasin y Little, 2006). Es importante resaltar que los componentes de energía superficial de los líquidos de la sonda se administran a 20°C (Della Volpe y Siboni, 1997), por lo tanto, las mediciones se deben realizar a esta temperatura para evitar la obtención de datos erróneos. Los resultados obtenidos se enumeran en la Tabla 2.

Tabla 2. Energía superficial de asfaltos y agregados

| Asfalto | γ^{TOTAL} (mJ/m ²) | γ^{LW} (mJ/m ²) | γ^+ (mJ/m ²) | γ^- (mJ/m ²) |
|-----------------|--|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Control | 15.64 | 11.28 | 4.168 | 1.137 |
| 2% SBS | 15.91 | 12.77 | 3.694 | 0.6694 |
| 2% SBS + 1% Cal | 15.94 | 12.10 | 3.293 | 1.118 |
| 1% Cal | 24.44 | 24.02 | 0.5363 | 0.08294 |
| 0.5% LAS | 28.68 | 28.67 | 0.02139 | 0.0007681 |
| Grava 1 | 27.91 | 15.05 | 6.908 | 5.990 |
| Grava 2 | 14.91 | 6.374 | 7.257 | 2.512 |

3. Resultados y discusión

En la Tabla 3 muestra los resultados de la prueba mecánica realizada a las mezclas asfálticas sometidas a un ciclo de acondicionamiento de congelación/descongelación, así como los resultados del ER obtenido a partir de las mediciones del ángulo de contacto.



Tabla 3. Resultados de E*R y ER

| Fuente de agregado | Mezcla | E*R | ER |
|--------------------|---------------|------|------|
| 1 (9.5NMMAS) | Control | 0.75 | 1.24 |
| | 2% SBS | 0.76 | 1.15 |
| | 1% Cal | 0.94 | 1.04 |
| | 0.5% LAS | 0.90 | 0.96 |
| 1 (12.5NMMAS) | Control | 0.91 | 1.24 |
| | 2% SBS | 0.97 | 1.15 |
| | 2% SBS+1% Cal | 0.94 | 1.23 |
| | 0.5% LAS | 1.00 | 0.96 |
| 2 (9.5NMMAS) | Control | 0.90 | 0.68 |
| | 1% Cal | 1.02 | 0.59 |
| | 0.5% LAS | 1.03 | 0.54 |

En la Tabla 3 se observa que los aditivos tienden a aumentar el E*R de las mezclas. También se observa que las mezclas producidas con agregados de distinta procedencia y misma granulometría mostraron un rendimiento diferente con respecto al daño por humedad: las mezclas producidas con Grava 2 exhibieron un E*R más alto, incluso para el asfalto no modificado. Esto sugiere que la fuente del agregado juega un papel importante en la determinación de la resistencia a la humedad de la mezcla; esta observación es consistente con investigaciones previas (Baldi-Sevilla, Montero, Aguiar y Loria, 2016; Xu & Wang, 2016). Una explicación completa de estos hallazgos se analizará más adelante en el texto.

Por otro lado, con base en el ER estimado para las combinaciones de asfalto-agregado, los datos sugieren que la modificación del asfalto reduce su resistencia fisicoquímica al daño inducido por la humedad. En otras palabras, el ER sigue una tendencia opuesta a la mostrada por el E*R de mezclas en las pruebas mecánicas. Para analizar más a fondo estos resultados, el E*R y el ER de las mezclas se correlacionan en la Figura 1.

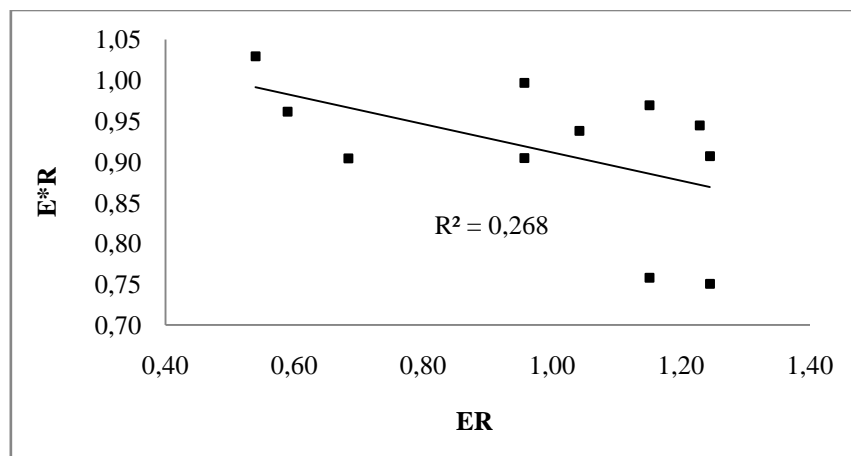


Figura 1. Correlación entre los indicadores mecánicos y fisicoquímicos de la susceptibilidad al daño por humedad de las mezclas asfálticas.

Según la Figura 1, se observa que no existe una relación directa entre la respuesta mecánica de las mezclas sometidas a condiciones de humedad y el parámetro de energía de enlace (ER) obtenido con el goniómetro. Además, se observa que el E*R y ER siguen una tendencia opuesta: las mezclas que exhiben mayor E*R son aquellas que exhibieron menor ER. Este hallazgo contradice lo que típicamente se espera y puede explicarse por el hecho de que, en estas muestras, los procesos de desnudamiento no están gobernando la mecánica comportamiento de las mezclas. En este sentido, vale la pena reiterar que el parámetro ER estima la viabilidad con la que la interfaz asfalto-agregado colapsa en presencia de agua. Por lo tanto, ER es un parámetro valioso que sirve como referencia para seleccionar los materiales con menor tendencia a desarrollar desnudamiento. Sin embargo, la pérdida de módulo observada en las mezclas sometidas a condiciones de humedad severas podría estar relacionada con procesos que van más allá del desnudamiento. En otras palabras, el deterioro de la interfaz asfalto-agregado es la etapa final del daño inducido por la humedad, ya que el agua debe difundirse en el mástico para llegar a la interfaz. Durante este proceso, el mástico se hidrata y sus propiedades mecánicas se deterioran. Desde esta perspectiva y en base a la tendencia observada en la Figura 1, se resalta la necesidad de un nuevo parámetro para correlacionar el rendimiento de campo de las mezclas con sus propiedades de superficie. Se espera que los materiales con mayor afinidad al agua tiendan a ser más susceptibles al daño por humedad. Por lo tanto, se propone la cuantificación de la compatibilidad del agua con el asfalto y el agregado como una herramienta útil para predecir el rendimiento de daño por humedad de las mezclas asfálticas. Dichos parámetros se describen en las Ecuaciones 3 y 4 respectivamente. Los resultados obtenidos se enumeran en la Tabla 4.



$$W_{BW} = 2 (\gamma_B^{LW} \gamma_W^{LW})^{1/2} + 2 (\gamma_B^+ \gamma_W^-)^{1/2} + 2 (\gamma_B^- \gamma_W^+)^{1/2} \quad \text{Ec. 3}$$

$$W_{AW} = 2 (\gamma_A^{LW} \gamma_W^{LW})^{1/2} + 2 (\gamma_A^+ \gamma_W^-)^{1/2} + 2 (\gamma_A^- \gamma_W^+)^{1/2} \quad \text{Ec. 4}$$

donde los subíndices A, B y W representan agregado, asfalto y agua, respectivamente.

Tabla 4. Compatibilidad del agua con el asfalto y el agregado

| Material | W_{BW} , mJ/m ² | W_{AW} , mJ/m ² |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Control | 61.48 | - |
| 2% SBS | 58.72 | - |
| 2% SBS + 1% Cal | 61.01 | - |
| 1% Cal | 55.04 | - |
| 0.5% LAS | 51.36 | - |
| Grava 1 | - | 92.31 |
| Grava 2 | - | 66.17 |

Con base en la Tabla 4, se puede observar que los aditivos tienden a reducir la afinidad del asfalto por el agua. Sin embargo, la combinación de SBS y cal no produce una diferencia significativa. También se puede observar que la cal y LAS, que son aditivos utilizados frecuentemente para reducir el potencial de extracción del asfalto (Huang, Robertson, Branthaver y Petersen, 2005), tienden a reducir significativamente la compatibilidad entre el asfalto y el agua. Esto explica por qué las mezclas producidas con cal y asfaltos modificados con LAS tienden a presentar un mejor rendimiento de daño por humedad después de la prueba mecánica. Además, también se observa en la Tabla 4 la compatibilidad con el agua también varía según la fuente del agregado: la Grava 1 tiene una afinidad de agua mayor que la Grava 2. Esta observación explica los valores más bajos de E*R obtenidos para las mezclas producidas con Grava 1 en comparación con los obtenidos con Grava 2.

Suponiendo que el mástic es un material compuesto, es necesario considerar que el asfalto y el agregado interactúan con el agua simultáneamente. Por lo tanto, la compatibilidad del agua con el asfalto y el agregado se ha considerado como un parámetro único, $W_{BW} + W_{AW}$, y relacionado con la mecánica rendimiento de las mezclas con respecto al daño por humedad (Figura 2).

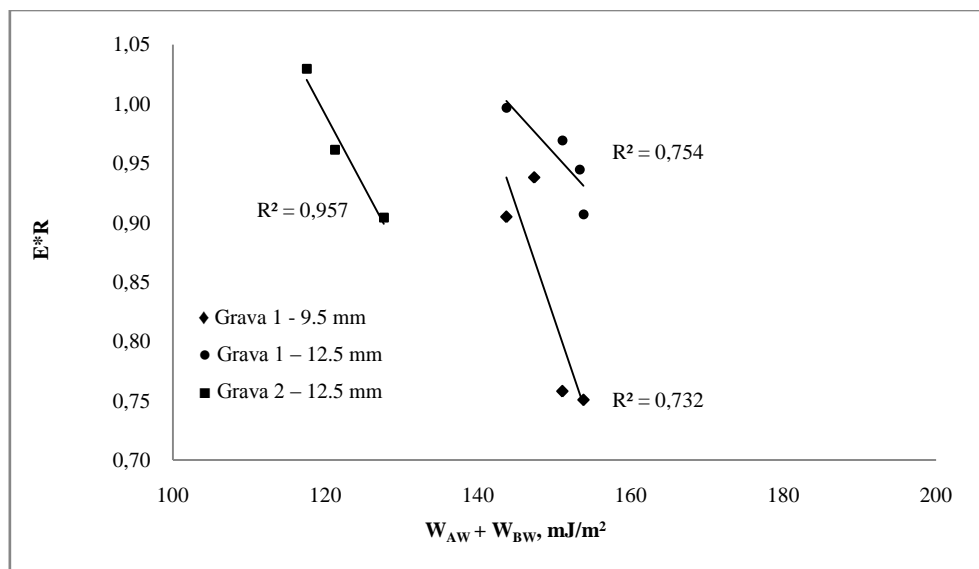


Figura 2. Correlación entre el rendimiento mecánico de daños por humedad de las mezclas asfálticas y la compatibilidad del asfalto con el agua.

En la Figura 2, el conjunto de mezclas se analiza por separado ya que los valores de W_{AW} y W_{BW} varían según los materiales que conforman cada mezcla. Se observa que las mezclas que son más compatibles con el agua (mayor $W_{AW} + W_{BW}$) tienden a exhibir un peor daño por humedad, señalado por un deterioro más severo de las mezclas (menor E*R) después del acondicionamiento. Esta observación sugiere que los asfaltos y agregados que poseen mayor afinidad al agua exhiben interacciones más favorables con la humedad y, como consecuencia, el agua se introduce más fácilmente en la mezcla lo cual altera sus propiedades mecánicas.

4. Conclusiones

Los mecanismos que experimenta una mezcla de asfalto sometida a los daños producidos por la humedad no pueden describirse o predecirse basándose únicamente en el desnudamiento (stripping, según su denominación en inglés). Como consecuencia, la relación de energía (ER) calculada mediante mediciones fisicoquímicas parece ser un parámetro limitado, ya que solo se aproxima a la factibilidad con la que el asfalto se desprende de la superficie del agregado en condiciones húmedas. Por lo tanto, el parámetro ER se considera como una herramienta útil para clasificar los materiales de acuerdo con su predisposición a desarrollar desnudamiento.



Además, la cuantificación de la compatibilidad del agua con el asfalto y el agregado permite obtener una perspectiva integral del daño por humedad, ya que la capacidad del agua para interactuar con el asfalto y el agregado describe adecuadamente la respuesta mecánica de la mezcla después de ser sometida a humedad. Se observó que el parámetro propuesto ($W_{AW} + W_{BW}$), considerado como la magnitud de la compatibilidad de la mezcla de asfalto con el agua, refleja el rendimiento del asfalto de mezcla caliente en presencia de agua. En otras palabras, se espera que las mezclas con valores más altos de $W_{AW} + W_{BW}$ exhiban un peor rendimiento con respecto al daño inducido por la humedad. Por tal razón, la compatibilidad del agua con los asfaltos y los agregados fue propuesta como un criterio importante para seleccionar y diseñar materiales para construir mezclas resistentes al agua.

5. Referencias

- AASHTO TP 79. (2012). "Standard Method of Test for Determining the Dynamic Modulus and Flow Number for Hot Mix Asphalt (HMA) Using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT)." American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO T 283. (2014). "Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage." American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Aguiar-Moya, J. P., Salazar-Delgado, J., Baldi-Sevilla, A., Leiva-Villacorta, F., and Loria-Salazar, L. (2015). "Effect of Aging on Adhesion Properties of Asphalt Mixtures Using Bitumen Bond Strength and Surface Energy Measurement Tests." *Trans. Res. Rec.*, 2505, 57-65. doi: 10.3141/2505-08
- Aguiar-Moya, J. P., Baldi-Sevilla, A., Salazar-Delgado, J., Pacheco-Fallas, J. F., Loria-Salazar, L., Reyes-Lizcano, F., and Cely-Leal, N. (2016). "Adhesive properties of asphalts and aggregates in tropical climates." *Int. J. Pavement Eng.* doi: 10.1080/10298436.2016.1199884
- Apeageyi, A. K., Grenfell, J. R. A., and Airey, G. D. (2014). "Moisture-induced strength degradation of aggregate-asphalt mastic bonds." *Road Mater. Pavement*, 15(S1), 239-262, doi: 10.1080/14680629.2014.927951



- Baldi-Sevilla, A., Montero, L. M., Aguiar, J. P., & Loria, L. G. (2016). Influence of nanosilica and diatomite on the physicochemical and mechanical properties of binder at unaged and oxidized conditions. *Constr. Build. Mater.*, 127, 176–182. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.140
- Bhasin, A. (2006). "Development of methods to quantify bitumen-aggregate adhesion and loss of adhesion due to water." (PhD dissertation). Texas A&M University, College Station, Texas, USA.
- Bhasin, A., Little, D. N., Vasconcelos, K. L., and Masad, E. (2007). "Surface Free Energy to Identify Moisture Sensitivity of Materials for Asphalt Mixes." *Trans. Res. Rec.*, 2001, 37-45. doi: 10.3141/2001-05
- Caro, S., Masad, E., Bhasin, A., and Little, D. N. (2008). "Moisture susceptibility of asphalt mixtures, Part 1: mechanisms." *Int. J. Pavement Eng.*, 9(2), 81-98. doi: 10.1080/10298430701792128
- Cheng, D. (2002). "Surface free energy of asphalt aggregate system and performance analysis of asphalt concrete based on surface free energy." (PhD dissertation). Texas A&M University, College Station, Texas, USA.
- Cheng, D., Little, D., Lytton, R., and Hostle, J. (2003). "Moisture Damage Evaluation of Asphalt Mixture by Considering Both Moisture Diffusion and Repeated Load Conditions." *Transp. Res. Rec.*, 1832, 42-49. doi: 10.3141/1832-06
- Choubane, B., Page, G. C., and Musselman, J. A. (1998). "Investigation of water permeability of coarse graded superpave pavements." *J. Assoc. Asphalt Pav.*, 67, 254–71.
- Curtis, C.W., Ensley, K., and Epps, J. (1993). "Fundamental properties of asphalt-aggregate interactions including adhesion and absorption." SHRP-A-341. Strategic Highway Research Program, National Highway Research Council, Washington, D.C.
- DellaVolpe, C., and Siboni, S. (1997). "Some Reflections on Acid – Base Solid Surface Free Energy Theories." *J. Colloid Interface Sci.*, 195, 121-136. doi: 10.1006/jcis.1997.5124
- Grenfell, J., Ahmad, N., Liu, Y., Apeageyi, A., Largec, D., and Airey, G. (2014). "Assessing asphalt mixture moisture susceptibility through intrinsic adhesion, bitumen stripping and mechanical damage." *Road Mater. Pavement*, 15(1), 131-152. doi: 10.1080/14680629.2013.863162



- Grenfell, J., Apeageyi, A., and Airey, G. (2015). "Moisture damage assessment using surface energy, bitumen stripping and the SATS moisture conditioning procedure." *Int. J. Pavement Eng.*, 16(5), 411-431. doi: 10.1080/10298436.2015.1007235
- Hefer, A., Bhasin, A., and Little, D. (2006). "Bitumen Surface Characterization Using a Contact Angle Approach." *J. Mater. Civil Eng.*, 18, 759-767. doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:6(759)
- Hicks, R. G. (1991). "Moisture damage in asphalt concrete." NCHRP Synthesis of Highway practice 175: TRB National Research Council, Washington, D.C.
- Huang, S.; Robertson, R. E.; Branthaver, J. F.; and Petersen, J. C. (2005). "Impact of Lime Modification of Asphalt and Freeze-Thaw Cycling on the Asphalt-Aggregate Interaction and Moisture Resistance to Moisture Damage." *J. Mater. Civ. Eng.*, 17(6), 711-718. doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:6(711)
- Kakar, M. K., Hamzah, M. O., and Valentin, J. (2015). "A review on moisture damages of hot and warm mix asphalt and related investigations." *J. Clean. Prod.*, 99, 39-58. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.03.028
- Kiggundu, B. M., and Roberts, F. L. (1988). "Stripping in HMA mixtures: State-of-the-art and critical review of test methods." NCAT Report No. 88-2, National Center for Asphalt Technology, Auburn University.
- Little, D. N., and Jones, D. R. (2002). "Chemical and mechanical processes of moisture damage in hot-mix asphalt pavement." *Moisture Sensitivity of Asphalt Pavement: A National Seminar*, San Diego, CA, 37-70.
- Little D., and Bhasin A. (2006). "Using surface energy measurements to select materials for asphalt pavement." NCHRP project 9-37; Washington, DC: National Cooperative Highway Research Program.
- Liu, Y., Apeageyi, A., Ahmad, N., Grenfell, J., and Airey, G. (2014). "Examination of moisture sensitivity of aggregate-bitumen bonding strength using loose asphalt mixture and physico-chemical surface energy property tests." *Int. J. Pavement Eng.*, 15(7), 657-670. doi: 10.1080/10298436.2013.855312



- Majidzadeh, K., and Brovold, F. N. (1968). Special Report 98: State of the Art: Effect of Water on Bitumen-Aggregate Mixtures. Highway Research Board (HRB), National Research Council, Washington, D.C.
- Masad, E., Arambula, E., Ketcham, R. A., Abbas, A. R., and Martin, A. E. (2007). "Nondestructive measurements of moisture transport in asphalt mixtures." *J. Assoc. Asphalt Pav.*, 76, 919-952.
- Mehrara, A., and Khodaii, A. (2013). "A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete." *Constr. Build. Mater.*, 38, 423-442. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.08.033
- Taylor, M. A., and Khosla, N. P. (1983). "Stripping of Asphalt Pavements: State of the Art." *Transport. Res. Rec.*, 911.
- Terrel, R. L., and Shute, J. W. (1989). "Summary report on water sensitivity." SHRP-A/IR-89-003, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington D.C.
- van Oss, C. J., Chaudhury, M. K., and Good, R. J. (1988). "Interfacial Lifshitz-van der Waals and Polar Interactions in Macroscopic Systems." *Chem. Rev.*, 88, 927-941. doi: 10.1021/cr00088a006
- Vargas-Nordbeck, A., Leiva-Villacorta, F., Aguiar-Moya, J. P., and Loria-Salazar, L. (2016). "Evaluating Moisture Susceptibility of Asphalt Concrete Mixtures Through Simple Performance Tests." *Trans. Res. Rec.*, 2575, 70-78. doi: 10.3141/2575-08
- Xu, G., and Wang, H. (2016). "Study of cohesion and adhesion properties of asphalt concrete with molecular dynamics simulation." *Comp. Mater. Sci.*, 112, 161-169. doi: 10.1016/j.commatsci.2015.10.024

ANEXO A
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN
Unidad de Gestión de Proyectos
INFORME PARCIAL

1. Información básica:

| | | | |
|--|---|-----------------|----|
| Código: | B5A44 | | |
| Nombre del proyecto, actividad o programa: | Análisis fisco-químico de adhesión asfalto-agregado en Costa Rica | | |
| Programa de adscripción: | Ley 8114 Impuesto a combustibles | | |
| Unidad base | LanammeUCR | Unidad de apoyo | NA |
| Período vigencia: | 01 de marzo de 2015 al 31 de diciembre de 2018 | | |
| Fecha de presentación: | Diciembre 2017 | | |

2. Descripción general:

El daño por humedad es un proceso indeseable que resulta en la pérdida de propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica. Por lo tanto, la aproximación de la resistencia a la humedad de los materiales del pavimento se ha convertido en un tema de investigación importante. Como consecuencia, se han desarrollado una gran cantidad de pruebas para evaluar el comportamiento de daño por humedad de una mezcla de asfalto. Desafortunadamente, la mayoría de las pruebas de laboratorio no muestran una buena correlación con el rendimiento en el campo de las mezclas de asfalto. Grenfell (2014) atribuyó estas inconsistencias al hecho de que las pruebas relacionan el daño por humedad a las propiedades mecánicas del asfalto, ignorando la contribución de las propiedades fisicoquímicas de los materiales individuales a la durabilidad de la mezcla. Con base en esta afirmación, se destaca la necesidad de tener una perspectiva integral del daño por humedad para evaluar la susceptibilidad de los pavimentos a ser deteriorados por el agua.

En este sentido, es necesario considerar que hay muchos factores involucrados en la falla de una mezcla asfáltica expuesta a la humedad, como las propiedades físicas y químicas de los materiales, las condiciones ambientales, las características del pavimento como el contenido de vacíos contenido de asfalto, contenido agregado fino, carga de tráfico, permeabilidad, entre otros. Dada la complejidad del daño por humedad, Kakar y sus colaboradores reflexionaron sobre la inconveniencia de desarrollar una prueba de laboratorio que considere todos los factores involucrados en dicho proceso, sin embargo, al aplicar medidas y parámetros más precisos es posible para mejorar la correlación entre los resultados de las pruebas de laboratorio y el comportamiento en el campo de las mezclas expuestas al agua.

En este estudio, las propiedades químicas de los materiales se consideran clave para describir la susceptibilidad del pavimento ante el daño por humedad. Específicamente, se ha elegido la energía superficial para evaluar la resistencia a la humedad de los aglutinantes y agregados mediante parámetros físico-químicos tales como adherencia (W_{AB}), el potencial de desnudamiento (W_{wet}) y relación de energía (ER). Sin embargo, tales los parámetros describen el comportamiento termodinámico de la interfaz asfalto-agregado sometida a agua y, por lo tanto, es necesario evaluar si sirven como buenos indicadores de la respuesta global del pavimento en condiciones húmedas. Además, se reconoce la necesidad de un parámetro más integral que describa las interacciones entre el agua y los materiales del pavimento que podrían servir para predecir su susceptibilidad al daño por la humedad.

Por lo tanto, en el presente informe se muestran los resultados de evaluar la viabilidad de ER para predecir la susceptibilidad al agua en mezclas de asfalto. Para lograr este objetivo, los valores de ER para varias combinaciones de asfalto-agregado se relacionaron con el comportamiento mecánico de las mezclas de asfalto correspondientes sometidas a humedad. Además, se proponen nuevos parámetros fisicoquímicos para evaluar el potencial de daño por humedad de las mezclas de asfalto que pueden correlacionarse con su rendimiento en el campo.

3. Desarrollo y ejecución (qué se hizo y cómo):

| Objetivos específicos y metas | % de logro | Actividades desarrolladas | Dificultades y formas de resolverlas |
|--|------------|---|--------------------------------------|
| <p>OBJETIVO ESPECÍFICO: 01</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuantificar la adhesividad de una fuente de asfalto con distintos tipos de agregado mineral de uso común en Costa Rica. <p>METAS: Analizar la susceptibilidad a la humedad de combinaciones asfalto-agregado.</p> <p>Indicador: Parámetros fisicoquímicos y mecánicos como la afinidad asfalto-agregado y pérdida de módulo de los especímenes luego de haber sido expuestas a condiciones de humedad.</p> | 75 | Se midió la energía superficial de asfaltos y agregados y se relacionaron los parámetros obtenidos con su desempeño mecánico bajo condiciones húmedas. Se logró distinguir entre los materiales y combinaciones más resistentes ante el daño por humedad. | NA |
| <p>OBJETIVO ESPECÍFICO: 02</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar el efecto del uso de aditivos de diferente índole en la susceptibilidad al daño por humedad. <p>METAS: 1) Identificar los agregados que podrían ser más susceptibles al daño por humedad.</p> <p>Indicador: Parámetros fisicoquímicos y mecánicos como la afinidad asfalto-agregado y pérdida de módulo de los especímenes luego de haber sido expuestas a condiciones de humedad.</p> | 75 | | NA |

*Agregar las celdas que sean necesarias

4. Resultados globales (utilice la cantidad de palabras necesarias):

| |
|---|
| Resultados principales: Los resultados principales de esta investigación son el empleo de un modelo cinético de oxidación del asfalto que sea representativo. Además, se espera desarrollar un criterio de evaluación de la susceptibilidad a la fatiga del material a temperatura intermedia de servicio. |
| Impacto del proyecto en los ámbitos que corresponda: Se espera que el impacto del proyecto corresponda a una contribución al estado de conocimiento existente en el daño por humedad de mezclas asfálticas. Con esto, podrían generarse soluciones a la problemática causada por este proceso. |
| Beneficios para la unidad académica y la Universidad de Costa Rica: Los beneficios son: Transferencia de tecnología y aporte al estado de conocimiento. |
| Interrogantes y nuevas investigaciones: Continuar con el análisis de mezclas asfálticas y desarrollar protocolos de preparación de muestras. |
| Actividades pendientes: NA |

5. Producción académica (adjuntar anexos):

| |
|--|
| Referencias de los artículos u otros productos que se proyectan: El siguiente título se encuentra en revisión en la revista <i>Journal of Materials in Civil Engineering</i> : - Evaluation of physicochemical indicators of moisture susceptibility in asphalt mixtures |
| Títulos de las ponencias y participación en eventos, lugar y fechas: NA |
| Impacto en procesos de enseñanza aprendizaje: NA |
| Otros productos: NA |

6. Trabajos de graduación y participación estudiantil:

| Asistentes | Labores ejecutadas |
|--|--|
| Michelle Múnkel Jiménez Stuar Tencio González | Preparación de muestras Mediciones de energía superficial Cálculos y análisis de datos |

*Agregar las celdas que sean necesarias

| Título de las tesis involucradas en el proyecto | Nombre de los/las estudiantes | Grado |
|---|-------------------------------|-------|
| | | |

*Agregar las celdas que sean necesarias

7. Comentarios generales:

| |
|---------|
| Ninguno |
|---------|

8. Informe financiero (adjuntar informe respectivo):

NA

9. Aspectos éticos (adjuntar la “Aplicación para revisión continua o para cerrar el estudio” del CEC):

Comentarios:

Ninguno

10. Autorización para incorporar el informe final ejecutivo en los repositorios de la UCR.

SI () NO Autorizo a la Vicerrectoría de Investigación para incluir en los repositorios institucionales el anterior informe.

SI () NO Autorizo a la Vicerrectoría de Investigación para incluir en los repositorios institucionales los productos académicos adjuntos al informe.

15 de diciembre de 2017

José Pablo Aguiar Moya

Fecha

Firma

Investigador(a) principal



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN
COMITÉ ÉTICO CIENTIFICO

Teléfonos:(506) 2511-5006 Telefax: (506) 224-9367

ANEXO B

LanammeUCR

Aplicación para revisión continua o para cerrar el estudio*

Por favor complete TODAS las secciones ya sea en el caso de revisión continua o cierre del estudio

Proyecto #: B5A44

Fecha de expiración de la vigencia de la revisión inicial otorgada por el CEC: 31 de diciembre, 2018.

Investigador(a) principal: Rafael Ernesto Villegas Villegas

Título de la investigación: Primer ensayo acelerado de pavimentos a escala natural

1. ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN

Marque la opción que describe mejor el estado actual de esta investigación:

- A la fecha no se ha enrolado ningún participante.
- Continúa el reclutamiento de participantes nuevos / revisión de registros / recolección de muestras.
- Se acabó el reclutamiento, pero los participantes permanecen recibiendo intervenciones relacionadas con la investigación.
- Ya no se recluta más y los participantes completaron las intervenciones relacionadas con la investigación. El estudio permanece activo solamente para darles seguimiento a largo plazo.
- El reclutamiento se ha cerrado permanentemente, los participantes han completado todas las intervenciones relacionadas con el estudio y se ha completado el seguimiento a largo plazo. Las actividades de investigación remanentes se limitan a análisis de datos que puede requerir contacto con información sobre la que usted normalmente no tiene acceso, tal como registros médicos, académicos, especímenes de laboratorio, patología, etc.

Estudio cerrado. El reclutamiento y el seguimiento se han completado y no se anticipa un contacto futuro con los participantes / registros / especímenes, para obtener información a la que usted normalmente no tiene acceso.

2. CANTIDAD DE PARTICIPANTES

Complete con la información correspondiente:

A. Máximo número de participantes, a quienes se les va a solicitar consentimiento para participar y que el CEC aprobó previamente, por toda la vigencia de este estudio:

José Pablo Aguiar Moya, investigador principal, sin carga académica

Jorge Salazar Delgado, investigador asociado, sin carga académica

Alejandra Baldi Sevilla, investigador asociado, sin carga académica

Ellen Rodríguez Castro, investigador asociado, sin carga académica

Luis Guillermo Loría Salazar, investigador asociado, sin carga académica

B. Número total de participantes que han consentido a la fecha:

5

C. Número total de participantes que luego de firmar el consentimiento, se han retirado por cuenta propia o han sido retirados por no satisfacer criterios de inclusión, a la fecha:

0

D. Total que ha consentido desde la última revisión continua:

5

E. Total que ha consentido pero se ha retirado por cuenta propia o han sido retirados por no satisfacer criterios de inclusión, desde la última revisión continua:

Ninguna

3. RESUMEN DEL AVANCE DENTRO DEL ÚLTIMO PERIODO DE APROBACIÓN DEL CEC

Conteste todas las preguntas, para las que no aplican a su estudio indique NO.

A. SI NO ¿El estudio está en la fase de reclutamiento de participantes?

B. SI NO ¿El estudio ha estado reclutando participantes? *Si la respuesta es NO, pero la de A. fue SI, incluya un resumen describiendo las razones por las cuales no se ha producido.*

C. SI NO ¿Alguno de los participantes se ha retirado del estudio, ha sido sacado o se ha perdido? *Si la respuesta es SI, incluya un resumen narrativo describiendo las razones para esto.*

- D. SI NO ¿Algún participante se ha quejado de la investigación? *Si la respuesta es SI, incluya un resumen narrativo de las quejas recibidas.*
- E. SI NO ¿Se ha publicado literatura científica relevante para esta investigación, durante este periodo, que pueda alterar las apreciaciones iniciales de riesgos o de beneficios asociados a este estudio? *Si la respuesta es SI, adjunte copias de esta publicación y un resumen narrativo.*
- F. SI NO ¿Ha habido hallazgos preliminares, incluyendo informes interinos, manuscritos, resúmenes, publicaciones y hallazgos clínicos, que puedan tener impacto sobre el estudio? *Si la respuesta es SI, adjunte copias de estos informes y un resumen narrativo. Anote cualquier evento o descubrimiento que pueda alterar la razón riesgo/beneficio del estudio, incluyendo informes favorables.*
- G. SI NO ¿Se han realizado informes de avance del estudio como los que se envían a la Vicerrectoría de Investigación, a las agencias financiadoras y otros? *En caso afirmativo, adjunte las copias y un resumen narrativo.*
- H. SI NO ¿Se han realizado informes de avance del estudio por parte de otros investigadores participantes, fuera de la UCR, para enviar a sus respectivas instituciones (estudios multicéntricos y otros)? *En caso afirmativo, adjunte las copias y un resumen narrativo.*
- I. SI NO ¿Se ha descubierto alguna otra información relevante a este estudio, sobre todo relacionada con los posibles riesgos y beneficios asociados al mismo? *En caso afirmativo, adjunte copias de esta información y un resumen narrativo.*
- J. SI NO ¿Se ha detectado algún problema no anticipado, relacionado con riesgos para los participantes u otras personas, en la UCR o algún otro sitio donde se desarrolle el estudio? *En caso afirmativo, enumere y describa estos problemas en un resumen narrativo.*
- K. SI NO No aplica ¿Se han reportado al CEC todos los problemas no anticipados que conllevan riesgo para los participantes u otras personas, que requieren ser informados con prontitud? *Si la respuesta es negativa, envíe al CEC la información requerida antes de que transcurran 5 días hábiles. Indique si estos eventos o problemas cambiaron la razón riesgo/beneficio o requirieron cambios en el documento de consentimiento informado.*
- L. SI NO ¿El perfil de reacciones adversas experimentado por los participantes difiere del esperado? (reacción adversa/evento adverso significa cualquier acontecimiento desfavorable e indeseado, tanto serio como no serio, esperado o inesperado, relacionado o no con el estudio). *Si la*

respuesta es afirmativa, adjunte un resumen narrativo describiendo las diferencias entre el perfil de reacciones adversas esperado y el encontrado.

M. SI NO ¿Se ha asignado a un Comité Independiente de Monitorización de Datos la revisión periódica de los riesgos para los participantes? *Si la respuesta es afirmativa indique la frecuencia con que se realiza esta tarea y un resumen narrativo de sus informes.*

N. SI NO ¿Los participantes han experimentado algún beneficio derivado del estudio? *En caso afirmativo, adjunte un resumen narrativo describiendo estos beneficios.*

4. INFORMACIÓN SOBRE EL DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

SI NO ¿El CEC requiere el uso de un documento escrito de consentimiento informado para la ejecución de este estudio?

En caso afirmativo, adjunte una copia del documento aprobado y sellado que ha estado en uso Y otra copia idéntica y limpia para volver a sellar una vez aprobada la revisión continua, para ser usado durante el siguiente periodo de aprobación (excepto si ya concluyó el reclutamiento).

5. INFORMACIÓN SOBRE CONTACTOS

Investigador principal:

| | | | |
|------------|-------------|----------|-----------------------|
| Nombre: | Apellido: | Cédula # | Unidad académica: |
| José Pablo | Aguiar Moya | | LanammeUCR |
| Teléfono: | Celular: | Fax: | Email: |
| 2511-2529 | | 25114440 | jose.aguiar@ucr.ac.cr |

Profesor(a) tutor(a) (complete si el investigador principal es estudiante):

| | | | |
|-----------|-----------|----------|-------------------|
| Nombre: | Apellido: | Cédula # | Unidad académica: |
| NA | NA | NA | NA |
| Teléfono: | Celular: | Fax: | Email: |
| NA | NA | NA | NA |

Persona encargada del contacto con el estudio (complete si el contacto primario no es alguno de los anteriores):

| | | | |
|-----------|-----------|----------|-------------------|
| Nombre: | Apellido: | Cédula # | Unidad académica: |
| Teléfono: | Celular: | Fax: | Email: |

6. DECLARACIÓN SOBRE CONFLICTOS DE INTERESES DEL INVESTIGADOR(A)

SI NO ¿Se ha desarrollado algún nuevo conflicto de intereses para el investigador(a) principal o para el personal clave del estudio? *En caso afirmativo adjunte una narración detallada de las características del conflicto cuando los investigadores, personal clave o cualquier otra persona responsable del diseño, ejecución o reporte del estudio tiene un interés financiero en, o actúa en representación de, una entidad externa cuyos intereses financieros, pareciera razonable pensar, que podrían afectarse por la investigación.*

7. DECLARACIÓN DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL

Lea cuidadosamente esta declaración antes de firmar.

Adicionalmente a las respuestas anteriores, yo confirmo que el documento de consentimiento informado en uso, aprobado por el CEC, ha sido firmado, fechado y guardado en mis archivos para cada participante enrolado en este estudio y una copia del mismo fue entregada a la persona que lo firmó como participante (cuando el uso de documento de consentimiento informado fue requerido). Asimismo confirmo que no se han realizado cambios en los procedimientos del estudio o en el documento de consentimiento sin previa aprobación por parte del CEC.

15 de diciembre de 2017

Firma del investigador(a) principal

Fecha

*Adaptado de las fórmulas #1101 y #1129 del IRB de la Universidad de Vanderbilt.

ANEXO C

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN

Unidad de Gestión de Proyectos

Unidad de Gestión de Calidad

Tel.: 2511-5845

Formulario para la evaluación de informes parciales, finales y solicitud de ampliación de vigencia

Instrucciones

Los informes parciales, finales y las solicitudes de ampliación de vigencia se consideran parte de la evaluación de seguimiento; en ellos se revisan los resultados y productos alcanzados en un momento determinado, también las circunstancias y condiciones en que se produjeron. Las evaluaciones obtenidas son utilizadas como insumos para la asignación de recursos, tanto para la continuación de ejecución como para las propuestas nuevas por parte de los(as) investigadores(as) encargados(as).

Los informes y solicitudes contemplan cuatro componentes: (I) Información sustantiva de la propuesta, (II) una autoevaluación de parte del/los(as) investigadores(as), (III) una evaluación de los alcances y logros reportados y (IV) una evaluación del informe.

Los informes parciales y las solicitudes de ampliación de vigencia deben ser evaluados por las Comisiones de Investigación y/o los Consejos Científicos y aprobados por la Dirección de la Unidad Académica. En el caso de los informes finales de los proyectos de investigación, éstos deben ser evaluados adicionalmente por pares académicos, internos y/o externos a criterio de la Comisión de Investigación o del Consejo Científico. Por su parte, la Vicerrectoría de Investigación evalúa tanto los informes parciales como los finales, siendo la entidad que en última instancia aprueba éstos y las solicitudes de ampliación de vigencia.

Las dimensiones a evaluar son las siguientes:

Autoevaluación: Evaluación de las condiciones, Evaluación de los colaboradores, Evaluación del apoyo institucional recibido.

Evaluación de alcances y logros: Solidez de las evidencias y resultados reportados, Productividad, Impacto y Visibilidad potencial.

Evaluación del informe: Exhaustividad, Claridad, Rigurosidad.

A continuación encontrará cuatro apartados con los ítems correspondientes a cada una de las dimensiones a evaluar. Para cada ítem considere el informe y califíquelo luego en una escala de 1 a 100. En donde 0 indica una muy mala calificación y 100 una excelente calificación. En caso de que al evaluar considere que el componente evaluado en el ítem no debería ser aplicado a la propuesta, marque con una X en el espacio "No aplica".

TITULO DE LA PROPUESTA:

Análisis físico-químico de adhesión asfalto - agregado en Costa Rica

I. Autoevaluación

Este apartado debe ser llenado por el/la/las investigador(a)(as).

| Criterio | Calificación | No aplica |
|--|--------------|-----------|
| 1. Evaluación de la ejecución de la propuesta en general. | 100 | |
| 2. Valoración del aporte de los colaboradores no académicos. | | X |
| 3. Evaluación del nivel de integración de los colaboradores académicos. | 100 | |
| 4. Evaluación del trabajo de los/las asistentes. | 100 | |
| 5. Valoración del apoyo administrativo de la unidad académica para esta propuesta. | 100 | |
| 6. Valoración del apoyo de la Vicerrectoría de Investigación para esta propuesta. | | X |
| 7. Valoración del aporte de otras instancias universitarias | | X |

| | | |
|--|-----|---|
| para esta propuesta. | | |
| 8. Valoración el apoyo de FUNDEVI para esta propuesta. | | X |
| 9. Grado de satisfacción con los resultados y logros alcanzados. | 100 | |
| Calificación promedio (sin considerar los no aplica) | 100 | |

TITULO DE LA PROPUESTA:

Estudio del proceso fisico-químico de la oxidación y su incidencia en el daño por humedad de asfaltos

II. Evaluación de alcances y logros

| Criterio | Calificación | No aplica |
|---|--------------|-----------|
| 10. Los logros y alcances académicos del trabajo realizado. | | |
| 11. Los productos académicos aportados. | | |
| 12. La visibilidad potencial de los resultados y productos. | | |
| 13. El impacto potencial de los resultados y productos en los procesos de enseñanza aprendizaje. | | |
| 14. El impacto potencial de los resultados y productos en la unidad académica de adscripción. | | |
| 15. El impacto potencial de los resultados y productos en el área disciplinar de adscripción del trabajo. | | |
| 16. El impacto potencial de los resultados y productos en el ámbito extraacadémico. | | |
| Calificación promedio (sin considerar los no aplica) | | |

III. Evaluación del informe

| Criterio | Calificación | No aplica |
|--|--------------|-----------|
| 17. Grado de exhaustividad en la presentación de | | |

| | | |
|--|--|--|
| resultados y logros. | | |
| 18. Grado de claridad en la presentación de los resultados y logros. | | |
| 19. Grado de rigurosidad argumentativa en la presentación de resultados y logros. | | |
| 20. Evidencias aportadas para sustentar conclusiones y argumentos. | | |
| Calificación promedio (sin considerar los no aplica) | | |

IV. Evaluación de Vicerrectoría de Investigación

| Criterio | Calificación | No aplica |
|--|--------------|-----------|
| 21. Puntualidad en la presentación de informes. | | |
| 22. Ejecución y uso de los recursos financieros. | | |
| 23. Productos académicos logrados versus proyectados. | | |
| 24. Visibilidad de resultados y logros. | | |
| 25. Impacto alcanzado versus proyectado. | | |
| Calificación promedio (sin considerar los no aplica) | | |
| Calificación global | | |