

I. INTRODUCCIÓN

La fricción superficial en pavimentos es un parámetro de desempeño clave para garantizar la seguridad vial en carreteras. En comparación con otros elementos del diseño geométrico, la percepción de los conductores sobre la fricción superficial es reducida, situación que restringe la elección de medidas preventivas en caso de que un camino cuente con bajos niveles de fricción superficial, aumentando la probabilidad asociada a la ocurrencia de accidentes viales.

Por su importancia en términos de seguridad vial, la fricción superficial es un aspecto que debe ser considerado en los modelos de gestión de carreteras. De este modo, actualmente se cuenta con múltiples referencias de autores o agencias de transporte que se han dado a la tarea de desarrollar modelos y proponer metodologías para entender y predecir el avance de este parámetro.

Elementos que participan en la fricción superficial de un pavimento

Se ha identificado que fenómenos como remoción del asfalto, oxidación del pavimento, exudación, pulimento del agregado, tránsito vehicular diario y variaciones estacionales son factores que afectan la fricción superficial de una carretera. Estos elementos afectan la microtextura y macrotextura del pavimento.

La microtextura de un pavimento es representada por el nivel de lisura de los agregados que componen la superficie de la carretera, mientras que la macrotextura se relaciona con la textura superficial creada por la configuración granulométrica de los agregados en la superficie del pavimento (ver Figura 1).

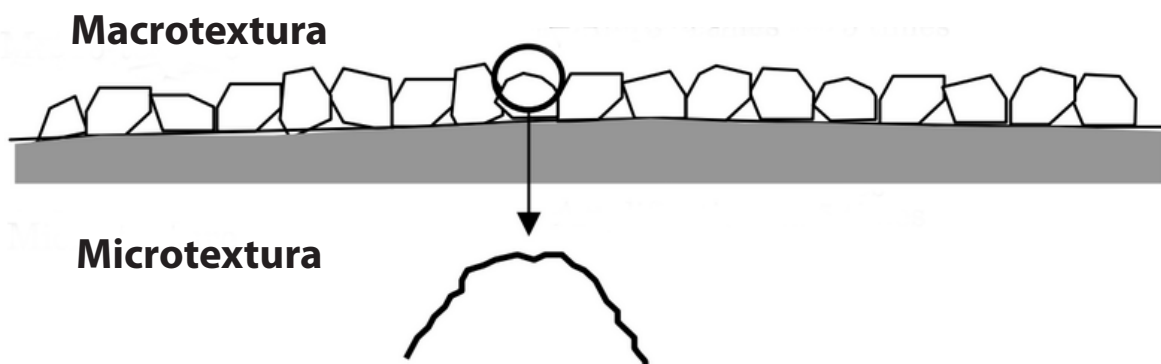


Figura 1. Representación simplificada de la macrotextura y microtextura en una carretera.
Fuente: Modificado a partir de Sandburg, 1998.

Entre mayor sea la microtextura y macrotextura de una carretera, mayor será la fricción superficial del pavimento, siendo la microtextura la mayor responsable de proveer fricción superficial a velocidades bajas, mientras que la macrotextura contribuye en mayor medida a la fricción superficial a velocidades altas y durante eventos de precipitación (Hall et al, 2000).

Evolución de la fricción superficial en pavimentos asfálticos

Estudios realizados en 2004 por el Laboratorio Francés de Puentes y Carreteras (LCPC) son un buen punto de partida para entender la evolución de la fricción superficial en pavimentos asfálticos. Este laboratorio desarrolló y validó, mediante datos de campo, una metodología de laboratorio para evaluar el proceso de pulimento del agregado en especímenes de mezcla asfáltica utilizando un equipo denominado máquina Wehner-Schulze elaborada por la Universidad de Berlín (Zhao, 2010).

Como resultado de la investigación llevada a cabo por el LCPC, se evidenciaron dos etapas en la evolución de la fricción superficial de un pavimento asfáltico. Se observó, en primera instancia, un incremento en la fricción superficial hasta llegar a un punto máximo donde el agregado empieza a pulirse pues ya no tiene una cobertura de asfalto que lo proteja; consecuentemente, la fricción superficial decae. Tal comportamiento se ilustra en la siguiente figura.

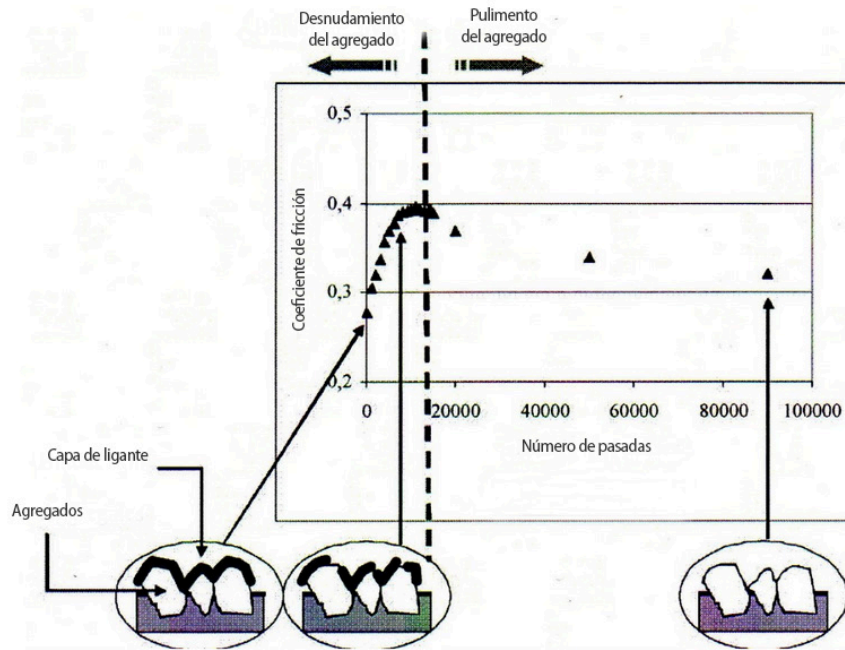


Figura 2. Coeficiente de fricción contra el número de pasadas mediante la máquina Wehner-Schulze. Fuente: Modificado a partir de Zhao, 2010.

Por otra parte, (Minh-Tan Do et al, 2007) comparó la evolución de la resistencia a la fricción de dos muestras: una pastilla de mezcla asfáltica extraída de una sobrecapa recién colocada y una muestra conformada por agregado solo. Como resultado, se observó que las curvas de evolución de la fricción superficial coinciden cuando la curva elaborada con la pastilla de mezcla asfáltica alcanza su máximo, es decir, cuando inicia el pulimento del agregado en la muestra de mezcla asfáltica y es a partir de este punto donde la fricción superficial decae.



Figura 3. Pastillas de mezcla asfáltica y agregado evaluadas mediante la máquina Wehner-Schulze.
Fuente: Modificado a partir de Minh-Tan Do et al, 2007.

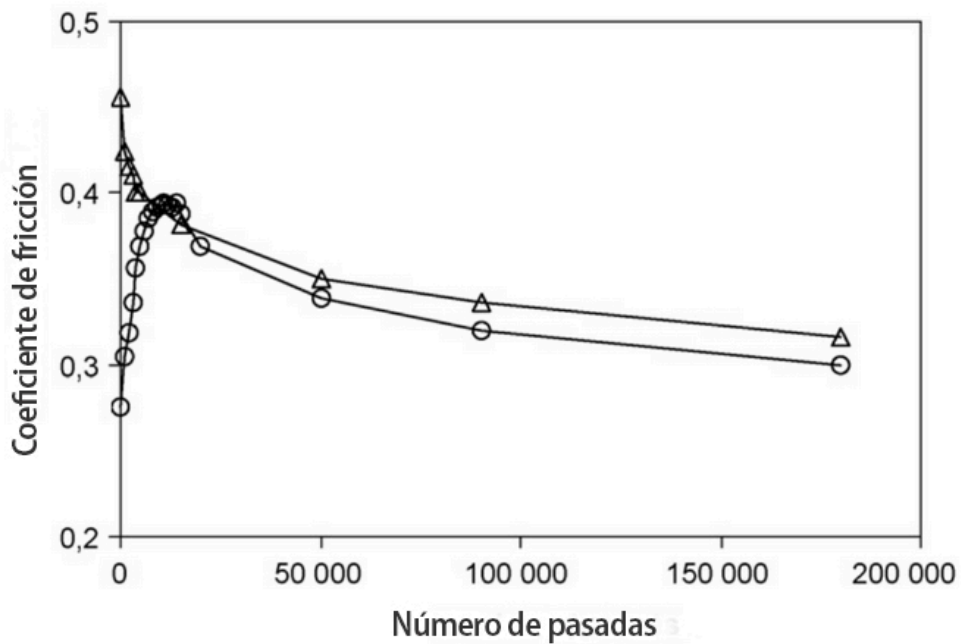


Figura 4. Evolución de la resistencia a la fricción de dos muestras: una pastilla de mezcla asfáltica y una muestra conformada por agregado solo.
Fuente: Modificado a partir de Minh-Tan Do et al, 2007.

De acuerdo con lo mencionado hasta el momento, para un pavimento nuevo se podría esperar que su coeficiente de fricción incremente conforme el ligante superficial se remueve por efecto del tránsito vehicular, hasta llegar a un punto donde la fricción superficial dependa solamente de las propiedades del agregado constituyente; esto ocurre unas semanas después de que la carretera ha sido abierta al tránsito.

Posteriormente, inicia la etapa de pulimento del agregado, donde el coeficiente de fricción superficial disminuye hasta lograr estabilizarse. Dicho equilibrio se alcanza aproximadamente luego de que la carretera ha soportado 1 millón de ejes equivalentes de carga (Kokkalis, 1998), de modo que en este punto las variaciones en el coeficiente de fricción son mínimas, siempre y cuando no existan deterioros importantes en la carretera.

Adicionalmente, se tiene ampliamente documentado que existen fluctuaciones en el coeficiente de fricción de un pavimento debido a cambios estacionales (ver Figura 5). En invierno, las lluvias permiten eliminar las partículas de polvo, caucho y otros elementos que se encuentran sobre el pavimento, aumentando la microtextura y macrotextura de la carretera y, consecuentemente, aumentando su coeficiente de fricción. Por otra parte, en verano, el coeficiente de fricción disminuye a tal punto que se han observado variaciones estacionales de aproximadamente 30 % entre coeficientes de fricción (Masad, 2009). De este modo, es común que las mediciones de fricción superficial se realicen en verano, donde los valores de coeficiente de fricción son menores y consecuentemente se tiene registro de la condición más crítica (Kennedy et al, 1990).



Figura 5. Modelo generalizado del pulido del pavimento.
Fuente: Modificado a partir de Kokkalis, 1998

Lo mencionado en el párrafo anterior no significa que en época lluviosa siempre se tengan las mejores condiciones de fricción superficial en carretera. Se sabe que, durante eventos de precipitación, la fricción entre los vehículos y la carretera puede disminuir considerablemente, ya que cuando hay un líquido (generalmente agua) entre la interface llanta – pavimento, los vehículos pueden deslizarse al intentar acelerar. Dicho efecto se conoce como hidroplaneo.

Exudación y sus efectos en la fricción superficial de los pavimentos

La exudación es considerada como un tipo de falla en pavimentos flexibles que ocurre en etapas tempranas del periodo de vida útil de una carretera. Este deterioro consiste en un afloramiento de asfalto a la superficie debido a un bajo contenido de aire en la mezcla o un exceso de asfalto, parámetros que pueden ser controlados mediante un adecuado diseño y control de la mezcla asfáltica (Cervantes y Salas, 2016). Por otra parte, durante la etapa constructiva, una sobre compactación también podría ser causa de exudación.

Este afloramiento de asfalto produce una superficie lisa (ver Figura 6) y reduce o elimina el aporte en fricción superficial de la microtextura y macrotextura de los agregados, provocando una superficie resbalosa cuya fricción superficial se reduce a valores que podrían afectar la seguridad vial de los usuarios.



Figura 6. Exceso de mezcla asfáltica en la superficie de una carretera
Fuente: Unidad de Auditoría Técnica (PITRA-LanammeUCR), 2018

Efecto de la calidad de los agregados en la fricción superficial de los pavimentos

La calidad de los agregados empleados en una mezcla asfáltica es de gran trascendencia, ya que luego de que se ha alcanzado el máximo de fricción en la carretera, la tasa de pérdida en dicha fricción está estrechamente relacionada con la pulimentabilidad de los agregados constituyentes. Para ilustrar esta relación, la Figura 7 muestra los resultados

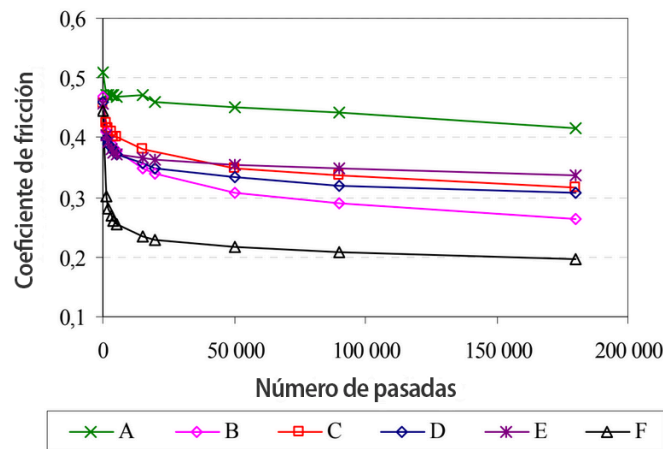


Figura 7. Evolución del coeficiente de fricción para pastillas elaboradas con distintos tipos de agregado.
Fuente: Modificado a partir de Zhao, 2010.

de un ensayo donde, utilizando la máquina Wehner-Schulze, se comparó la evolución de la resistencia a la fricción para seis muestras de agregado, cuyas características se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los agregados utilizados para determinar la evolución en el coeficiente de fricción.

Agregado	A	B	C	D	E	F
Tipo	Riolita	Espilita	Gabro	Diorita	Leptita	Caliza

A partir de este estudio, se evidenció que agregados a base de Riolita podrían propiciar una condición ideal de fricción al presentar una baja afectación en su coeficiente de fricción, mientras que agregados calizos fueron los que presentaron una mayor disminución en la fricción superficial. Este último aspecto es de particular importancia para las condiciones que imperan en Costa Rica, ya que actualmente hay muchas fuentes de agregado calizo que, dependiendo de la región, representan una alternativa muy atractiva para su uso en la construcción de carreteras, razón por la cual Costa Rica establece porcentajes máximos de agregado calizo en capas de superficiales de mezcla asfáltica.

Técnicas de mantenimiento vial para la mejora en la fricción superficial de las carreteras

Cuando los elementos que afectan el coeficiente de fricción superficial de un pavimento no fueron bien considerados en el diseño de la mezcla asfáltica y se tienen problemas de fricción, ya sea por exceso de asfalto en la mezcla o por un pulimento acelerado de los agregados constituyentes, se vuelve necesario recurrir a técnicas de mantenimiento que permitan mejorar las condiciones de textura superficial.

A continuación, se mencionan tres técnicas que podrían ser utilizadas para mejorar el coeficiente de fricción de una carretera.

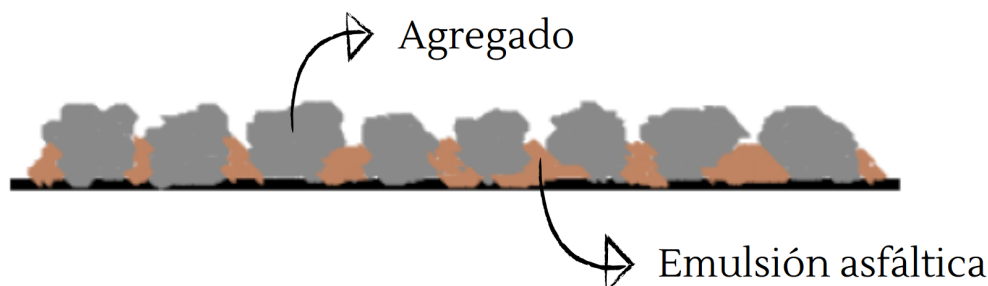


Figura 8. Componentes de un tratamiento superficial simple

Tratamientos superficiales (TS)

Esta técnica, en su variante más sencilla, se define como una aplicación uniforme de un ligante asfáltico, usualmente emulsión asfáltica, cubierta por una capa uniforme de agregados de igual tamaño (Gransberg et. al., 2005).

Los beneficios que se obtienen de la construcción de tratamientos superficiales se destacan a continuación (Webb, 2010):

- Permiten disponer de una superficie uniforme.
- Sirven para impermeabilizar la estructura de pavimento existente, con lo cual se protegen las capas subyacentes.
- Permiten aumentar el coeficiente de fricción de la carretera.

Sobre este último aspecto, los agregados tienen la función de proveer la textura deseada en los tratamientos superficiales, por lo tanto, son los encargados de aumentar el coeficiente de fricción de la carretera y resistir la abrasión producto del tráfico (Zuñiga, 2012). De este modo, con la colocación de un tratamiento superficial, se contará con una nueva macro y microtextura cuya evolución en el tiempo depende de las características del agregado colocado en la capa superficial del tratamiento.



Figura 9. Colocación de microsuperficie.

Recuperado de: < <http://dpw.lacounty.gov/gmed/lacroads/TreatmentMicrosurfacing.aspx>>

Microsuperficies

Al igual que con los tratamientos superficiales, es posible aumentar la textura superficial de una carretera mediante otras técnicas de preservación como el uso de microsuperficies. Esta técnica consiste en la colocación de una mezcla entre agua, emulsión asfáltica y agregado fino sobre la carretera, permitiendo obtener una nueva micro y macrotextura superficial (ver Figura 9).



Figura 10. Texturizado superficial realizado para corregir exudación.
Fuente: Unidad de Auditoría Técnica (PITRA-LanammeUCR), 2018.

Texturizado superficial

El texturizado superficial es una técnica que permite aumentar el coeficiente de fricción superficial en carreteras mediante un perfilado ligero en la superficie del pavimento. Este perfilado superficial profundiza entre 2 mm y 3 mm y es llevado a cabo mediante un equipo autopropulsado sin afectar el perfil longitudinal original, creando una superficie con una mayor macrotextura y consecuentemente más

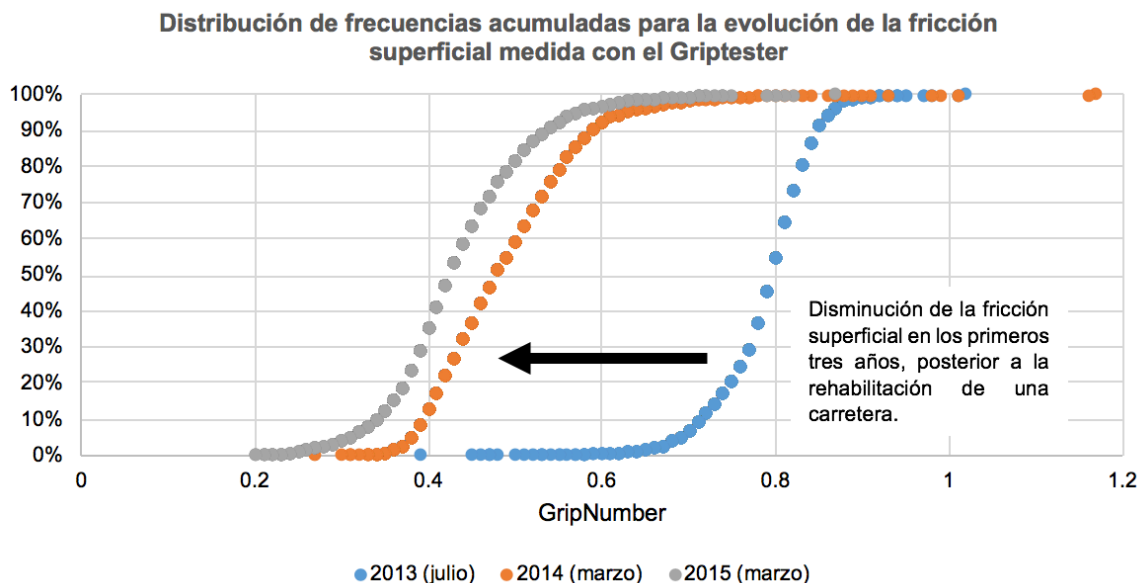


Figura 11. Distribución de frecuencias acumuladas para la evolución del GripNumber entre los años 2013 y 2016 en la Ruta Nacional 1, sección de control 20010 (Tramo Aeropuerto - Coyoil).

Fuente: Unidad de Auditoría Técnica (PITRA-LanammeUCR), 2018

segura.

En Costa Rica, por ejemplo, esta técnica ha sido utilizada para corregir defectos como exudación, donde se plantea el objetivo de remover la capa superficial de ligante asfáltico con el propósito de que la textura superficial del agregado contribuya con la fricción superficial (ver Figura 10).

Evolución de la fricción superficial en tramo de prueba

En la Figura 11 se muestran los resultados de la evolución de la fricción superficial en un tramo de carretera ubicado en la Ruta Nacional 1, específicamente en la sección de control 20010 entre el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría y la Radial Coyoil.

A partir de estos resultados de fricción superficial medidos en la época de verano (donde se tiene valores críticos de fricción) se puede observar la tendencia señalada previamente donde, entre el primer y segundo año de la puesta en servicio de la carretera, hubo una mayor disminución en la fricción superficial de la ruta mientras que, entre el segundo y tercer año, la condición de fricción superficial tiene una menor variación relativa.

Conclusiones

Se recomienda evitar el diseño de mezclas asfálticas con bajos contenidos de aire y altos contenidos de asfalto efectivo, ya que esta combinación podría generar problemas de exudación en la mezcla asfáltica.

La exudación es un deterioro que en muchas ocasiones ocurre poco tiempo después de la construcción de un pavimento, por lo tanto, se recomienda la medición de la fricción superficial en carretera, como parte del proceso de aceptación de proyectos.

No se recomienda el uso de agregado calizo en mezclas asfálticas que componen la superficie de ruedo, ya que estos agregados son más pulimentables, por lo tanto, tienen un mayor potencial de pérdida de fricción.

Es conveniente realizar las mediciones de coeficiente de fricción en época de verano (principalmente al final del verano), pues se tiene ampliamente documentado que, en este momento del año, los valores de coeficiente de fricción son menores y consecuentemente se tiene registro de la condición más crítica.

Referencias

Cervantes Calvo, V., & Salas Chaves, M. (2016). Causas y consecuencias de la exudación. San Pedro, Montes de Oca: LanammeUCR, Universidad de Costa Rica.

Do, M. T., Tang, Z. D., Kane, M., & De Larrard, F. (2009). Evolution of road-surface skid-resistance and texture due to polishing. *Wear*, 266(5-6), 574-577.

Gransberg, D. D., & James, D. M. (2005). Chip seal best practices (Vol. 342). Transportation Research Board.

Hall, J. W., Smith, K. L., Titus-Glover, L., Wambold, J. C., Yager, T. J., & Rado, Z. (2009). Guide for pavement friction. Final Report for NCHRP Project, 1, 43.

Kennedy, C. K., Young, A. E., & Butler, I. C. (1990). Measurement of skidding resistance and surface texture and the use of results in the United Kingdom. In *Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies*. ASTM International.

Kokkalis, A. G. (1998, May). Prediction of skid resistance from texture measurements. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport* (Vol. 129, No. 2, pp. 85-93). Thomas Telford Ltd.

Masad, E., Rezaei, A., Chowdhury, A., & Harris, P. (2009). Predicting asphalt mixture skid resistance based on aggregate characteristics. Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration.

Webb, Z. L. (2010). Seal coat and surface treatment manual. Texas Department of Transportation, Austin, Texas.

Zhao, D., Kane, M., & Do, M. T. (2010). Effect of Aggregate and Asphalt on Pavement Skid Resistance Evolution. In *Paving Materials and Pavement Analysis* (pp. 8-18).

Zuñiga, N. (2012) Propuesta de una metodología para la evaluación del desempeño de tratamientos superficiales en laboratorio. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.



LanammeUCR

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PITRA

Programa de
Infraestructura del Transporte

Ing. Luis Guillermo Loría-Salazar, Ph.D.

Coordinador General

Ing. Fabián Elizondo-Arrieta, MBA

Subcoordinador

UNIDADES

Unidad de Auditoría Técnica (UAT)

Ing. Wendy Sequeira-Rojas, M.Sc

Coordinadora

Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)

Ing. Diana Jiménez-Romero, M.Sc, MBA

Coordinadora

Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)

Ing. Raquel Arriola-Guzmán

Coordinadora

Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP)

Ing. José Pablo Aguiar-Moya, Ph.D.

Coordinador

Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)

Ing. Roy Barrantes-Jiménez M.Sc

Coordinador

Unidad de Gestión Municipal (UGM)

Ing. Jaime Allen-Monge, Ph.D

Coordinador

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación, diseño y control de calidad: Katherine Zúñiga Villaplana / Óscar Rodríguez Quintana

Boletín técnico: EVOLUCIÓN DE LA FRICCIÓN SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS/ Marzo 2019